

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ  
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM AGRONOMIA  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PRODUÇÃO VEGETAL

ALFREDO JOSÉ ALVES NETO

QUALIDADE DO SOLO E PRODUTIVIDADE DA SOJA APÓS  
MESSAGEM E CULTIVOS DE PLANTAS DE COBERTURA

Marechal Cândido Rondon – PR

2021

ALFREDO JOSÉ ALVES NETO

QUALIDADE DO SOLO E PRODUTIVIDADE DA SOJA APÓS  
GESSAGEM E CULTIVOS DE PLANTAS DE COBERTURA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade do Estadual do oeste do Paraná para obtenção do título de Doutor em Agronomia, Área de Concentração: Produção Vegetal.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria do Carmo Lana  
Coorientador: Prof. Dr. Deonir Secco.

Marechal Cândido Rondon – PR

2021

Aq           Alves Neto, Alfredo José  
              Qualidade do solo e produtividade da soja após  
              gessagem e cultivos de plantas de cobertura /  
              Alfredo José Alves Neto; orientadora Maria do  
              Carmo Lana; coorientador Deonir Secco. -- Marechal  
              Cândido Rondon, 2021.  
              152 p.

              Tese ( Campus de Marechal Cândido Rondon) --  
              Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de  
              Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em  
              Agronomia, 2021.

              1. Qualidade do solo. 2. Enzimas do solo. 3.  
              Plantas de cobertura. 4. Eficiência no uso de  
              fertilizantes. I. Carmo Lana, Maria do , orient.  
              II. Secco, Deonir, coorient. III. Título.



**unioeste**

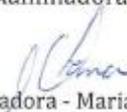
Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Campus de Marechal Cândido Rondon - CNPJ 78680337/0003-46  
Rua Pernambuco, 1777 - Centro - Cx. P. 91 - <http://www.unioeste.br>  
Fone: (45) 3284-7878 - Fax: (45) 3284-7879 - CEP 85960-000  
Marechal Cândido Rondon - PR.



## ALFREDO JOSÉ ALVES NETO

Qualidade do solo e produtividade de soja após gessagem e cultivos de plantas de cobertura

Tese apresentada à distância, de forma síncrona e por videoconferência, conforme Resolução nº 052/2020 – CEPE, ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Doutor em Agronomia, área de concentração Produção Vegetal, linha de pesquisa Manejo de Culturas, APROVADO pela seguinte banca examinadora:

  
Orientadora - Maria do Carmo Lana

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon (UNIOESTE)

Fábio Steiner

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS)

Jean Sérgio Rosset

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS)

Edleusa Pereira Seidel

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon (UNIOESTE)

Paulo Sérgio Rabello de Oliveira

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon (UNIOESTE)

  
Fabíola Villa  
Coordenadora Especial do Programa de Pós-Graduação em Agronomia

Marechal Cândido Rondon, 28 de maio de 2021

*Dedico o presente trabalho a minha esposa  
Patrícia, meus filhos: Joaquim e Martin.  
Aos meus pais Ademir e Mariza, aos meus irmãos  
Álvaro e Bruna, pelo suporte e amor para alcançar  
meus objetivos.*

*Dedico às pessoas que nunca desistiram.*

## AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos,

A Jeová Deus pela dádiva da vida e pelas bênçãos, por me direcionar a oportunidades e experiências extraordinárias durante minha vida. Todas as minhas conquistas se devem a sua generosidade e bondade.

A minha esposa Patrícia pelo incentivo, por ser compreensiva e pelo amor durante toda minha jornada acadêmica e profissional.

Ao meu filho Joaquim por todo amor e momentos que passamos juntos. Sua presença em minha vida é a maior motivação para nunca desistir.

Ao meu filho Martin que neste momento final dos estudos acadêmicos trouxe mais alegria e motivação à minha vida.

Ao meu pai Ademir e minha mãe Mariza por todo ensinamento e suporte familiar.

Aos meus irmãos Álvaro e irmã Bruna pelo incentivo e boas vibrações que sempre me enviaram.

Agradeço minha sogra Norma, meu sogro Rogério e meu cunhado Gustavo pelos momentos de alegria, pelo suporte e cuidados com minha família nos momentos que estive ausente em dedicação ao doutorado.

A minha orientadora, professora e pesquisadora Dra. Maria do Carmo Lana que desde o mestrado esteve comigo como orientadora. Desenvolvemos juntos as atividades relacionadas às disciplinas de ciências dos solos e trabalhos científicos. Sou grato pela confiança, paciência, ensinamentos, por todo tempo dedicado ao meu aprendizado e principalmente por acreditar em mim.

À minha colega de estudo e amiga, Eloisa Lorenzetti por ter dedicado muitos esforços e me auxiliar sempre que necessário em todas as minhas necessidades nestes anos, na Unioeste.

Ao meu colega de profissão e amigo de longa data, Dercio Ceri Pereira, por me ajudar com o trabalho de campo, com a interpretação dos resultados e demais ensinamentos que me passou durante nossa convivência.

Aos integrantes do Programa de Pós-Graduação em Agronomia e a Universidade Estadual do oeste do Paraná, sejam eles docentes, colegas de estudo,

zeladores, secretárias, bibliotecárias e gestores, por realizarem as suas atividades com maior zelo e dedicação possível, de forma a contribuir para a minha conquista.

À Denise Mesolocotti e Fernando Baldesin técnicos do laboratório de análises microbiológicas de solo, e ao professor Dr. Fernando Dini Andreotti, por todo apoio, acolhidas e ensinamentos em meu estágio no departamento de solo da ESALQ/USP em Piracicaba – SP.

À Sergio Schimiloski e Maria Emanoela Krauss Schimiloski, por fundarem a Agro Schimi, empresa de consultoria agrônômica e pesquisa. O escritório desta empresa foi meu lar nestes 4 anos de estudos e todo sustento da minha família, por isso minha eterna gratidão.

Aos produtores que apoiaram diretamente a este estudo: Família Durigon, nas pessoas de Douglas e Vitor Durigon, à Família Andrade, Família Denardin, Rodolfo de Camargo Pinto, Família Schimiloski, Família Giotti, Alisson Chirea, Douglas Auler, Humberto Cornelius, Família Schecheli, nas pessoas de Fábio Schecheli, Paulo Schecheli e Diogo Akatsu, Família Debaldi, Família Cappeletto, Edson Saurressig, Andrea Morschbacher, Família Formigheri, Família Belorini e Família Pfeffer.

Aos amigos Jaime Royer e Welliton Odorizzi, pelas ajudas nos trabalhos de campo, nos três anos de condução do experimento.

Aos amigos pessoais e colegas de trabalho que sempre me encorajaram e incentivaram para realização desta conquista.

*“Life begins after your confort zone”*

(Autor desconhecido)

## RESUMO

ALVES NETO, Alfredo José. Universidade Estadual do oeste do Paraná, maio de 2021. **Qualidade do solo e produtividade da soja após gessagem e cultivos de plantas de cobertura.** Orientadora: Maria do Carmo Lana. Coorientador: Deonir Secco.

O presente trabalho teve por objetivo verificar as alterações nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo e na produtividade da cultura da soja, sob cultivos de plantas de cobertura na entressafra e presença e ausência de gessagem, na região oeste do Paraná. Amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m, em três anos de avaliação (2017, 2018 e 2019) em área experimental localizada no município de Corbélia-PR. O delineamento experimental foi de blocos casualizados em parcelas subdivididas com quatro repetições. Nas subparcelas aplicado gesso agrícola. Na safra de verão todas as parcelas foram cultivadas com soja. No cultivo de inverno foram instaladas nas parcelas as diferentes culturas: T1 – (CU) *Crotalaria juncea* (L.) + *Urochloa ruziziensis*, T2 – (CP) *Crotalaria juncea* (L.) + *Pennisetum glaucum* (L.), T3 – (P) *Pennisetum glaucum* (L.), T4 – (J) *Crotalaria juncea* (L.), T5 – (S) *Crotalaria spectabilis* (R.), T6 – (O) *Crotalaria ochroleuca*, T7 – *Zea mays* (L.) (Z), T8 – *Urochloa ruziziensis* (U), T9 – (A) Ausência de cobertura no Inverno. Evidenciou-se que as plantas de cobertura têm necessidade de um índice pluviométrico adequado para demonstrar seus principais efeitos no solo. O sistema de cultivo de grãos com ausência de cultivo de plantas de cobertura na entressafra trouxe efeitos deletérios como menor produtividade e menor rendimento de grãos acumulado para a cultura da soja. Houve aumento da densidade do solo, menor porosidade total, redução na macroporosidade, diminuição nos teores de carbono orgânico e de enzimas de solo, todos estes, indicativos de degradação química física e biológica do solo. Entretanto, com o cultivo de plantas de cobertura no inverno, houve uma menor resistência do solo à penetração, maiores produtividades no segundo e no terceiro ano de cultivo, além do maior teor de carbono orgânico do solo, menor respiração basal do solo e maiores teores das enzimas do solo. Ao utilizar as plantas de cobertura *Crotalaria juncea* (L.) + *Urochloa ruziziensis* proporcionou excelente cobertura do solo e maior de teor de nitrogênio nos grãos. Ao utilizar as plantas de cobertura *Crotalaria juncea* (L.) + *Pennisetum glaucum* (L.)

evidenciou-se aumento considerável na condutividade hidráulica em solo saturado nas camadas de 0 – 0,20 e 0,20 – 0,40 m e maior estabilização dos agregados do solo. O cultivo de *Crotalaria ochroleuca* promoveu a maior condutividade hidráulica de solo saturado na camada de 0 – 0,20 m. Plantas de cobertura como *Crotalaria juncea* (L.) demonstraram excelente efeito na condutividade hidráulica em solo saturado.

**Palavras-chave:** Qualidade do solo, Mistura de plantas de cobertura, Enzimas do solo, Eficiência no uso de fertilizantes.

## ABSTRACT

ALVES NETO, Alfredo José. State University of Western Paraná, maio de 2021. **Soil quality and soybean yield after agricultural gypsum and cover crops.** Orientadora: Maria do Carmo Lana. Coorientadores: Deonir Secco.

The aim of this study is verify the changes in physical, chemical and biological soil attributes and in soybean crop yield, under cover crops in the off-season and presence and absence of gypsum, in the western region of Paraná. Soil samples were collected in layers of 0-0,10 m, 0,10-0,20 m and 0,20-0,40 m, in three years of evaluation (2017, 2018 and 2019) in an experimental area located in Corbelia, Paraná State, Brazil. The experimental design was randomized blocks in split plots with four replications. In the subplots, agricultural plaster is applied. In the summer crop all plots were cultivated with soybeans. In winter cultivation, different crops were installed in the plots: T1 – (CU) *Crotalaria juncea* (L.) + *Urochloa ruziziensis*, T2 – (CP) *Crotalaria juncea* (L.) + *Pennisetum glaucum* (L.), T3 – (P.) *Pennisetum glaucum* (L.), T4 – (J) *Crotalaria juncea* (L.), T5 – (S) *Crotalaria spectabilis* (R.), T6 – (O) *Crotalaria ochroleuca*, T7 – *Zea mays* (L.) (Z) ), T8 – *Urochloa ruziziensis* (U), T9 – (A) ausence of cover crops in winter. It was evident that cover crops need an adequate rainfall index to demonstrate their main effects on the soil. The grain cultivation system with ausence of cover crops in the winter had deleterious effects such as lower yield and lower accumulated grain yield for the soybean crop. There was an increase in soil density, lower total porosity, a reduction in macroporosity, a decrease in organic carbon and soil enzyme content, all of which are indicative of physical and biological chemical degradation of the soil. However, there was a lower soil resistance to penetration, higher yields in the second and third year of cultivation, in addition to higher soil organic carbon content, lower basal soil respiration and higher levels of soil enzymes. Using the cover crops *Crotalaria juncea* (L.) + *Urochloa ruziziensis* provided excellent soil cover and higher nitrogen content in the grains. When using the cover crops *Crotalaria juncea* (L.) + *Pennisetum glaucum* (L.) there was a considerable increase in hydraulic conductivity in saturated soil in the layers of 0 – 0,20 and 0,20 – 0,40 m and greater stabilization of the soil aggregates. *Crotalaria ochroleuca* cultivation promoted the highest hydraulic

conductivity of saturated soil in the 0 – 0.20 m layer. Cover crops such as *Crotalaria juncea* (L.) showed excellent effect on hydraulic conductivity in saturated soil.

**Keywords:** soil quality, mixed cover crops, soil enzymes, efficient use of fertilizers.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>15</b>
<b>2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>22</b>
<b>3 CAPÍTULO 1 – ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO SOB CULTIVO DE PLANTAS DE COBERTURA E GESSAGEM .....</b>	<b>30</b>
3.1 INTRODUÇÃO .....	32
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	35
3.2.1 Caracterização da Área Experimental .....	35
3.2.2 Delineamento Experimental.....	37
3.2.3 Condução do Experimento .....	37
3.2.4 Coletas das Amostras de Solo.....	40
3.2.5 Análises Realizadas.....	41
3.2.6 Análises Estatísticas .....	42
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	43
3.4 CONCLUSÕES .....	66
3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68
<b>4 CAPÍTULO 2 – BALANÇO E EFICIÊNCIA DO USO DE NUTRIENTES SOB CULTIVO DE PLANTAS DE COBERTURA E GESSAGEM .....</b>	<b>77</b>
4.1 INTRODUÇÃO .....	79
4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	80
4.2.1 Caracterização da Área Experimental .....	80
4.2.2 Delineamento Experimental.....	80
4.2.3 Condução do Experimento .....	80
4.2.4 Coletas das Amostras de Solo e de Tecido Foliar .....	81
4.2.5 Análises Realizadas.....	82
4.2.6 Cálculo de balanço e eficiência de utilização de N, P, K, Ca e S .....	83
4.2.7 Análises Estatísticas .....	84

4.2.7.1 Análises Estatísticas após os três anos de condução do experimento...	85
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	85
4.4 CONCLUSÕES .....	106
4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	107
<b>5 CAPÍTULO 3 – ATRIBUTOS BIOLÓGICOS DO SOLO SOB CULTIVO DE PLANTAS DE COBERTURA E GESSAGEM.....</b>	<b>113</b>
5.1 INTRODUÇÃO .....	115
5.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	118
5.2.1 Caracterização da Área Experimental .....	118
5.2.2 Delineamento Experimental.....	118
5.2.3 Condução do Experimento .....	118
5.2.4 Amostras de solo para atributos biológicos e microbiológicos .....	118
5.2.5 Determinação da atividade da enzima beta-glicosidase .....	120
5.2.6 Determinação da atividade da enzima fosfatase ácida.....	123
5.2.7 Determinação da atividade da enzima aril sulfatase.....	125
5.2.8 Análises Estatísticas .....	128
5.2.8.1 Análises Estatísticas após os três anos de condução do experimento.	129
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	129
5.4 CONCLUSÕES .....	140
5.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	142

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A adoção de medidas de cultivo que minimizem a degradação do solo, como a semeadura direta, auxiliam na sustentabilidade da utilização do solo agrícola. Essa prática apresenta como princípios básicos o não revolvimento do solo (apenas revolvimento mínimo nas linhas de semeadura), a manutenção da cobertura do solo permanentemente (cobertura viva ou morta), e o emprego da rotação e/ou associação de culturas com objetivo de maximizar a biodiversidade (MADALOSSO, 2015).

A não adoção dos princípios básicos do sistema de semeadura direta acarreta em baixo aproveitamento dos fertilizantes, baixa eficiência do calcário, aumento na resistência do solo à penetração das raízes e estagnação de produtividade da cultura da soja.

Portanto, é necessário utilizar medidas para que um solo de qualidade seja alcançado, com a manutenção do potencial produtivo da área de cultivo (RALISCH et al., 2017). Um solo de qualidade é aquele que apresenta capacidade para desempenhar suas funções essenciais e sustenta as plantas, animais e seres humanos (DORAN; PARKIN, 1994). Vários parâmetros químicos, físicos e biológicos são considerados indicadores de qualidade do solo (ARAÚJO et al., 2012), e de acordo com Cardoso et al. (2014), os mesmos podem ser melhorados com a utilização do sistema de semeadura direta, e, proporcionar o benefício ao produtor rural: a maior lucratividade (ALVIM e OLIVEIRA JUNIOR 2005). Porém, é necessário que tais indicadores sejam de fácil mensuração (PARRON et al., 2015), confiáveis metodologicamente e pouco onerosos (MAIA; NOVOTNY; RITTL, 2013).

Os indicadores físicos estão relacionados ao espaço poroso do solo, no qual a estrutura do solo é o fator mais importante (AGUIAR, 2008). A estrutura é avaliada por meio da estabilidade dos agregados, micro e macroporosidade, resistência à penetração, infiltração da água no solo e densidade do solo (DORAN; PARKIN, 1994). De acordo com Stefanoski et al. (2013) alguns indicadores físicos são permanentes e servem para classificar o solo pedologicamente, enquanto outros são alteráveis por estarem sujeitos a modificações e dependentes do sistema de manejo (RAMOS et al., 2014).

Mota, Freire e Assis Junior (2013) relatam que atributos como teor de matéria orgânica, densidade do solo, estabilidade de agregados, resistência à penetração e

condutividade hidráulica, são alteráveis pelo manejo do solo adotado e capazes de indicar a qualidade física do solo.

Os indicadores químicos são resultados das ocorrências ao longo do tempo no solo, da forma de condução e desenvolvimento da exploração agrícola a qual promove grande heterogeneidade. Um exemplo disso, é a incorporação de matéria orgânica e a utilização de fertilizantes. São atributos muito importantes relacionados a capacidade do solo de ceder elementos essenciais às plantas, como os corretivos e a fertilidades (químicos e orgânicos) do solo, que precisa ser preservada e restaurada para manutenção da produtividade das plantas de interesse econômico (MILINDRO et al., 2016).

Para Swift, Heal e Andeson (1979), os indicadores químicos relacionam o processo de decomposição e mineralização da matéria orgânica (considerada o indicador químico mais eficiente para determinação da qualidade do solo), com potencial para ser modificada pelo sistema de manejo adotado. Outros indicadores químicos utilizados na qualidade do solo são: teor de carbono, pH, fósforo e potássio disponíveis, nitrogênio total, condutividade elétrica, capacidade de troca catiônica (CTC) e nitrogênio mineral (BUNEMANN et al., 2018).

Os indicadores biológicos apresentam relação com a biomassa microbiana, atividade da fauna (SOUZA et al., 2010), respiração microbiana do solo, atividade enzimática e quociente metabólico e são importantes na ciclagem dos nutrientes e no desenvolvimento dos vegetais (ARAÚJO et al., 2012). Com relação a qualidade do solo e a sustentabilidade de seu uso, é necessária a presença de diversas espécies no solo (SILVA et al., 2008), com diferentes intensidades de atividade biológica e promovem a biodiversidade do solo (VELÁSQUEZ; LAVELLE; ANDRADE, 2007).

A prática de proteger o solo com plantas de cobertura ou adubos verdes é vantajosa, pois possibilita a diversificação e ocupa o solo no período de pousio, o que é uma prática recomendável em sistemas agrícolas sustentáveis e trazem benefícios para o ciclo produtivo das culturas de maior interesse econômico (BALBINOT JÚNIOR et al., 2009).

Infelizmente na agricultura brasileira, ainda há baixo índice de utilização de plantas de cobertura, pois muitos agricultores acreditam que a técnica é não rentável pois não conseguem vislumbrar os benefícios do custeio, mas inúmeros estudos comprovam as vantagens da sua utilização e melhoria nos aspectos físicos, químicos e biológicos do solo, com contribuição para maior produtividade e para mitigar

problemas com plantas daninhas, compactação, erosão e lixiviação (ARAÚJO et al., 2015).

A cobertura morta garante a sustentabilidade do sistema (ANSELMO; COSTA; SÁ, 2013), por gerar quantidades de matéria seca suficientes para manter o solo coberto, aumentar o teor de matéria orgânica, reduzir a energia de impacto das gotas de chuva, diminuir a evapotranspiração (GIONGO et al., 2011) e garantir o bom estabelecimento para a próxima cultura em quantidade e qualidade, ao viabilizar as práticas conservacionistas do solo (NAKAO et al., 2015).

A utilização do sistema de semeadura direta apresenta inúmeras vantagens para o cultivo agrícola (CRUZ et al., 2019) que contribuem com o solo, que tem papel importante no ecossistema. Embora a rotação de culturas não seja muito praticada no Brasil e tem-se pequena quantidade e diversificação de palhada no solo, com a utilização de cobertura na entressafra, consegue-se chegar o mais próximo das premissas do sistema de semeadura direta ao diversificar as plantas e não favorecer a sobrevivência de fitopatógenos (PARRON et al., 2015). De acordo com Amado et al. (2014), a utilização de plantas de cobertura em sistemas de produção de grãos é uma tática de melhoria da qualidade do solo.

Dentre as espécies mais utilizadas para cobertura de solo nos sistemas de produção, destacam-se o milheto (*Pennisetum glaucum* L.), a *Brachiaria ruziziensis* Germain & Evrard (sin. *Urochloa ruziziensis*) e as crotalárias (*Crotalaria ochroleuca*; *Crotalaria juncea*; *Crotalaria spectabilis*).

O milheto (*Pennisetum glaucum* L.), pertence a família *Poaceae* que apresenta boa produção de massa seca (5.000 a 15.000 kg ha<sup>-1</sup>), elevada capacidade de extração e reciclagem de nutrientes do solo, menor lixiviação, (LEITE et al., 2010), elevada relação carbono:nitrogênio (C/N) (TEIXEIRA et al., 2014) com maior persistência no solo (MELO; FERNANDES; GALVÃO, 2015) e benefícios nas propriedades físicas, químicas e biológicas (BRANCALIÃO et al., 2014).

A *Brachiaria ruziziensis* Germain & Evrard (sin. *Urochloa ruziziensis*) apresenta sistema radicular profundo e vigoroso, é tolerante ao déficit hídrico e absorve nutrientes das camadas mais profundas do solo, conseguem se desenvolver mesmo em condições desfavoráveis (BARDUCCI et al., 2009). Esta espécie não forma touceiras, produz grande quantidade de massa seca (CECCON et al., 2009) e beneficia a cultura sequente com liberação de nutrientes advindos da sua degradação (NASCENTE et al., 2013).

De acordo com Chioderoli et al. (2012) ao avaliar a produtividade de soja sobre palhada de *Brachiaria* sp., verificaram aumento na macroporosidade e porosidade total do solo, com maior produtividade de soja. Em estudo para determinação da ciclagem de nutrientes, Pacheco et al. (2013) concluíram que *Brachiaria ruziziensis* e *Brachiaria brizantha* apresentam eficiência no acúmulo e liberação de nutrientes, principalmente quanto ao potássio trocável. É uma planta de cobertura que se destaca pelo elevado rendimento de massa seca, fácil disponibilidade de sementes e crescimento rápido (FONTANELI et al., 2009).

As crotalárias são leguminosas de raiz pivotante pertencentes à família das Fabaceae (ERASMO et al., 2004), são importantes na agricultura pela capacidade de fixação de nitrogênio atmosférico no solo e redução de populações de fitonematoides causadores de doenças (REDIN et al., 2016).

A *Crotalaria ochroleuca* tem capacidade de se desenvolver em solos com média fertilidade, possui média sensibilidade à acidez e à seca, tolera moderadamente solos encharcados e apresenta sistema radicular profundo. A *Crotalaria juncea* pode produzir de 4 a 15 toneladas por ha<sup>-1</sup> de massa seca e fixa entre 150 a 450 kg de nitrogênio por ha<sup>-1</sup>. A *Crotalaria spectabilis* apresenta rendimento de 6 toneladas ha<sup>-1</sup> de massa seca e fixa entre 60 e 150 kg de nitrogênio por ha<sup>-1</sup> (WUTKE; CALEGARI; WILDNER, 2014).

Rotacionar as culturas e utilizar distintas espécies de plantas de cobertura, proporciona melhorias na qualidade do solo com aumento da matéria orgânica, produção de bioporos, e maior estruturação (ANDRADE; STONE; SILVEIRA, 2009).

As gramíneas apresentam grande contribuição com altas quantidades de biomassa e alta relação C/N, com processo de decomposição relativamente lento, o que favorece na persistência da cobertura do solo (SILVA et al., 2012), são importantes para absorção de nutrientes, como potássio. Em camadas subsuperficiais a planta disponibiliza esse nutriente na superfície do solo (BOER et al., 2007). As leguminosas apresentam grande potencial de produção de biomassa e por fixarem o nitrogênio atmosférico, apresentam elevados teores de nitrogênio na matéria vegetal, seus restos vegetais geralmente têm baixa relação C/N, com decomposição relativamente acelerada (CALVO; FOLONI; BRANCALIÃO, 2010).

As plantas de cobertura, solteiras ou consorciadas, são capazes de absorver nutrientes das camadas profundas do solo reunem-os em suas raízes ou parte aérea, e permitem, posteriormente, a liberação destes nutrientes para o solo, com resultado

de alteração do teor destes nas camadas mais superficiais no ciclo da próxima cultura (PAULETTI et al., 2009).

O cultivo de plantas de coberturas de diferentes espécies misturadas, pode promover benefícios ao sistema de produção pelo fato das plantas apresentarem características intrínsecas distintas, as quais resultam na exploração de camadas diferentes do solo, favorecem grupos diferentes da biota do solo e uma ciclagem diferenciada de nutrientes (CHERR et al., 2006), o distinto estruturamento físico do solo, e produção de matéria seca de relação C/N intermediária, possibilita menor índice de decomposição de resíduos culturais (CARVALHO et al., 2013).

Desta forma, a utilização de culturas diferentes de elevada produção de massa seca, seria uma alternativa de conciliar de forma eficiente cobertura vegetal do solo e maior fixação biológica ou reciclagem de nutrientes (FERRARI NETO et al., 2011), ao proporcionar efeitos benéficos às culturas.

Torres et al. (2015) ao estudarem as alterações físicas no solo ao empregar diferentes plantas de cobertura associadas a semeadura direta, observaram mudanças positivas na camada superficial do solo, com aumento da estabilidade dos agregados e aumento da microporosidade, enquanto, Vezzani e Mielniczuk (2011) ao realizar um estudo parecido, encontraram da mesma forma a capacidade de recuperação da agregação e do estoque de carbono em solos degradados.

Segundo Tiecher (2015) os resíduos deixados pelas plantas de cobertura, é a principal forma de entrada de carbono orgânico no solo, e, sua manutenção ou seu incremento, indica boa qualidade do solo. A produtividade e a sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola estão relacionadas com a quantidade e a qualidade de resíduos culturais produzidos na rotação, sucessão ou consórcio de diferentes espécies.

No sistema de semeadura direta, a aplicação de gesso e calcário é realizada na superfície do solo sem incorporação. Tal aplicação acaba por limitar a eficiência destes produtos. As plantas de cobertura podem mobilizar cátions no solo e beneficiar assim a ação da calagem de forma mais efetiva como visualizado em trabalho realizado por Caires et al. (2006). De acordo com esses autores, as raízes das plantas de cobertura aumentam a capacidade de infiltração dos corretivos e fertilizantes, efeito este que resulta em maior aproveitamento destes insumos.

Pavan e Miyazawa (1998) ao avaliar o pH do solo da superfície até camada, com aplicação de calcário em superfície, verificaram que na presença de plantas de

cobertura o pH foi corrigido em camada, com alcance de até 0,50 m, enquanto que na ausência de plantas de cobertura, a correção ficou restrita a 0,10 m, sendo que além da correção da acidez em camada, as plantas de cobertura também contribuíram no aumento de cálcio em camada, nutriente promotor de raiz que contribuiu na absorção de água e nutrientes. Oliveira e Pavan (1996) também observaram que resíduos vegetais na superfície do solo em sistema de semeadura direta, promoveram eficiência da calagem na correção da acidez do solo.

A calagem é realizada com objetivo de corrigir atributos de acidez e manter a fertilidade do solo equilibrada (WYNGAARD et al., 2012). Em trabalho realizado por Veronese et al. (2012) verificaram que braquiária e milho associadas a calagem proporcionaram melhorias dos parâmetros de acidez do solo, na produtividade da soja e foram capazes de promover maior concentração de fósforo em tecido foliar.

A calagem é a técnica de correção do solo mais utilizada na agricultura, mas para o ambiente em subsuperfície, para neutralizar alumínio e liberar nutrientes em camadas mais profundas, adota-se a gessagem (RAIJ, 2008).

O gesso agrícola contribui na redução dos efeitos negativos sobre o desenvolvimento das plantas, alcança maior efeito residual e liberação de cálcio e enxofre em camada, com neutralização do alumínio (ERNANI; RIBEIRO; BAYER, 2001) e ganhos para culturas anuais como a soja (ASCARI; MENDES, 2017).

Infelizmente de acordo com Yokoyama et al. (2018), nos últimos dez anos, o sistema de sucessão soja-milho segunda safra se consolidou no Brasil, o que demonstra que a atual agricultura não contempla as premissas do sistema de semeadura direta, inclusive com ausência de cobertura viva nas entressafras.

Ao longo dos últimos 10 anos, a produtividade média da soja no Brasil, ao contrário da área cultivada, encontra-se estagnada, sendo mantida entre 2,5 e 3 mil kg ha<sup>-1</sup>. Porém, estudos indicam potencial de produtividade da soja acima de 8 mil kg ha<sup>-1</sup> (OLIVEIRA NETO, 2017), com ainda, mais possibilidades de crescimento (FREITAS; MENDONÇA, 2016).

O aumento da produtividade traria diversas vantagens como maior lucro aos agricultores, maior movimentação econômica mais alimento à população, e, redução da pressão pela abertura de novas áreas de cultivo e preservar o meio ambiente (OLIVEIRA NETO, 2017).

Para que a maior produtividade seja alcançada, é indispensável que se estude possíveis motivos da desaceleração da eficiência produtiva (OLIVEIRA NETO, 2017).

Dentre os principais fatores limitantes da produtividade da cultura da soja destacam-se condições físicas, químicas e biológicas do solo (CARDOSO et al., 2014), adubação inadequada, compactação do solo (NASCIMENTO; PRIMIERI, 2017) e ausência de rotação de culturas (FRANCHINI et al., 2011).

Observa-se frequentemente a tentativa de justificar as baixas produtividades por fatores ambientais, principalmente a irregularidade de chuvas. Apesar dos fatores ambientais serem muito importantes, os mesmos não podem ser controlados. Assim é necessário adotar as medidas citadas para tentar amenizá-los, ao manejar a área da melhor forma possível, manter o equilíbrio e trazer inúmeros benefícios ligados a produtividade.

Na presente tese, o Capítulo 1, intitulado: “Atributos físicos do solo sob cultivo de plantas de cobertura e gessagem”, aborda os principais atributos físicos do solo ligados à infiltração e disponibilidade de água para as plantas. Os atributos físicos testados foram: resistência do solo à penetração, densidade do solo, diâmetro médio ponderado dos agregados, condutividade hidráulica em solo saturado, porosidade do solo, grau de dispersão e grau de floculação. Estes atributos foram avaliados e determinados durante três anos de condução do experimento. O objetivo foi obter os resultados sobre qual a influência da gessagem, quais efeitos das diferentes plantas de cobertura testadas e qual a influência dos anos de cultivo no ambiente para o crescimento das raízes.

No Capítulo 2, “Atributos químicos do solo sob cultivo de plantas de cobertura e gessagem”, foram avaliados atributos químicos do solo e das plantas de soja, de forma que foi possível determinar o balanço e a eficiência de utilização de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) em conjunto com a avaliação do efeito do cultivo das plantas de cobertura e gessagem nas variáveis biométricas e produtividade da cultura da soja.

Por fim, no Capítulo 3: “Atributos biológicos do solo sob cultivo de plantas de cobertura e gessagem”, a avaliação dos atributos biológicos: carbono orgânico total, carbono da biomassa microbiana, quociente metabólico de CO<sub>2</sub>, quociente microbiano, respiração basal do solo, beta-glicosidase, arilsulfatase e fosfatase ácida, foi decisiva para a compreensão de quais plantas de cobertura irão proporcionar a maior produtividade para a cultura da soja e quais plantas de cobertura proporcionaram os maiores estímulos à comunidade biológica do solo.

## 2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, M.I. **Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais**. 2008. 91 f. (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

ALVIM, M.I.S.A.; OLIVEIRA JUNIOR, L.B. Análise da competitividade da produção de soja no sistema de plantio direto no Estado de Mato Grosso do Sul. *Revista de Economia e Sociologia Rural, Brasília*, v. 43, n. 3, p. 505-528, 2005.

AMADO, T.J.C.; FIORIN, J.E.; ARNS, U.; NICOLOSO, R.S.; FERREIRA, A.O. **Adubação verde na produção de grãos e no sistema plantio direto**. In: Lima Filho, O. F. de; Ambrosano, E. J.; Rossi, F.; Carlos, J. A. D. (Ed.). *Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática*. Brasília: Embrapa, 2014. v. 1, p. 81-125.

ANDRADE, R.S.; STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 4, p.411-418, 2009.

ANSELMO, J.L.; COSTA, D.S.; SÁ, M.E. Plantas de cobertura para Região de Cerrado. **Plantas de cobertura**, n. 25, p. 149-154, 2013.

ARAÚJO, E.A.; KER, J.C.; NEVER, J.C.L.; LANI, J.L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, v. 5, n. 1, p. 187-206, 2012.

ARAÚJO, L.S.; CUNHA, P.C.R.; SILVEIRA, P.M.; NETTO, M.S.; OLIVEIRA, F.C. Potencial de cobertura do solo e supressão de tiririca (*Cyperus rotundus*) por resíduos culturais de plantas de cobertura. **Revista Ceres**, v. 62, n. 5, p. 483-488, 2015.

ASCARI, J.P.; MENDES, I.R.N. Desenvolvimento agrônomico e produtivo da soja sob diferentes doses de gesso agrícola. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 9, n. 4, 2017.

BALBINOT JÚNIOR, A.A.; CARVALHO, P.C.F.; VEIGA, M.; MORAES, A.; PELISSARI, A. Desempenho da cultura do feijão após diferentes formas de uso do solo no inverno. **Ciência Rural**, v. 39, p. 23-40, 2009.

BARDUCCI, R.S.; COSTA, C.; CRUSCIOL, C.A.C.; BORGHI, E.; PUTAROV, T.C.; SARTI, L.M.N.; Produção de *Brachiaria Brizantha* e *Panicum Maximum* com milho e adubação nitrogenada. **Revista Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v. 58, n. 222, p. 211-222, 2009.

BRANCALIÃO, S.R.; NAJM, C.C.; MORAES, M.H.; SANTOS, A.E. Sistema radicular do Milheto e ciclagem de cálcio em nitossolo vermelho cultivado em sistema de plantio direto. **Revista Científica Eletrônica Uniseb**, Ribeirão Preto, v. 3, n. 2, p. 227-237, 2014.

BUNEMANN, E.K.; BONGIORNO, G.; BAI, Z.; CREAMER, R.E.; DEYN, G.; GOEDE, R.; FLESKENS, L.; GEISSEN, V.; KUYPER, T.W.; MÄDER, P.; PULLEMAN, W.; SUKKEL, W.; GROENIGEN, J.W.V.; BRUSSAARD, L. Soil quality – A critical review. **Soil Biology And Biochemistry**, v. 120, p. 105-125, 2018.

CAIRES, E.F.; GARBUIO, F.J.; ALLEONI, L.R F.; CAMBRI, M.A. Calagem superficial e cobertura de aveia preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema plantio direto. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 30, p. 87-98, 2006.

CALVO, C.L.; FOLONI, J.S.S.; BRANCALIÃO, S.R. Produtividade de fitomassa e relação C/N de monocultivos e consórcios de guandu-anão, milheto e sorgo em três épocas de corte. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 1, p. 77-86, 2010.

CARDOSO, R.C.; BENTO, A.S.; MORESKI, H.M.; GASPAROTTO, F. Influência da adubação verde nas propriedades físicas e biológicas do solo e na produtividade da cultura de soja. **Semina: Ciências Biológicas e da Saúde**, Londrina, v. 35, n. 2, p. 51-60, 2014.

CARVALHO, W.P.; CARVALHO, G.J.; NETO, D.O.A.; TEIXEIRA, L.G.V. Desempenho agrônômico de plantas de cobertura usadas na proteção do solo no ano de pousio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 2, p. 157-166, 2013.

CECCON, G.; STAUT, L.A.; KURIHARA, C.H. Cerrado: Manejo de *Brachiaria ruziziensis* em consórcio com milho safrinha e rendimento de soja em sucessão. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 113, p. 4-8, 2009.

CHERR, C.M.; SCHOLBERG, J.M.S.; MCSORLEY, R. Green manure approaches to crop production: a synthesis. **Agronomy Journal**, v. 98, p. 302-319, 2006.

CHIODEROLI, C.A.; MELLO L.M.M.; GRIGOLLI, P.J.; FURLANI, C.E.A.; SILVA, J.O. R.; CESARIN, A.L. Atributos físicos do solo e produtividade de soja em sistema de consórcio milho e braquiária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 1, p. 37-43, 2012.

CRUZ, J.C.; RAMON, C.A.; VIANA, J.H.M.; FILHO, I.A.P.; FILHO, M.R.A.; SANTANA, D. P. **Sistema de plantio direto no milho**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2019. Disponível em:

[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01\\_72\\_59200523355.html](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_72_59200523355.html). Acesso em: 12 de março de 2021.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. **Defining and assessing soil quality**. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (Ed.). *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison: SSSA, 1994. 20 p.

ERASMO, E.A.L.; AZEVEDO, W.R.; SARMENTO, R.A.; CUNHA, A.M.; GARCIA, S.L.R. Potencial de espécies utilizadas como adubo verde no manejo integrado de plantas daninhas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 22, n. 3, p. 337-342, 2004.

ERNANI, P.R.; RIBEIRO, M.S.; BAYER, C. Modificações químicas em solos ácidos ocasionadas pelo método de aplicação de corretivos da acidez e de gesso agrícola. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 4, p. 825-831, 2001.

FERRARI NETO, J.; CRUSCIOL, C.A.C.; SORATTO, R.P.; COSTA, C.H.M. Plantas de cobertura, manejo da palhada e produtividade da mamoneira no sistema plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 4, p. 978- 985, 2011.

FONTANELI, R.S.; FONTANELI, R.S.; SANTOS, H.P. Rendimento e valor nutritivo de cereais de inverno de duplo propósito: forragem verde e silagem ou grãos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, p. 2116-2120, 2009.

FRANCHINI, J.C.; SILVA, V.P. da; BALBINOT JÚNIOR, A.A.; SICHIERI, F.; PADULLA, R.; DEBIASI, H.; MARTINS, S.S. **Integração lavoura-pecuária-floresta na região Noroeste do Paraná**. (Embrapa Soja. Circular técnica, 86). Londrina: Embrapa Soja, 2011. 15 p.

FREITAS, R.E.; MENDONÇA, M.A.A. Expansão Agrícola no Brasil e a Participação da Soja: 20 anos. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 54, n. 3, p. 497-516, 2016.

GIONGO, V.; MENDES, A.M.S.; CUNHA, T.J.F.; GALVÃO, S.R.S. Decomposição e liberação de nutrientes de coquetéis vegetais para utilização no semiárido brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 3, p. 611-618, 2011.

LEITE, L.F.C.; FREITAS, R.C.A.; SAGRILO, E.; GALVÃO, S.R.S. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos vegetais depositados sobre Latossolo Amarelo no Cerrado Maranhense. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 1, p. 29-35, 2010.

MADALOSSO, T. **Balço e eficiência de uso de nutrientes em sistemas de produção de grãos na região oeste do Paraná**. 112f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do oeste do Paraná, Campus de Marechal Cândido Rondon, 2015.

MAIA, C.M.B.F.; NOVOTNY, E.H.; RITTL, T.F. Soil organic matter: chemical and physical characteristics and analytical methods: a review. **Current Organic Chemistry**, Hilversum, v. 17, n. 24, p. 2985-2990, 2013.

MELO, N.C.; FERNANDES, A.R.; GALVÃO, J.R. Crescimento e eficiência nutricional do nitrogênio em cultivares de milho forrageiro na amazônia. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 3, p. 68-78, 2015.

MILINDRO, I.F.; RODRIGUES, R.A.A.; SANTOS, M.K.A.; SANTOS, V.B. Atributos químicos como indicadores de qualidade do solo sob manejo agroecológico. **Cadernos de Agroecologia**, Belém, v. 10, n. 3, p. 1-5, 2016.

MOTA, J.C.A.; FREIRE, A.G.; ASSIS JUNIOR, R.N. de. Qualidade física de um cambissolo sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 5, p. 1196-1206, 2013.

NAKAO, A.H.; CARVALHO, M.P.; SOUZA, F.H.; CRUZ, S.S.; MONTANARI, R. Rotação e sucessão de culturas como práticas de conservação do solo no município de Jales, SP **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 32, n. 1, p. 153-166, 2015.

NASCENTE, A.S.; LI, Y.C.; CRUSCIOL, C.A.C. Cover crops and no-till effects on physical fractions of soil organic matter. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 130, n. 6, p. 52-57, 2013.

NASCIMENTO, K.B.; PRIMIERI, C. Produtividade da soja submetida à interferência de plantas voluntárias de milho resistente ao glifosato. **Revista cultivando o saber**, Cascavel, edição especial, p. 30-36, 2017.

OLIVEIRA NETO, A.A. **Compêndio de estudos conab**. A produtividade da soja: Análise e perspectivas. Companhia Nacional de Abastecimento, v. 10, 2017.

OLIVEIRA, E.; PAVAN, M.A. The control of soil acidity in no-till system for soybean production. **Soil and Tillage Research**, v. 38, p. 47-57, 1996.

PACHECO, L.P.; BARBOSA, J.M.; LEANDRO, W.M.; MACHADO, P.L.O.A.; ASSIS R.L.; MADARI, B.E.; PETTER, F.A. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura e

produtividade de soja e arroz em plantio direto. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 48, n. 9, p. 1228-1236, 2013.

PARRON, L.M.; GARCIA, J.R.G.; OLIVEIRA, E.B.; BROWN, G.G.; PRADO, R.B. **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília: Embrapa, 2015. 370 p.

PAULETTI, V.; MOTTA, A.C.V.; SERRAT, B.M.; FAVARETTO, N.; ANJOS, A. Atributos químicos de um Latossolo bruno sob sistema plantio direto em função da estratégia de adubação e do método de amostragem de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 581-590, 2009.

PAVAN, M.A.; MIYAZAWA, M. **Mobilização do calcário no solo através de resíduos da aveia**. In: REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DA AVEIA, 18., Londrina, 1998. Anais. Londrina: IAPAR, 1998. p.72-79.

RAIJ, B.V. **Gesso na Agricultura**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. 233 p.

RALISCH, R.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J.C.; TOMAZI, M.; HERNANI, L.C.; MELO, A.S.; SANTI, A.; MARTINS, A.L.S.; BONA, F.D. **Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo** – DRES. Londrina: Embrapa Soja (Documentos 390), 2017.

RAMOS, M.R.; FAVARETTO, N.; DIECKOW, J. DEDECK, R.A.; VEZZANI, F.M.; ALMEIDA, L.; SPERRIN, M. Soil, water and nutrient loss under conventional and organic vegetable production managed in small farms versus forest system. **Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics**, Kassel, v. 115, n. 1, p. 131–40, 2014.

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: Manejo e conservação de solo e água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água. Org. Tales Tiecher. - Porto Alegre: UFRGS, 2016.

SILVA, J.A.N.; SOUZA, C.M.A.; SILVA, C.J.; BOTTEGA, S.P. Crescimento e produção de espécies forrageiras consorciadas com pinhão-manso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 769-775, 2012.

SILVA, R.F. da.; AQUINO, A.M. de.; MERCANTE, F.M.; GUIMARÃES, M.F. Macrofauna invertebrada do solo em sistema integrado de produção agropecuária no Cerrado. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 4, p. 725-731, 2008.

SOUZA, E.D.; COSTA, S.E.V.G.A.; ANGHININI, I.; LIMA, C.V.S.; CARVALHO, P.C.F.; MARTINS, A.P. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 79-88, 2010.

STEFANOSKI, D.C.; SANTOS, G.G.; MARCHÃO, R.L.; PETTER, F.A.; PACHECO, L.P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 12, p. 1301-1309, 2013.

SWIFT, M.J.; HEAL, O.W.; ANDESON, J.M. Decomposition in terrestrial ecosystems. Berkley: University of California Press, 1979. 372 p.

TEIXEIRA, R.A. SOARES, T.G.; FERNANDES, A.R.; BRAZ, A.M.S. Grasses and legumes as cover crop in no-tillage system in northeastern Pará Brazil. **Acta Amazônica**, v. 44, n. 4, p. 411-418, 2014.

TIECHER, T. Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil. Frederico Westphalen: Uri; 2015.

TORRES, J.L.R.; PEREIRA, M.G.; ASSIS, R.L.; SAUZA, Z.M. Atributos físicos de um latossolo vermelho cultivado com plantas de cobertura, em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.l.], v. 39, n. 2, p. 428- 437, 2015.

VELÁSQUEZ, E.; LAVELLE, P.; ANDRADE, M. GISQ, a multifunctional indicator of soil quality. **Soil Biology and Biochemistry**, Leicestershire, v. 39, n. 12, p. 3066-3080, 2007.

VERONESE, M.; FRANCISCO, E.A.B.; ZANCANARO, L.; ROSOLEM, C.A. Plantas de cobertura e calagem na implantação do sistema plantio direto. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 47, n. 8, p. 1158-1165, 2012.

VEZZANI, F.M.; MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.l.], v. 35, n. 1, p. 213-223, 2011.

WUTKE, E.B.; CALEGARI, A.; WILDNER, L.D.P. **Espécies de adubos verdes e plantas de cobertura e recomendações para seu uso**. In: LIMA FILHO, O.F.D.; AMBROSANO, E.J.; ROSSI, F.; CARLOS, J.A.D. (Orgs) Adubação Verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática. Brasília, DF: Embrapa, 2014. Cap. 3, p. 61-167.

WYNGAARD, N.; ECHEVERRÍA, H.E.; ROZAS, H.R.S.; DIVITO, G.A. Fertilization and tillage effects on soil properties and maize yield in a Southern Pampas Argiudoll. **Soil and Tillage Research**, v. 119, p. 22-30, 2012.

YOKOYAMA, A.H.; RIBEIRO, R.H.; BALBINOT JUNIOR, A.A.; FRANCHINI, J.C.; DEBIASI, H.; ZUCARELI, C. Índices de área foliar e SPAD da soja em função de culturas de entressafra e nitrogênio e sua relação com a produtividade. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 4, p. 953-962, 2018.

### 3 CAPÍTULO 1 – ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO SOB CULTIVO DE PLANTAS DE COBERTURA E GESSAGEM

RESUMO: Os indicadores de qualidade física do solo devem ser simples e sensíveis as alterações de manejo, que medem as condições restritivas que devem ser mínimas ou ausentes para o crescimento das plantas, com disponibilidade de água para as raízes. Desta forma, buscou-se avaliar alterações estruturais e físicas do solo, após três anos de cultivo de plantas de cobertura no inverno com ausência e presença de gessagem. O delineamento experimental foi em parcelas subdivididas com quatro repetições. Foram alocados nas parcelas os cultivos de inverno T1 – (CU) *Crotalaria juncea* (L.) + *Urochloa ruziziensis*, T2 – (CP) *Crotalaria juncea* (L.) + *Pennisetum glaucum* (L.), T3 – (P) *Pennisetum glaucum* (L.), T4 – (J) *Crotalaria juncea* (L.), T5 – (S) *Crotalaria spectabilis* (R.), T6 – (O) *Crotalaria ochroleuca*, T7 – *Zea mays* (L.) (Z), T8 – *Urochloa ruziziensis* (U), T9 – (A) Ausência de cobertura no inverno. Amostras de solo compostas e indeformadas foram coletadas em camadas para determinação da densidade do solo (Ds), condutividade hidráulica em solo saturado (Ksat), diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP), porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), grau de flocculação (GF) e grau de dispersão de argila (GD), além da resistência do solo à penetração (RP). A utilização do tratamento ausência de cultivos de inverno promoveu prejuízos à qualidade física do solo. No ano de 2019, houve menor precipitação em comparação com os anos de 2017 e 2018, o que resultou em menores efeitos positivos das plantas de cobertura e evidenciou-se que as plantas de cobertura têm a necessidade de um índice pluviométrico adequado para demonstrar seus principais efeitos no solo. A utilização do consórcio entre *Crotalaria juncea* + *Pennisetum glaucum* (CP), foi responsável pela maior redução na RP na camada de 0-0,20 m, por reduzir a fração do solo com agregados menor que 0,053 mm e aumentar os agregados maiores 4,760 mm, também reduziu a Ds na camada de 0,20-0,40 m. Os menores valores de RP na camada de 0-0,10 m foram observados no tratamento com *Urochloa ruziziensis* (U), com diminuição dos valores em função do aumento dos anos de cultivo avaliados. Este tratamento proporcionou maior Pt, aumentou o GF e menor GD da argila, em comparação com os demais tratamentos testados. O cultivo nas entressafras com plantas de cobertura, promove a menor Ds e maior Ksat, efeitos positivos na porosidade do solo e na flocculação de argila, com o potencial de reduzir a susceptibilidade do solo à erosão de forma a confirmar o efeito

das plantas de cobertura em promover melhoria na qualidade edáfica e, conseqüentemente, produções agrícolas sustentáveis.

**Palavras-chave:** Condutividade hidráulica em solo saturado, Plantas de cobertura, Qualidade física do solo.

**ABSTRACT:** Soil physical quality indicators must be simple and sensitive to changes in management, which measure the restrictive conditions that must be minimal or absent for the growth of the plants, with availability of water for the roots. Thus, we sought to evaluate structural and physical changes in the soil, after three years of using cover crops with absence and presence of plaster in winter crops. The experimental design was in split plots with four replications. Winter crops T1 - (CU) *Crotalaria juncea* (L.) + *Urochloa ruziziensis*, T2 - (CP) *Crotalaria juncea* (L.) + *Pennisetum glaucum* (L.), T3 - (P) *Pennisetum glaucum* (L.), T4 - (J) *Crotalaria juncea* (L.), T5 - (S) *Crotalaria spectabilis* (R.), T6 - (O) *Crotalaria ochroleuca*, T7 - *Zea mays* (L.) (Z), T8 - *Urochloa ruziziensis* (U), T9 - (A) Absence of cover in winter (A). Compound and undisturbed soil samples were collected in layers for determining soil density, hydraulic conductivity in saturated soil, weighted average diameter of aggregates, total porosity, macroporosity, microporosity, degree of flocculation and degree of clay dispersion, in addition to soil resistance to penetration. The use of the absence of crops in winter treatment promoted damage to physical quality of the soil. In the year of 2019, there was less rainfall compared to the year of 2017 and 2018, which resulted in less positive effects and it was evident that cover plants have the need for an adequate rainfall index to demonstrate their main effects on the soil. The use of the consortium between *Crotalaria juncea* (L.) + *Pennisetum glaucum* (L.) (CP), was responsible for the greatest reduction in soil resistance to penetration in the 0,10 – 0,20 m layer, by reducing the fraction of the soil below 0,053 mm and increasing the larger aggregates 4,760 mm. This treatment reduced the soil density in the layer from 0,20-0,40 m. The treatment with the use of *Urochloa ruziziensis* (U), obtained the lowest values of soil resistance to penetration in the 0-0,10 m layer, with a decrease in values due to the increase in growing seasons. This treatment showed greater total porosity, increased the degree of flocculation and less degree of clay dispersion, in comparison with the other treatments tested. The off-season cultivation with cover crops, promotes less soil density and greater hydraulic conductivity in saturated soil, positive effects on soil

porosity and clay flocculation, with the benefit of reducing soil susceptibility of soil to erosion in order to confirm the effect of cover crops in promoting improvement in soil quality and, consequently, sustainable agricultural production.

**Keywords:** Saturated hydraulic conductivity, cover crops, physical quality of soil.

### 3.1 INTRODUÇÃO

A sucessão soja-milho segunda safra é um modelo de cultivo adotado por diversos agricultores em virtude dos ganhos econômicos rápidos em detrimento à qualidade física do solo (LIMA et al., 2017). Tal atividade antrópica predispõem o solo a falta de cobertura vegetal em determinados anos de entre safra e essa ausência de alternância de sistemas radiculares distintos no perfil do solo, minimiza a produtividade das culturas.

Ainda nas áreas agrícolas, ocorre intenso tráfego de máquinas, e o solo desprotegido fica vulnerável a fragmentação das partículas pelo impacto da gota de chuva e erosão. Isso acarreta em aumento da densidade, desestruturação do solo, escoamento superficial, menor infiltração da água e menor aproveitamento dos fertilizantes pelas culturas.

De forma direta um dos principais problemas nessa modalidade de cultivo é a redução do aporte de carbono orgânico em profundidade, com consequente restrição a qualidade física do solo.

Para verificar o comportamento mecânico do solo de forma sensível nos sistemas de cultivos, deve-se avaliar os indicadores: resistência do solo a penetração, densidade do solo, diâmetro médio ponderado dos agregados, condutividade hidráulica em solo saturado, porosidade do solo e taxa de dispersão de argila.

O atributo que afeta o crescimento radicular das culturas é a resistência do solo à penetração, pois valores acima de 2 MPa (2000 Kpa) interferem no desenvolvimento das raízes. A resistência do solo a penetração difere para *Fabacea* e *Poacea* no decorrer do tempo de cultivo. Em experimento conduzido em Latossolo Amarelo durante três anos (SOARES et al., 2021) aos tratamentos com *Crotalaria spectabilis*, guandu anão, mucuna preta, trigo sarraceno, *Urochloa ruziziensis*, *Urochloa brizantha*, milheto e capim coracana apresentaram comportamento distinto entre *Fabacea* e *Poacea*. O comportamento da *Crotalaria spectabilis* na resistência do solo

à penetração na camada de 0-0,10 m apresentou decréscimos no decorrer dos três anos (4,61, 2,69 e 2,84 MPa), enquanto *Urochloa ruziziensis*, *Urochloa brizantha* e milho proporcionaram redução da resistência do solo a penetração de 2,53, 3,02 e 1,77 Mpa após três anos de cultivo (SOARES et al., 2021).

A resistência do solo à penetração das raízes é um atributo físico do solo que é diretamente afetado pela agregação e densidade do solo. A diminuição na agregação de partículas aumenta a resistência do solo à penetração e isso é observado em pousio e monocultivo com baixa formação de biomassa (BRAIDA et al., 2011).

De outro modo, a integração de *Urochloa ruziziensis* nos sistemas de cultivos aumenta capacidade de agregação do solo em virtude da quantidade de matéria seca que pode ser de até 17,12 Mg ha<sup>-1</sup> (BONETTI et al., 2015). Contudo, as plantas de cobertura em monocultivo e em consórcio são capazes de recompor os atributos físicos do solo aos níveis almejados para melhoria da produtividade dos cultivos comerciais.

Em estudo para avaliar os limites críticos de densidade do solo em Argissolo Vermelho com os tratamentos pousio (sem planta de cobertura), *Crotalaria juncea*, guandu-anão, feijão-de-porco e mucuna-cinza demonstrou crescimento normal das raízes das plantas de cobertura até a densidade de 1,75 g dm<sup>-3</sup> (REINERT et al., 2008). Entretanto, efeitos negativos no crescimento e na produção de massa seca podem ser observados em plantas de cobertura, ao serem cultivadas em solos com valores de maiores de densidade do solo, ou seja, densidades do solo em níveis que afetam o crescimento de plantas. Na avaliação do comportamento das crotalárias (*C. juncea*, *C. spectabilis* e *C. ochroleuca*) em Latossolo Vermelho distrófico submetidas as densidades do solo de 1,0, 1,2, 1,4; 1,6 1,8 g dm<sup>-3</sup> foi verificado redução no crescimento da parte aérea e radicular das plantas a partir de 1,4 g dm<sup>-3</sup> de densidade (PACHECO et al., 2015).

Em sistema de semeadura direta, o diâmetro médio ponderado dos agregados formado após cultivo com *Urochloa ruziziensis* nas camadas de solos 0-0,10; 0,10-0,20; 0,20- 0,30 m foi de 3,44, 2,07 e 1,47 mm, respectivamente (ALMEIDA et al., 2018).

Além da capacidade dos sistemas de cultivos e de plantas de cobertura na formação de agregados do solo, fatores como o grau de dispersão e floculação de

argila devem ser avaliados para avaliar a estabilidade estrutural do solo e sua consequente susceptibilidade ao processo erosivo (MOTA et al., 2013).

A condutividade hidráulica em solo saturado é um atributo essencial do solo para compreender o movimento da água, importante para modelar escoamento, drenagem e movimento de solutos nos solos.

Este atributo é fortemente influenciado pelo manejo das áreas agrícolas. Desse modo, o manejo do solo é fundamental para manter uma boa condutividade hidráulica, pois diminui o escoamento superficial, melhora a qualidade da água e reduz erosão (ÇERÇIOĞLU et al., 2019).

As plantas de cobertura podem exigir mais de dois anos de cultivos para que seus benefícios sejam verificados na condutividade hidráulica do solo (HARUNA et al., 2020). Entretanto, depende do tipo de planta melhorias no solo podem ser obtidas com menor tempo de cultivo.

Experimento conduzido em Argissolo Vermelho Amarelo distrófico e cultivado com *Crotalaria juncea*, feijão-de-porco e milho nos espaçamentos de 0,25 e 0,50 m demonstrou que apenas a *Crotalaria juncea* no espaçamento de 0,25 m modificou a condutividade hidráulica solo de 22,5 para 63,6 mm h<sup>-1</sup> em 135 dias (CARDOSO et al., 2013). Esse resultado indica uma condutividade hidráulica moderada.

A condutividade hidráulica do solo pode ser classificada em muito lenta (< 1 mm h<sup>-1</sup>), lenta (1-5 mm h<sup>-1</sup>), moderadamente lenta (6-20 mm h<sup>-1</sup>), moderada (21-60 mm h<sup>-1</sup>), moderadamente rápida (61-120 mm h<sup>-1</sup>), rápida (121-180 mm h<sup>-1</sup>) e muito rápida (> 181 mm h<sup>-1</sup>) (PEREIRA et al., 2020).

Além dos parâmetros supracitados, a avaliação da porosidade do solo quantifica a fração volumétrica do solo ocupada com ar e/ou água e representa o local onde circula a solução (composta por água e nutrientes) e o ar. Quando o pesquisador tem em mãos os dados de porosidade do solo é possível estabelecer as relações dos diâmetros dos poros e condicionar o comportamento físico-hídrico (KLEIN, 2014).

Desta forma, o objetivo do trabalho foi avaliar a variabilidade dos atributos físicos do solo com plantas de cobertura, cultivo de milho segunda safra e solo sem cultivo sob a presença e ausência de gessagem na região oeste do Paraná.

## 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.2.1 Caracterização da Área Experimental

O trabalho foi realizado no município de Corbélia, oeste do Paraná em solo classificado com Latossolo Vermelho Distroférico típico de textura muito argilosa (Santos et al., 2018) com 720, 170 e 130 g kg<sup>-1</sup> de argila, silte e areia, respectivamente, na área experimental da Agro Schimi (Empresa de Consultoria Agronômica e Pesquisa), localizada na rodovia PR 573 Km 03, localizada nas coordenadas 24° 48' 03,02" S e 53° 15' 54,71" O e altitude de 677 metros (Figura 1).

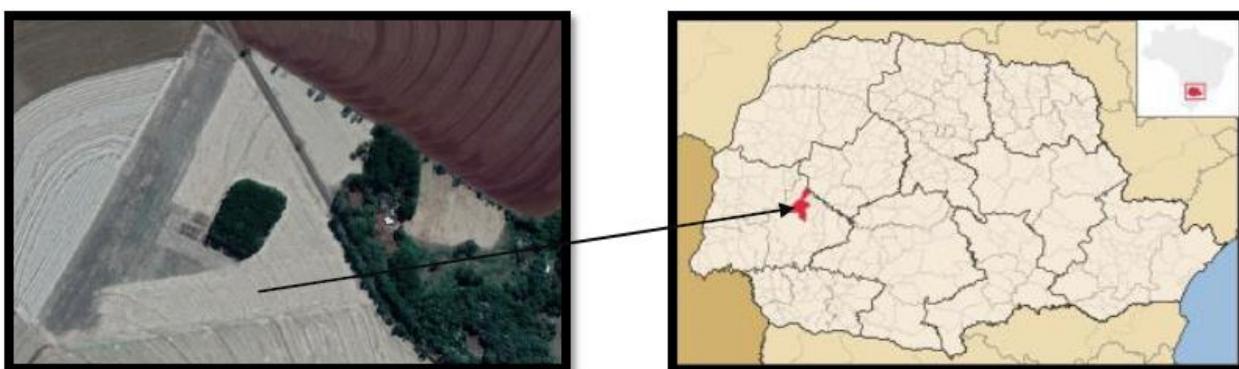


Figura 1 – Localização da Estação de Pesquisa Agrícola da Agro Schimi. Google Earth (2020).

Análises de solo foram realizadas com fins de recomendação de adubação e calagem. As amostras foram coletadas com uso de conjunto coletador de solo (furadeira Profissional Stihl Ms 260) e brocas de aço e foram compostas de 10 subamostras. Foram realizadas amostragens de solo na camada de 0 – 0,20 m e de 0,20 – 0,40 m. As amostras foram encaminhadas ao laboratório de análises químicas Santa Rita, localizados em Mamborê-PR. Os dados da análise química são apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Análise inicial do solo para instalação do experimento. Corbéia – PR, 2017

Prof.	P	C.O	pH CaCl <sub>2</sub>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	H <sup>+</sup> Al	Al <sup>+3</sup>	CTC	SB
m	mg dm <sup>-3</sup>	g dm <sup>-3</sup>		-----			cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----			%
0 – 0,20	5,93	20,54	4,70	4,20	1,30	0,11	5,00	0,20	10,61	5,61
0,20 – 0,40	1,00	11,18	4,10	2,50	1,20	0,15	8,40	0,90	12,25	3,85
Prof.	V(%)	Al	Ca	Mg	K	S <sup>-</sup> SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	B	Mn	Zn	Cu
		% de saturação na CTC								
m		-----%					-----mg dm <sup>-3</sup> -----			
0 – 0,20	52,87	1,90	39,60	12,30	1,00	13,40	0,40	11,00	2,00	4,50
0,20 – 0,40	31,43	7,30	20,40	9,80	1,20	28,00	0,30	98,40	1,01	4,00

P, K<sup>+</sup>, Cu, Zn, Fe e Mn – Mehlich-1; Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Al<sup>3+</sup> – KCl; M.O – Walkey Black; pH – Cloreto de Cálcio; H + Al – Tampão SMP; S(SO<sub>4</sub>)<sup>-2</sup> - Fosfato Monocálcico; B – Cloreto de Bário (LANA et al., 2016).

Com o objetivo de elevar a saturação de bases para 70% com base na análise de solos, realizou-se a calagem. Foi aplicado calcário dolomítico, com 37,10% de CaO, 11,80% de MgO e PRNT 87,51%, na dose de 1,03 Mg ha<sup>-1</sup>. A calagem foi realizada em março de 2017, em superfície, sem revolvimento do solo. A dose aplicada foi a metade da dose calculada pelo método de necessidade de calagem, em função do sistema implantado (sistema plantio direto - SPD).

A dose de gesso foi calculada pelo método da elevação da saturação por Ca na CTCe da camada subsuperficial (Caires & Magalhães, 2018). A quantidade de gesso agrícola aplicado foi de 3,58 Mg ha<sup>-1</sup>, contendo 22,1% de Ca e 17,45% de S. A gessagem foi realizada nas subparcelas em agosto de 2017, em superfície, sem o revolvimento do solo.

A área foi conduzida em SPD por mais de 10 anos, com os cultivos de de soja no verão, trigo, milho segunda safra e aveia-preta no inverno, adubadas exclusivamente com fertilizantes minerais, de acordo com as necessidades das culturas. Por ocasião da instalação do experimento, a cobertura do solo consistia em resíduo de soja (*Glycine max* (L.) Merrill).

O clima da região, de acordo com Köppen, é do tipo Cfa subtropical mesotérmico, com chuvas bem distribuídas durante o ano e verões quentes, com temperaturas médias no verão superiores a 20° C e no inverno temperaturas médias inferiores a 18° C (ITCG, 2008). Na figura 2 são apresentados os dados meteorológicos da área experimental para o ano de 2017 a 2019.

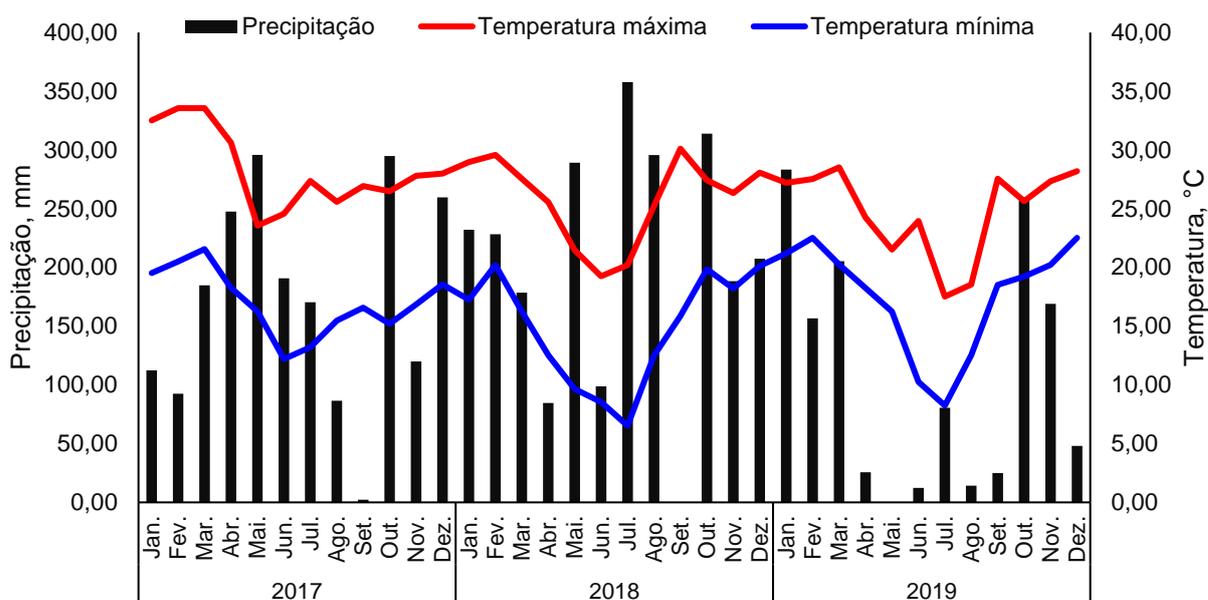


Figura 2 – Dados meteorológicos para o ano de 2017 a 2019 na estação meteorológica da estação experimental Agro Schimi, em Corbélia – PR.

### 3.2.2 Delineamento Experimental

O delineamento experimental foi blocos casualizados em parcelas subdivididas, com quatro repetições. Nas safras de verão todas as parcelas foram cultivadas com soja (*Glycine max* (L.) Merrill). No cultivo de inverno foram instaladas nas parcelas principais as culturas, com nove tratamentos, T1 – (CU) *Crotalaria juncea* (L.) + *Urochloa ruziziensis*, T2 – (CP) *Crotalaria juncea* (L.) + *Pennisetum glaucum* (L.), T3 – (P) *Pennisetum glaucum* (L.), T4 – (J) *Crotalaria juncea* (L.), T5 – (S) *Crotalaria spectabilis* (R.), T6 – (O) *Crotalaria ochroleuca*, T7 – *Zea mays* (L.) (Z), T8 – *Urochloa ruziziensis* (U), T9 – (A) Ausência de cobertura no inverno. Nas subparcelas foi alocado o fator gessagem, com 72 parcelas experimentais no total.

As parcelas principais foram alocadas na gleba com 10 m de comprimento x 3,5 m de largura (35 m<sup>2</sup>), com subparcelas alocadas dentro da parcela principal com 5 m de comprimento x 3,5 m de largura (17,5 m<sup>2</sup>).

### 3.2.3 Condução do Experimento

A condução do experimento teve início em março de 2017 e término em agosto de 2019, com seis cultivos. Após a colheita da soja, em 10/02/2017, conduziu-

se o ensaio. Em razão da semeadura das parcelas a gleba do experimento era manejada com controle químico das plantas daninhas, com objetivo da eliminação total das plantas invasoras em todos os anos dos cultivos.

Os tratos culturais foram realizados de acordo com os níveis de danos econômicos das culturas pragas das culturas.

A semeadura foi realizada sem utilização de fertilizantes minerais. Somente na cultura do milho segunda safra foi realizada fertilização mineral.

O espaçamento das plantas de cobertura foi de 0,25 m e as densidades populacionais seguiram as recomendações técnicas para cada espécie.

A semeadura das parcelas foi feita de forma manual, com as linhas de semeadura abertas manualmente com utilização de enxada com linhas de barbante de forma a tracejar e manter reta as linhas das parcelas semeadas (Figura 3).



Figura 3 – Aspecto das parcelas após a emergência e estabelecimento das plantas, T1 – (CU) *Crotalaria juncea* (L.) + *Urochloa ruziziensis*.

As informações de implantação do experimento, quantidade de sementes utilizadas e suas respectivas cultivares, com as datas das semeaduras são apresentadas na tabela 2.

Tabela 2 – Demonstrativo dos tratamentos e das quantidades de sementes e características dos tratamentos do experimento

Trat.	Descrição	Cultivar			Data sementeira			Data emergência			Data de manejo (dessecação)		
		Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 1	Ano 2	Ano 3
T1	(CU) <i>Crotalaria juncea</i> (L.) + <i>Urochloa ruziziensis</i>	IAC KR1 + Ruziziensis			20/02/2017	23/02/2018	16/02/2019	24/02/2017	27/02/2018	19/02/2019	16/06/2017	10/06/2018	23/06/2019
T2	(CP) <i>Crotalaria juncea</i> (L.) + <i>Pennisetum glaucum</i> (L.)	IAC KR1 + BRS 1501											
T3	(P) <i>Pennisetum glaucum</i> (L.)	BRS 1501											
T4	(J) <i>Crotalaria juncea</i> (L.)	IAC KR1											
T5	(S) <i>Crotalaria spectabilis</i> (R.)	Spectabilis											
T6	(O) <i>Crotalaria ochroleuca</i>	Comum											
T7	<i>Zea mays</i> (L.) (Z) <sup>1</sup>	Dow 2B210	DKB 290	DKB 290									
T8	<i>Urochloa ruziziensis</i> (U)	Ruziziensis											
T9	(A) Ausência de cobertura no Inverno, ou, pousio	-											

Trat.	Descrição	Germinação			Pureza			Plantas emergidas metro linear		
		%			%			Número plantas emergidas		
		Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 1	Ano 2	Ano 3
T1	(CU) <i>Crotalaria juncea</i> (L.) + <i>Urochloa ruziziensis</i>	60,00+92,40	60,00+80,00	85,00+90,00	90,70+86,00	98,00+60,40	98,00+80,00	20,20+42,00	18,40+40,00	20,00+39,50
T2	(CP) <i>Crotalaria juncea</i> (L.) + <i>Pennisetum glaucum</i> (L.)	80,00+81,00	60,00+81,00	85,00+83,00	90,70+99,20	98,00+99,20	98,00+92,00	21,00+21,00	20,50+20,00	20,00+22,00
T3	(P) <i>Pennisetum glaucum</i> (L.)	81,00	81,00	83,00	99,20	99,20	92,00	51,00	52,00	49,20
T4	(J) <i>Crotalaria juncea</i> (L.)	80,00	60,00	85,00	90,70	98,00	98,00	21,20	18,00	19,00
T5	(S) <i>Crotalaria spectabilis</i> (R.)	70,00	70,00	75,00	99,50	92,50	99,50	23,00	24,00	24,00
T6	(O) <i>Crotalaria ochroleuca</i>	83,00	85,00	86,00	90,30	99,10	95,00	22,00	21,00	22,00
T7	<i>Zea mays</i> (L.) (Z)	97,00	96,00	97,00	98,00	98,00	98,00	3,00	3,15	3,00
T8	<i>Urochloa ruziziensis</i> (U)	92,40	80,00	90,00	86,00	60,40	80,00	42,00	40,00	39,50
T9	(A) Ausência de cobertura no Inverno, ou, pousio	-	-	-	-	-	-			

<sup>1</sup> Semeado Ano 1 com fertilizante 12 – 20 – 10 + 10% de S, dose 330,57 kg ha<sup>-1</sup>; Ano 2 com fertilizante 08 – 20 – 20 + 20% de Ca e 1% de S, dose 405,57 kg ha<sup>-1</sup> + 225 kg ha<sup>-1</sup> de 45 – 00 – 00 em cobertura, no estágio V3; Ano 3 com fertilizante 12 – 20 – 10 + 10% de S, dose 330,57 kg ha<sup>-1</sup>.

Ao final do ciclo das culturas, as mesmas foram dessecadas quimicamente com o herbicida glifosato potássico, nome comercial ZAPP QI, na dose de 2,0 L ha<sup>-1</sup>.

Para a cultura da soja utilizou-se a cultivar BS 2606 nos dois primeiros cultivos, e, no terceiro cultivo utilizou-se a cultivar DM 58160 IPRO Lança, com densidades de plantas de 22 e 26 sementes por m<sup>2</sup>, respectivamente. Os fertilizantes utilizados e suas respectivas doses estão descritos no item 4.2.3, do Capítulo 2.

### 3.2.4 Coletas das Amostras de Solo

As amostras e as avaliações de solo nas parcelas foram coletadas no início do mês de setembro nos anos, 2018 e 2019 nas camadas de 0-0,20 m e 0,20-0,40 m com cinco amostras simples (subamostras) em cada parcela.

Em cada parcela, duas amostras indeformadas foram coletadas em cada camada supracitada, com quatro amostras por parcela, com 144 amostras no total. As amostras indeformadas foram coletadas com o auxílio de um suporte de resina (com cabeça batente), um martelo pedológico e conduzidas ao Laboratório de Física do Solo na União Educacional Cascavel - UNIVEL, em Cascavel-PR, sendo preparadas e limpas para início das análises (Figura 4).



Figura 4 – Assepsia das amostras e preparação dos anéis para início das análises no Laboratório de Física do Solo da UNIVEL, Cascavel-PR.

Além das amostras indeformadas de solo, mais cinco amostras simples foram coletadas nas mesmas camadas em cada parcela de forma aleatória para formar uma amostra composta para determinação de grau de floculação e dispersão de argila. As

amostras foram coletadas com auxílio do conjunto coletador de solo (furadeira Profissional Stihl MS 260) e brocas de aço.

### 3.2.5 Análises Realizadas

A resistência do solo a penetração (RP) foi avaliada com a utilização do penetrômetro digital Falker, modelo PenetroLOG-PGL 1020, com aptidão eletrônica para aquisição dos dados. Foram realizadas quatro avaliações por subparcela. O penetrômetro foi configurado para registrar leituras a cada 0,01 m, com trabalho em velocidade de penetração constante. Os dados referentes ao penetrômetro Falker foram extraídos da memória digital e analisados até camada até 0,40 m. Para o processamento dos dados de RP, foi utilizado o Software PenetroLOG. No momento da amostragem, em cada parcela foi retirada uma amostra de solo nas camadas de 0 – 0,20 e 0,20 – 0,40 m, para análise do teor de umidade, determinada pelo método padrão da estufa (TEIXEIRA et al., 2017).

Para as análises de densidade do solo ( $D_s$ ), porosidade total ( $P_t$ ), macroporosidade ( $M_a$ ), microporosidade ( $M_i$ ) e condutividade hidráulica em solo saturado ( $K_{sat}$ ), foram utilizados cilindros de aço inoxidável com volume de  $0,90 \text{ m}^3$  nas camadas descritas, e retirados com auxílio de espátula pedológica. Após a saturação na mesa de tensão, as amostras foram secas em estufa a  $105 \text{ }^\circ\text{C}$ , por 24 horas.

A  $M_i$  foi determinada em mesa de tensão de areia, com sucção de  $-6 \text{ kPa}$ , e a  $P_t$  foi calculada pela relação entre as  $D_s$ . A  $M_a$  foi calculada por diferença entre  $P_t$  e  $M_i$ . A  $K_{sat}$  foi determinada pelo método do permeâmetro de carga constante (TEIXEIRA et al., 2017).

Para a avaliação do diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados, foram coletadas quatro amostras de solo por subparcelas obtidas de uma amostra de solo coletada com auxílio de espátula, foi retirado solo com dimensões aproximadas de 0,05 m de altura por 0,15 m de comprimento e 0,10 m de largura, na camada de 0-0,20 m. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e posteriormente foram pré-selecionadas por meio de peneiras com malhas de 8 e 3 mm, respectivamente colocadas para secar ao ar livre, à sombra. Foi utilizado o sistema de peneiramento rotativo concêntrico, composto por 7 peneiras, são separados em 8

malhas distintas <0,053 mm, 0,053 mm, 0,105 mm, 0,250 mm, 0,500 mm 1,000 mm, 2,000 mm e > 4,760 mm, por meio de peneiragem seca (Klein, 2014).

A análise da argila dispersa em água foi realizada pelo método do densímetro. O princípio baseia-se na sedimentação das partículas de solo. Após a adição de água deionizada é fixado um tempo único para a determinação da densidade da suspensão que aceita ser possuidor da concentração total de argila. As frações grosseiras (areias finas e grossa) são separadas por tamisação e pesadas. O silte é obtido por diferença.

O princípio é que o material em suspensão confere uma determinada densidade ao líquido.

Para grau de flocculação (GF) o princípio é a relação entre a argila naturalmente dispersa e argila total, obtida após dispersão com indicação da proporção da fração argila que se encontra flocculada com informação sobre o grau de estabilidade dos agregados. As determinações dos graus de dispersão e de flocculação foram realizadas pelo método padrão descritos em Oliveira et al. (1979); Vettori (1969); Vettori & Pierantoni (1968).

### 3.2.6 Análises Estatísticas

Os resultados foram analisados quanto à distribuição normal dos dados e homogeneidade das variâncias.

A análise conjunta foi realizada com a consideração do fatorial Ano x Cultivos de plantas de cobertura. Para proceder a análise conjunta, inicialmente foi verificada a relação entre os quadrados médios residuais das análises individuais. Para a realização da análise conjunta as relações entre os quadrados médios residuais das análises individuais não podem ultrapassar a proporção de 7:1 (BANZATTO; KRONKA, 2006).

O efeito das subparcelas foi da mesma forma considerado na análise de variância, uma vez que o tratamento das subparcelas foi gessagem. Na tabela 3 é demonstrado o esquema de análise de variância conjunta para as parcelas subdivididas.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F e as médias, quando significativas ( $P > 0,05$ ), foram submetidas ao teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro. As análises de variâncias foram realizadas para cada camada de solo avaliada, por meio do software SISVAR (FERREIRA, 2011).

Tabela 3 – Esquema de análise de variância conjunta para parcelas subdivididas

Causa de variação	GL
Blocos	$p(r-1)$
Anos	$p - 1$
Plantas de Cobertura	$a - 1$
Plantas de Cobertura x Anos	$(p-1)(a-1)$
Erro a	$p(r-1)(a-1)$
Gessagem	$b-1$
Gessagem x Ano	$(b-1)(p-1)$
Gessagem x Plantas de Cobertura	$(b-1)(a-1)$
Gessagem x Plantas de Cobertura x Anos	$(b-1)(a-1)$
Erro b	$(b-1)(a-1)(p-1)$
Total	$p a b r - 1$

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a camada de 0,00-0,10 m o efeito das plantas de cobertura sobre a RP demonstrou ser menor, quanto maior o tempo de cultivo (Tabela 4).

Tabela 4 – Resistência do solo à penetração para os anos 2018 e 2019 em função da implantação de plantas de cobertura nas camadas de solo amostradas. Corbélia-PR, 2021.

Anos	Resistência do Solo à Penetração kPa			
	Camada			
	0-,00-0,10 m	0,10-0,20 m	0,20-0,30 m	0,30-0,40 m
2018	1.837,66 A	3.231,98 A	3.032,43 A	2.411,29 B
2019	1.441,86 B	3.175,59 B	2.752,04 B	2.470,77 A

\*Média seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

(CU) *Crotalaria juncea* (L.) + *Urochloa ruziziensis* – (CP) *Crotalaria juncea* (L.) + *Pennisetum glaucum* (L.) – (P) *Pennisetum glaucum* (L.) – (J) *Crotalaria juncea* (L.) – (S) *Crotalaria spectabilis* T6 – (O) *Crotalaria ochroleuca* – (Z) *Zea mays* (L.) – (U) *Urochloa ruziziensis* – (A) Ausência de cobertura no Inverno.

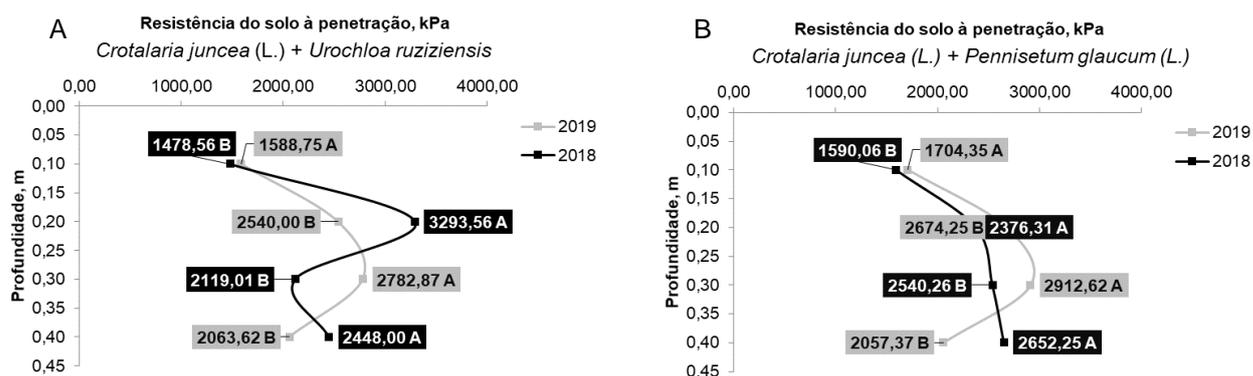
Blanco-Caqui et al. (2020), estudaram o efeito nos atributos físicos do solo de plantas de cobertura mistas em diferentes proporções das famílias *Brassicaceae* e *Poaceae* durante 3 anos. Os autores evidenciaram efeitos positivos nos atributos físicos do solo: resistência do solo à penetração, potencial de erosão hídrica e eólica e infiltração de água, com proporcionalidade no aumento nos períodos de cultivo das plantas de cobertura. Alguns tratamentos nas demais camadas estudadas

demonstraram comportamento distinto aos supracitados, são estes: (Z) e (U) na camada de 0-0,10 m; (J) na camada de 0,10-0,20 m; (A) na camada de 0,20-0,30 m; consórcios entre (CU), (CP), e os cultivos (Z) e (A) na camada de 0,30-0,40 m (Figura 5).

Estes efeitos podem ser explicados com os dados da figura 2 que demonstra dentre outros dados climáticos, as condições de pluviometria, a qual foi superior no ano de 2018 em comparação ao ano de 2019. Desta forma, houve comprometimento no desenvolvimento das plantas de cobertura, com efeito direto na redução da RP em 2019.

A disponibilidade hídrica é o fator principal para o crescimento das culturas de cobertura, pois, favorece o aumento e acúmulo de biomassa vegetal e da biomassa microbiana, que por sua vez, interferem diretamente na RP em razão das flutuações sazonais da umidade e na dinâmica da matéria orgânica do solo (FAGERIA 2012; COSTA et al., 2013; BATISTA et al., 2014).

Os menores valores de resistência do solo à penetração ocorreram no período de 2019 nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m (Figura 5). Este efeito ocorreu devido ao aumento do tempo de cultivo com plantas de cobertura, as quais atuam em diversos compartimentos que influenciam na compactação do solo.



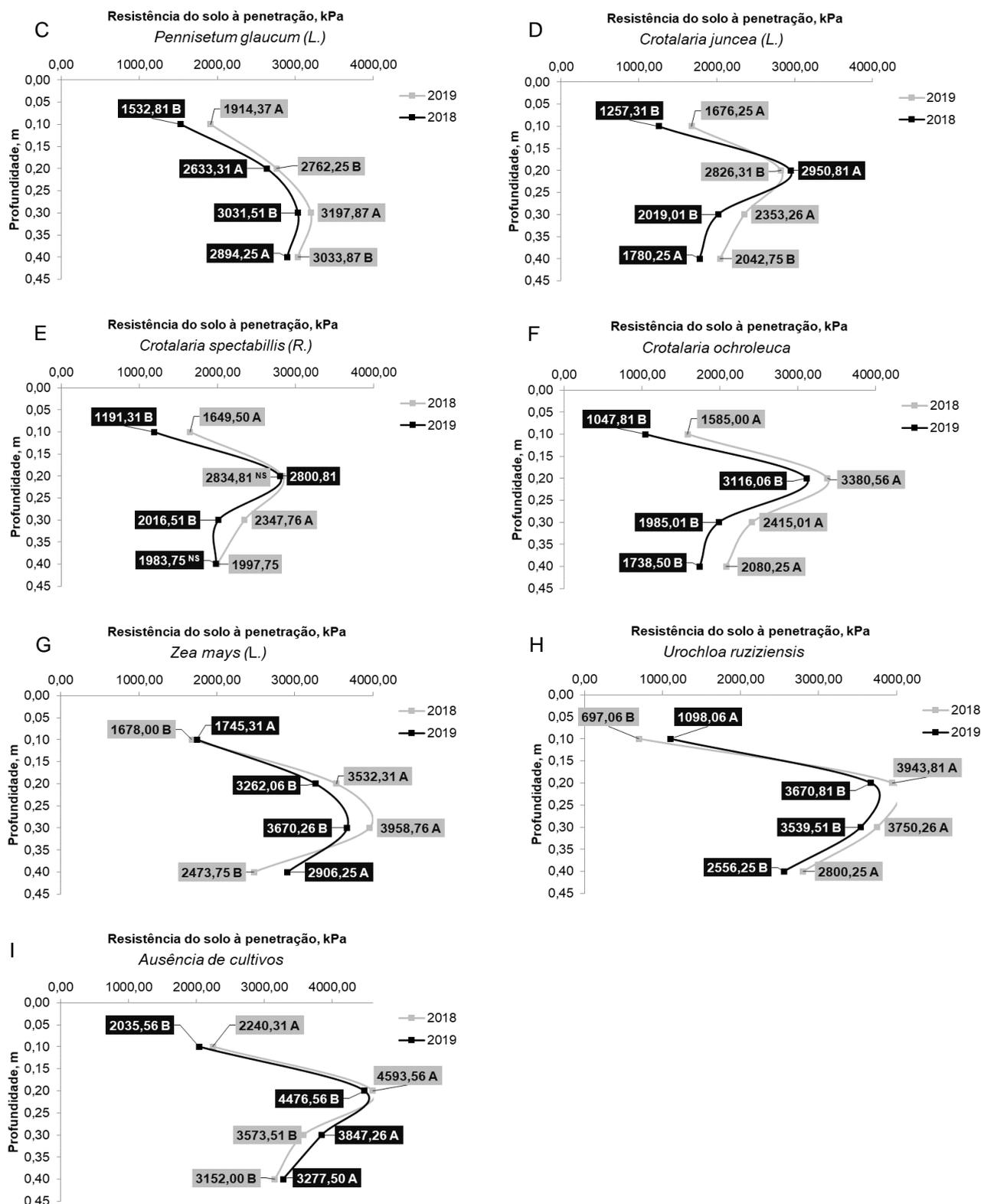


Figura 5 – Resistência do solo à penetração para os anos 2018 e 2019 em função da implantação de plantas de cobertura nas camadas de solo amostradas. Corbélia-PR, 2021.

No entanto, na camada de 0,30-0,40 m o efeito do ano de 2019 aumentou a resistência do solo a penetração em comparação com o ano de 2018.

Meda e Furlani (2005) salientam que a exsudação de ácidos orgânicos pelas raízes inibe a atividade de  $Al^{3+}$  em razão da formação de complexos estáveis. Neste sentido, na presença de  $Al^{3+}$  em anos de precipitação baixa, as plantas de cobertura possuem crescimento radicular menor, com conseqüente redução na produção de ácidos orgânicos. Na tabela 1, é apresentado o pH (4,10) e o teor da saturação na CTC de  $Al^{3+}$  (7,30%), na solução no solo na camada de 0,20-0,40 m.

Em poucos minutos após as plantas serem submetidas às situações de estresse, os efeitos do  $Al^{3+}$  nos vegetais já podem evidenciados e são logo seguidos de efeitos secundários na morfologia e no crescimento das raízes, onde estas, se tornam mais grossas, e, há redução na emissão de raízes secundárias (MEURER, 2007).

É importante observar que o atributo RP nas camadas avaliadas foi realizado no mês de setembro, nos dois anos, com objetivo de diagnosticar a qualidade física do solo em período próximo a semeadura da cultura da soja.

Para a comparação entre o efeito geral as plantas de cobertura os dados nas camadas avaliadas evidenciam que para o tratamento (A), apresentou elevada resistência a penetração das raízes (Figura 5I). Segundo Beutler et al. (2006), valores de 2,0 a 3,0 MPa são limitantes à produtividade de soja.

Ao estudar o efeito de plantas de cobertura sobre a RP em Latossolo Vermelho Distroférico típico, Rossetti et al. (2012) evidenciaram que o tratamento pousio (vegetação espontânea) não apresentou diferenças significativas para camadas de 0 a 0,25 m do solo em comparação com os demais tratamentos (*Crotalaria juncea*, milho, feijão de porco, mucuna preta e lab-lab). No entanto, os autores constataram alterações em atributos chave para a degradação do solo, como: valores mais altos para densidade do solo e menores valores de agregação do solo, para este tratamento.

Os tratamentos (U) e (CP) demonstraram a menor RP, nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m. Esta menor resistência a penetração pode ser resultante da pressão axial e radial exercida no alongamento radicular pelas culturas de cobertura (BENGOUGH et al., 2012). Morfologias distintas de sistemas radiculares, como das famílias *Poaceae* e *Fabaceae* tem capacidades e formas diferenciadas de penetração

(MOTTIN et al., 2018), e, podem ter efeito sinérgico, com incrementos na produção de raízes ao serem cultivadas em conjunto (LI et al., 2013).

Na figura 6A, podemos observar uma imagem aérea do experimento, e na figura 6B notar o crescimento das plantas em uma das parcelas com o tratamento (U), onde foi aberta uma trincheira em frente as parcelas para evidenciar o crescimento dos diferentes sistemas radiculares das plantas de cobertura.



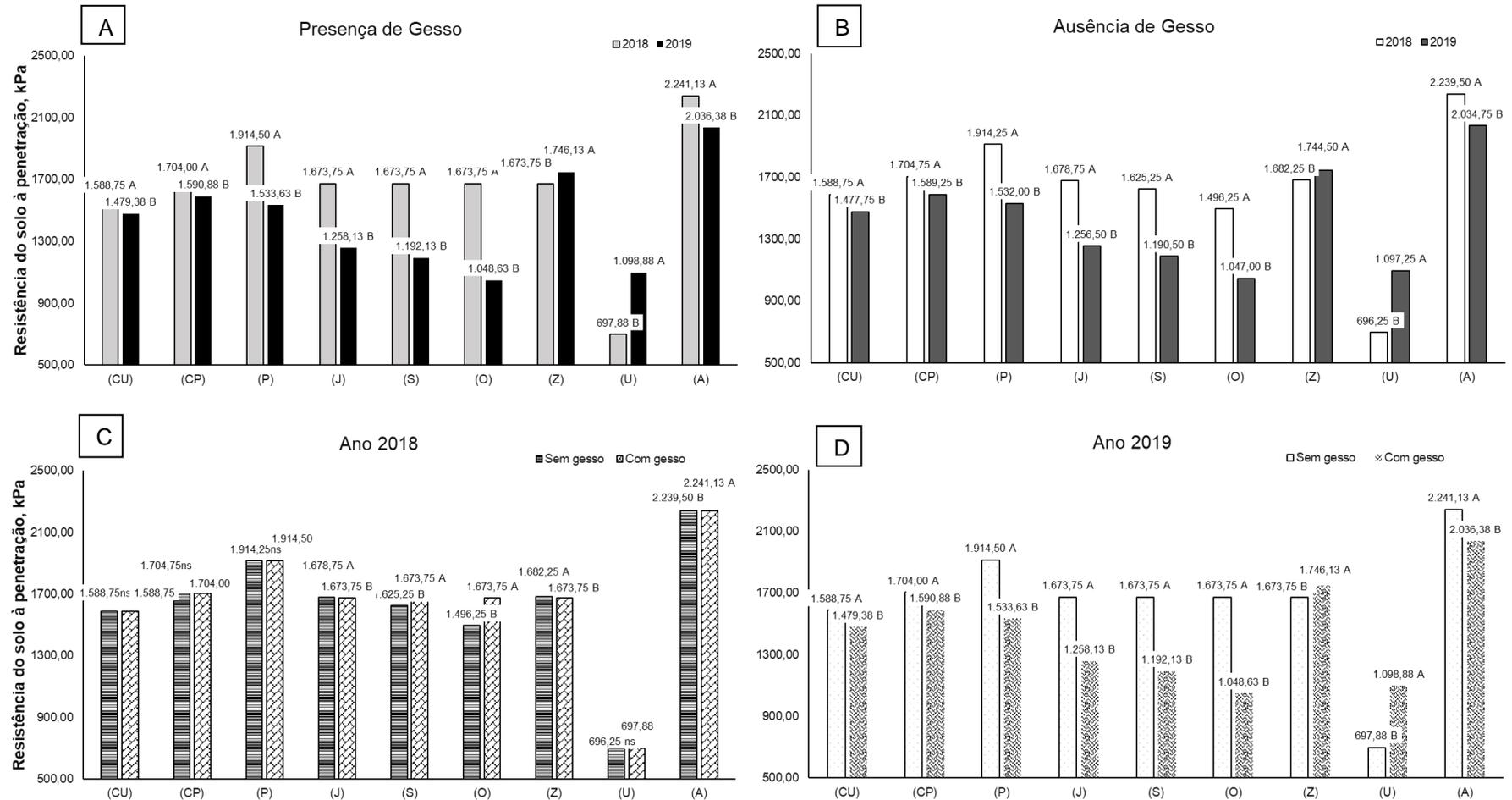
Figura 6 – Imagem da visita dos produtores rurais e da trincheira do bloco 4, no tratamento com *Urochloa ruziziensis* (U) no segundo ano de condução do experimento. Corbélia-PR, 2018.

Para o desdobramento e comparação entre os tratamentos com aplicação de gesso após o aumento dos anos de cultivos, os resultados encontram-se na figura 7.

A figura 7A demonstra o comportamento dos tratamentos na presença de gesso, onde houve diminuição da resistência a penetração nos tratamentos que receberam gesso com exceção dos tratamentos (U) e (Z). Este mesmo comportamento ocorreu na Ausência de Gesso, como demonstra a figura 7B.

Para os tratamentos (CU), (CP), (P) e (U) não houve diferenças, entretanto, para os tratamentos (J) e (Z) houveram reduções na RP com a presença de gesso e aumentos neste atributo físico do solo para os tratamentos (S) e (A).

O sistema radicular de plantas de cobertura como *Urochloa ruziziensis* possuem desenvolvimento maior nas camadas mais profundas do solo. Este desenvolvimento tende a aumentar conforme o aumento dos anos de cultivo.



\*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

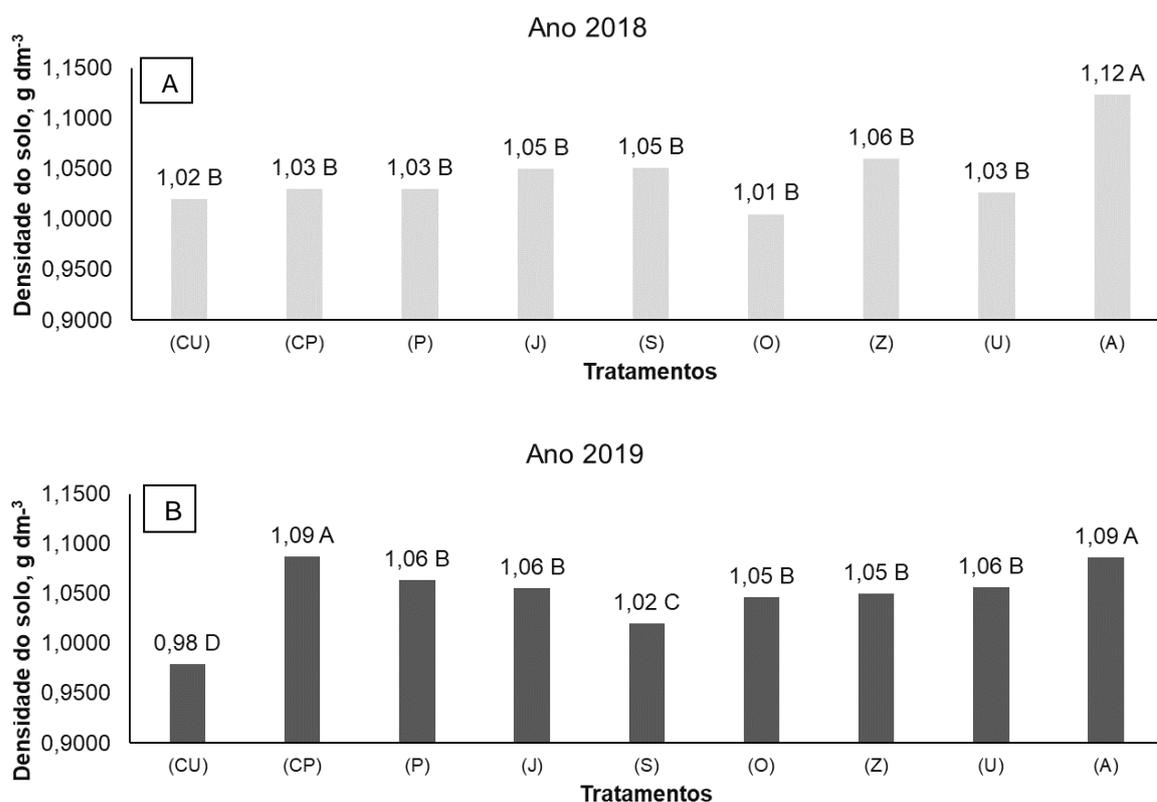
Figura 7 – Resistência do solo à penetração após cultivo de plantas de cobertura nos anos na presença (A) na ausência (B) de gessagem e efeito do gesso no ano de 2018 (C) e no ano 2019 (D), na camada de 0-0,10 m. Corbélia-PR, 2021.

(CU) *Crotalaria juncea* (L.) + *Urochloa ruziziensis*, – (CP) *Crotalaria juncea* (L.) + *Pennisetum glaucum* (L.) – (P) *Pennisetum glaucum* (L.) – (J) *Crotalaria juncea* (L.) – (S) *Crotalaria spectabilis* – (O) *Crotalaria ochroleuca* – (Z) *Zea mays* (L.) – (U) *Urochloa ruziziensis* – (A) Ausência de cobertura no Inverno.

Este fato foi evidenciado por Salton e Tomazi (2014) que relatam aumento do desenvolvimento do sistema radicular da cultura da soja até 0,70 m após o cultivo do consórcio entre milho + *Urochloa ruziziensis*, em comparação, com o desenvolvimento até 0,40 m de camada na ausência da utilização de *Urochloa ruziziensis* em consorciação com milho segunda safra.

O fornecimento de cálcio adequado ao solo e a neutralização do alumínio tem impacto direto no desenvolvimento radicular das plantas de cobertura. Ao estudar os efeitos de plantas de cobertura sob doses de calcário e gesso agrícola sob os atributos físicos do solo em Latossolo da região de Chapadão do Sul MS, Oliveira et al. (2021) evidenciaram que as culturas de cobertura com uso de calcário e gesso, melhoraram a macroporosidade, porosidade total e densidade do solo. Os autores salientam que o uso do calcário e do gesso impactam em maior crescimento de raiz, com consequente aumento na pressão mecânica ao solo, aumento na composição da fração ar e com influência nos agregados do solo (LIMA et al. 2010).

A figura 8A apresenta a densidade do solo na camada de 0,00 - 0,20 m em função da utilização de plantas de cobertura no ano 2018. A figura 8B, apresenta os dados para o ano 2019.

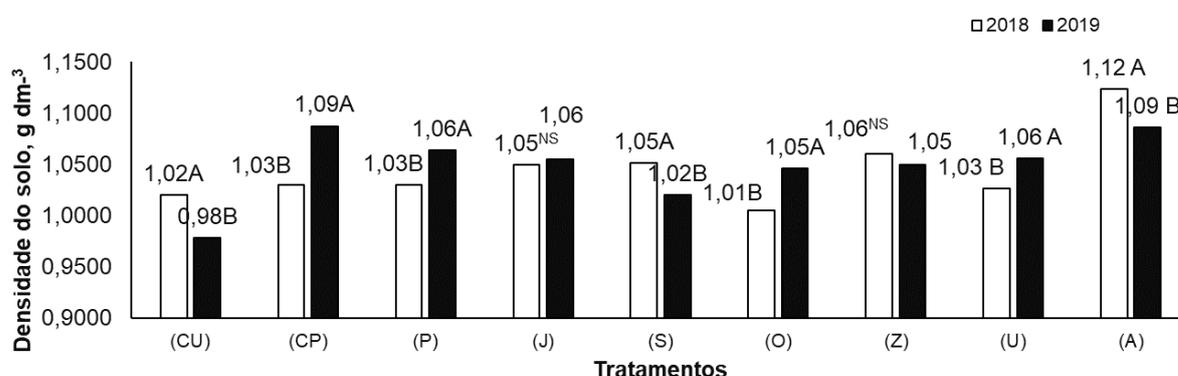


\*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

(CU) *Crotalaria juncea* (L.) + *Urochloa ruziziensis*, – (CP) *Crotalaria juncea* (L.) + *Pennisetum glaucum* (L.) – (P) *Pennisetum glaucum* (L.) – (J) *Crotalaria juncea* (L.) – (S) *Crotalaria spectabilis* – (O) *Crotalaria ochroleuca* – (Z) *Zea mays* (L.) – (U) *Urochloa ruziziensis* – (A) Ausência de cobertura no Inverno.

Figura 8 – Densidade do solo em função da implantação de plantas de cobertura na camada de 0,00-0,20 m, no ano 2018 (A) e ano 2019 (B). Corbélia-PR, 2021.

Houve diminuição nos valores de Ds com a utilização de plantas de cobertura tanto em monocultivo quanto em consórcio. Entretanto, o consórcio de *Crotalaria juncea* + *Urochloa ruziziensis*, o tratamento (CU), demonstrou menor densidade do solo dentre as plantas de cobertura.



\*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

(CU) *Crotalaria juncea* (L.) + *Urochloa ruziziensis*, – (CP) *Crotalaria juncea* (L.) + *Pennisetum glaucum* (L.) – (P) *Pennisetum glaucum* (L.) – (J) *Crotalaria juncea* (L.) – (S) *Crotalaria spectabilis* – (O) *Crotalaria ochroleuca* – (Z) *Zea mays* (L.) – (U) *Urochloa ruziziensis* – (A) Ausência de cobertura no Inverno.

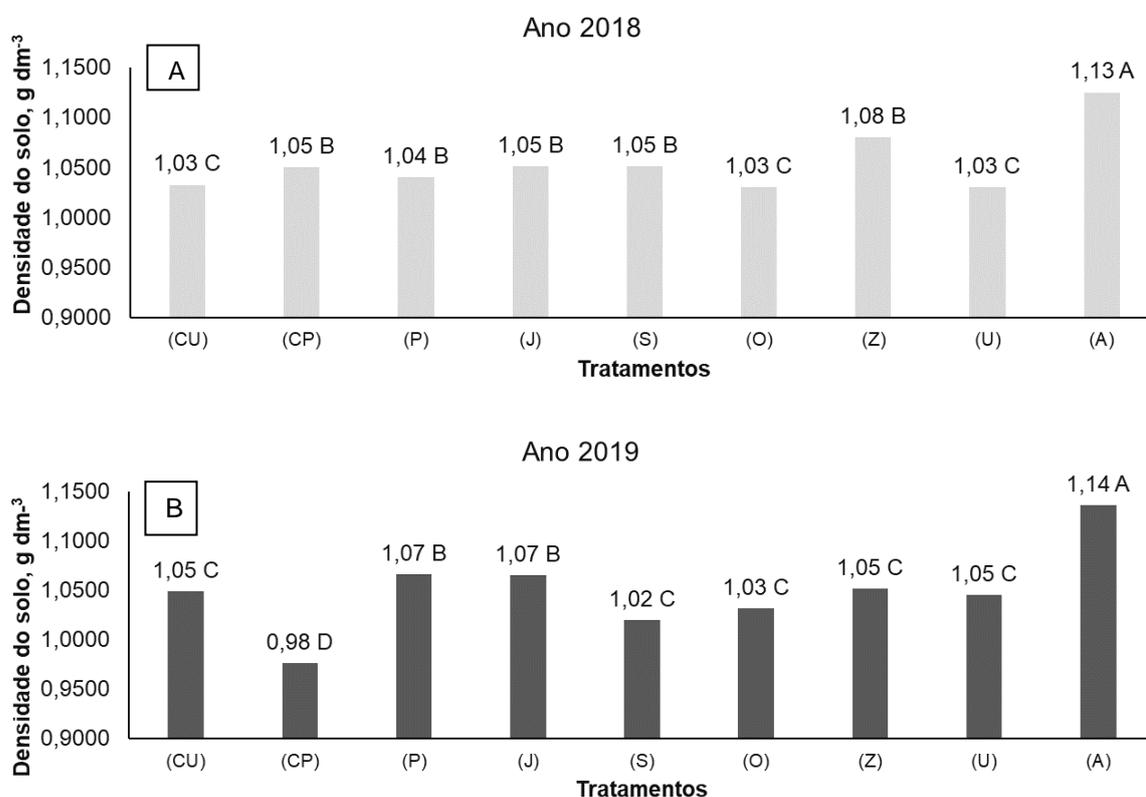
Figura 9 – Densidade do solo em função da implantação de plantas de cobertura na camada de 0,00-0,20 m, no ano 2018 (A) e ano 2019 (B). Corbélia-PR, 2021.

Provavelmente a concentração radicular das plantas da família *Fabaceae* e o volume de raízes finas das plantas da família *Poaceae* no sentido horizontal e vertical da camada de solo explorada favoreceu a redução da densidade do solo. Ainda, ao mesmo tempo que as plantas cobertura reduzem a densidade, podem potencializar a porosidade, e por consequência, a infiltração de água e as trocas gasosas do solo.

Em 2018, o cultivo das plantas de cobertura reduziu a densidade do solo. Entretanto, no ano de 2019, os tratamentos (CP), (P), (CO) e (U), aumentaram a densidade do solo em relação a 2018. O aumento da densidade do solo ocorreu devido ao menor desenvolvimento radicular das plantas de cobertura que por sua vez sofreu restrições pelas condições hídricas do meio. Para os tratamentos (J) e (Z), não

houve diferença significativa para a densidade do solo nos anos de condução do trabalho. Os dados da planta de cobertura *Crotalaria spectabilis*, tratamento (S) nos anos, pode ser relacionada ao impacto causado nas parcelas nos anos de condução do trabalho. Neste sentido, a continuidade de cultivo desta planta de cobertura causou impacto positivo na camada de solo avaliada (0-0,20 m). O sistema radicular da *Crotalaria spectabilis* pode se desenvolver em solo com densidade de  $1,0 \text{ Mg m}^{-3}$ , embora tenha menor acúmulo de massa na raiz em comparação com *Crotalaria juncea* (DEZORDI et al., 2013).

Na figura 10 é apresentado a redução da densidade do solo na camda de 0,20 – 0,40 m em plantas de cobertura.



\*Média seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

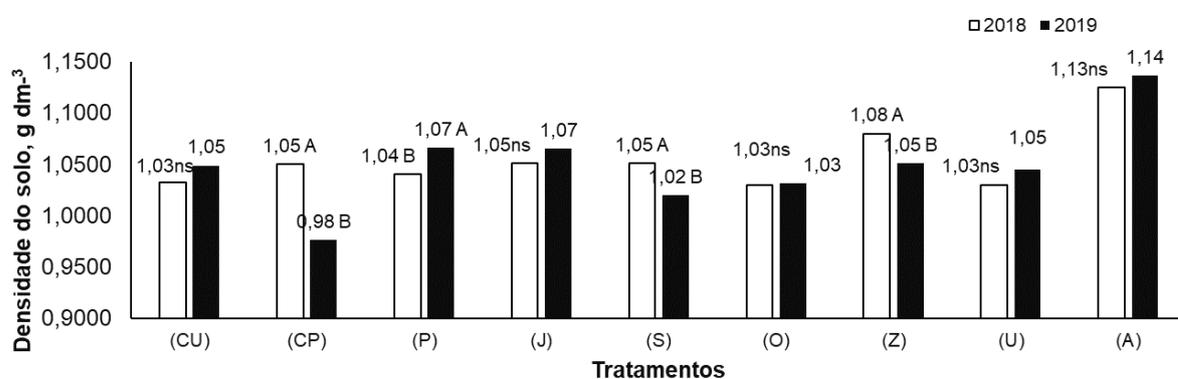
(CU) *Crotalaria juncea* (L.) + *Urochloa ruziziensis*, – (CP) *Crotalaria juncea* (L.) + *Pennisetum glaucum* (L.) – (P) *Pennisetum glaucum* (L.) – (J) *Crotalaria juncea* (L.) – (S) *Crotalaria spectabilis* – (O) *Crotalaria ochroleuca* – (Z) *Zea mays* (L.) – (U) *Urochloa ruziziensis* – (A) Ausência de cobertura no Inverno.

Figura 10 – Densidade do solo em função da implantação de plantas de cobertura na camada de 0,20-0,40 m, no ano 2018 (A) e ano 2019 (B). Corbélia-PR, 2021.

A redução na densidade do solo ocorreu com os cultivos das plantas de cobertura em comparação com o tratamento ausência de cultivos. No entanto, dentre

os cultivos foi verificado efeito pronunciado no tratamento (CP) no ano de 2019. As sinergias entre os tipos de raízes testados possivelmente atuaram na diminuição da densidade do solo. Uma vez que o consórcio entre crotalaria e milho favorece a manutenção da densidade radicular no solo (DELAZERI et al., 2020). Entretanto como o teste de médias escolhido para a determinação dos resultados foi de Skott-Knott, os tratamentos (CU), (S), (O), (Z) e (U), estão em mesmo agrupamento de tratamentos, que se diferenciam dos demais (Figura 10 B).

Na figura 11 é apresentado a densidade do solo obtidos nos dois anos avaliados no experimento.



\*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

(CU) *Crotalaria juncea* (L.) + *Urochloa ruziziensis*, – (CP) *Crotalaria juncea* (L.) + *Pennisetum glaucum* (L.) – (P) *Pennisetum glaucum* (L.) – (J) *Crotalaria juncea* (L.) – (S) *Crotalaria spectabilis* – (O) *Crotalaria ochroleuca* – (Z) *Zea mays* (L.) – (U) *Urochloa ruziziensis* – (A) Ausência de cobertura no Inverno.

Figura 11 – Densidade do solo em função da implantação de plantas de cobertura na camada de 0,20-0,40 m, em diferentes anos de cultivo. Corbélia-PR, 2021.

Não houve diferenças na Ds para a camada de 0,20-0,40 m, na comparação entre os anos de cultivo para os tratamentos (CU), (J), (O), (U) e (A). Para o tratamento (P), o menor regime de chuvas de 2019 em comparação com 2018 resultou em aumento na densidade do solo devido à resistência que as plantas desse tratamento encontraram no ambiente para o desenvolvimento do seu sistema radicular e consequente impacto na densidade do solo. Entretanto, para os tratamentos (CP), (S) e (Z) o efeito do aumento dos anos de cultivo, resultou em menores médias para densidade do solo (Figura 11), ou seja, ao levar em conta os dados climáticos que evidenciam menor regime de pluviometria no ano de 2019, o efeito positivo nos tratamentos (CP), (S) e (Z).

Tabela 5 – Distribuição de acordo com diâmetro médio ponderado dos agregados em função da implantação de plantas de cobertura cultivadas no inverno na camada de 0-0,20m. Corbélia-PR, 2021

Diâmetro médio ponderado dos agregados, mm	Tratamentos								
	(CU)	(CP)	(P)	(J)	(S)	(O)	(Z)	(U)	(A)
<0,053	7,53 c	8,94 c	9,74 b	8,54 c	10,02 b	9,00 c	10,77 b	7,61 c	14,56 a
0,053	2,93 d	4,95 b	5,47 b	6,53 b	6,77 a	5,97 b	4,30 c	3,19 d	5,85 b
0,105	13,41 f	17,41 e	24,98 d	25,90 d	28,47 c	28,18 c	31,72 b	10,55 g	40,63 a
0,250	15,61 c	16,98 c	15,79 c	17,00 c	17,40 c	17,56 c	19,45 b	16,08 c	23,16 a
0,500	11,05 a	10,67 a	10,15 a	9,74 b	8,73 b	7,62 c	7,32 c	10,65 a	5,52 d
1,000	10,94 a	10,53 a	9,10 b	9,05 b	8,41 b	7,49 c	6,95 c	10,73 a	5,49 d
2,000	9,51 b	7,72 b	8,16 c	8,56 b	7,55 b	7,74 b	7,16 b	11,90 a	3,36 d
>4,760	10,67 a	9,39 a	9,33 a	7,40 b	6,54 b	7,06 b	6,01 b	10,42 a	4,01 c

\*Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

(CU) *Crotalaria juncea* (L.) + *Urochloa ruziziensis*, – (CP) *Crotalaria juncea* (L.) + *Pennisetum glaucum* (L.) – (P) *Pennisetum glaucum* (L.) – (J) *Crotalaria juncea* (L.) – (S) *Crotalaria spectabilis* – (O) *Crotalaria ochroleuca* – (Z) *Zea mays* (L.) – (U) *Urochloa ruziziensis* – (A) Ausência de cobertura no Inverno.

Esta é uma evidência que o aumento dos cultivos com plantas de cobertura e cultivos comerciais resultam em impactos em atributos-chave para a qualidade do solo, mesmo em anos com déficit hídrico.

De acordo com a tabela 5, após 3 anos de cultivo com as plantas de cobertura o manejo que proporcionou a maior redução dos agregados foi o tratamento (A). Este apresentou a maior proporção de agregados menores que 0,053 mm, um indicativo de degradação do solo e suscetibilidade a erosão.

A agregação é um atributo altamente correlacionado com o teor de matéria orgânica, na camada superficial do solo (OLIVEIRA et al., 2004). Neste contexto, a ausência de manutenção da cobertura de material vegetal sobre o solo afeta a proteção aos macroagregados ao interromper o fluxo contínuo de carbono que seria proveniente da mineralização da palhada (SÁ et al., 2014).

Em contrapartida, os tratamentos (CU), (CP), (J), (O) e (U), apresentaram os menores teores de argila dispersa, sendo estes, um agrupamento de tratamentos diferentes dos demais. Para Milne e Haynes (2004) o efeito dos cultivos de plantas da família *Fabaceae* promovem maior estabilidade dos agregados pois além da alta produção de biomassa, as espécies desta família promovem aumento no comprimento de hifas de fungos. Já as espécies da família da *Poaceae* atuam no aumento da agregação, pois concentram as raízes nas camadas superficiais do solo, com hábito de crescimento decumbente e cespitoso e apresenta caráter fasciculado (ALMEIDA et al., 2014).

Na classe de agregados de 0,053 e 0,105 mm, alguns tratamentos tiveram menor proporção de agregados nesta faixa de agregados, dentre eles (U), (CU) e (CP). Estas misturas de plantas de cobertura e plantas de cobertura isoladas apresentam maior capacidade de agregar o solo, pois possuem maiores desenvolvimentos vegetativos e maior desenvolvimento radicular em comparação com as outras plantas testadas no experimento. Essa superioridade se deve à eficiência enzimática na carboxilação do CO<sub>2</sub> atmosférico de *Urochloa ruziziensis* e *Pennisetum glaucum* (PETTER et al., 2013) o que resultou em maior promoção do desenvolvimento radicular.

Ao estudar o desempenho de plantas de *Urochloa brizantha*, *Pennisetum glaucum*, *Crotalaria ochroleuca* e *Eleusine coracana*, com influência de níveis de densidade do solo (1,1; 1,3; 1,5; 1,7 e 1,9 g dm<sup>-3</sup>), Lima et al. (2015) salientam que em solos com maior RP, o sistema radicular deve apresentar raízes laterais e finas

para uma melhor exploração do solo. Se o sistema radicular não tiver estas características, os impactos na produção de fitomassa seca não ocorrem. Neste sentido, nas plantas do gênero *Urochloa* este aspecto é facilitado por terem sistema radicular fasciculado, relatado por Santos (2008) a melhor adaptação das plantas da família *Poaceae* à solos compactados.

Na classe dos agregados 0,250 mm os tratamentos (Z) e (A) apresentaram maiores proporções de agregados. Entre todos os outros tratamentos restantes, não houve diferenças significativas. Desta forma pode-se evidenciar como as plantas de cobertura no experimento aumentam a agregação do solo em comparação com milho (Z) e ausência de cultivo (A).

Segundo Madari (2004), as frações maiores que 0,250 mm são considerados macroagregados. Para esta autora, os manejos aplicados ao solo que promovem aumento de matéria orgânica favorecem o aumento dos agregados do solo, que por sua vez, irão proteger a fração mais lábil da matéria orgânica do solo, a qual, uma vez exposta a atividade microbiana, possui alta taxa de decomposição. Tal fato é de acentuada importância, pois se a taxa de desintegração dos agregados for alta, a matéria orgânica localizada intra-agregado irá ficar desprotegida e exposta a decomposição microbiana. (Bronick e Lal, 2005).

Os tratamentos (O), (Z) e (A) apresentaram as menores proporções de agregados de diâmetro 0,500 mm. Estudos sobre a influência de *Crotalaria ochroleuca* na agregação do solo são incipientes e escassos. Nesta classe de agregados os tratamentos que proporcionaram maior agregação foram (U), (CU) e (CP).

Para as classes de 1,000, 2,000 e 4,760 mm os tratamentos que possuíam *Urochloa ruziziensis* e *Pennisetum glaucum* nas parcelas (os tratamentos U, P, CP e CU), ocuparam posição de destaque, com aumento superior de agregados em comparação com (Z) e (A).

Bronick e Lal (2005) descrevem que os agregados acima de 0,250 mm se formam em torno da matéria orgânica particulada (MOP). Após essa formação, a MOP é levada a decomposição, exsudatos microbianos são liberados e como resultado formam-se agregados muito mais estáveis em comparação com as classes menores que 0,250 mm.

Na tabela 6, a comparação do efeito anos, ou, aumento do tempo de cultivo com as plantas de cobertura testadas.

Tabela 6 – Diâmetro médio ponderado dos agregados em função da implantação de plantas de cobertura cultivadas no inverno na camada de 0-0,20m em diferentes anos de cultivo. Corbélia-PR, 2021

Diâmetro médio ponderado dos agregados, mm	Período	(CU)	(CP)	(P)	(J)	(S)	(O)	(Z)	(U)	(A)
		<0,053	2018	9,58 Ba	10,41 Ba	12,47 Aa	9,58 B <sup>ns</sup>	11,47 Aa	9,54 B <sup>ns</sup>	12,01 Aa
	2019	5,47 Db	7,47 Cb	7,01 Cb	7,51 C	8,57 Cb	8,47 C	9,53 Bb	6,33 Cb	15,55 A
0,053	2018	3,58 B	5,47 A	6,47 Aa	7,48 Aa	7,85 Aa	6,47 A	5,25 Aa	4,05 Ba	5,65 A
	2019	2,28 C	4,42 B	4,47 Bb	5,58 Ab	5,69 Ab	5,47 A	3,34 Cb	2,33 Cb	6,05 A
0,105	2018	14,05 C	18,05 C	25,45 B	22,01 Bb	25,47 Bb	24,78 Bb	28,69 Bb	12,45 Da	36,68 Ab
	2019	12,78 D	16,78 D	24,52 C	29,78 Ba	31,47 Ba	31,58 Ba	34,76 Ba	8,63 Eb	42,57 Aa
0,250	2018	16,78 <sup>ns</sup>	18,45 a	16,58 <sup>ns</sup>	18,54 a	18,20 <sup>ns</sup>	18,25 <sup>ns</sup>	20,45 <sup>ns</sup>	17,69 a	24,58 a
	2019	14,45	15,50 b	14,99	15,46 b	16,59	16,87	18,45	14,47 b	21,74 b
0,500	2018	11,45 A	12,45 Aa	10,25 A	10,25 Aa	10,36 Aa	6,54 Bb	8,65 Ba	10,15 A	8,58 Ba
	2019	10,54 A	8,75 Bb	9,00 B	8,54 Bb	6,78 Bb	8,58 Ba	5,63 Cb	11,23 A	2,43 Db
1,000	2018	8,47 Bb	6,89 Cb	8,00 B	9,58 Ba	10,36 Aa	8,05 B	8,47 B	7,48 B	11,47 A
	2019	10,56 Aa	8,56 Ba	8,31 B	7,54 Bb	6,78 Cb	7,06 C	7,01 C	6,85	12,34 A
2,000	2018	11,25 A	10,25 A	11,25 Aa	7,89 B	7,05 B	8,05 B	6,58 C	9,58 A	2,58 Db
	2019	10,10 A	8,54 B	7,42 Bb	6,90 C	6,04 C	6,06 C	5,44 D	11,25 A	5,44 Da
>4,760	2018	24,84 Ab	18,00 Bb	9,53 Cb	14,67 Bb	11,55 Cb	15,86 Bb	10,89 Cb	25,71 Ab	4,71 Da
	2019	33,91 Aa	29,96 Ba	24,24 Ba	18,70 Ca	17,85 Ca	18,01 Ca	16,15 Ca	33,55 Aa	1,11 Db

\*Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

(CU) *Crotalaria juncea* (L.) + *Urochloa ruziziensis*, – (CP) *Crotalaria juncea* (L.) + *Pennisetum glaucum* (L.) – (P) *Pennisetum glaucum* (L.) – (J) *Crotalaria juncea* (L.) – (S) *Crotalaria spectabilis*, (O) *Crotalaria ochroleuca* – (Z) *Zea mays* (L.) – (U) *Urochloa ruziziensis* – (A) Ausência de cobertura no Inverno.

Para a classe de agregados menores 0,053 mm, entre 2018 e 2019 houve menor porcentagem de agregados desta classe. Somente para os tratamentos (J), (O) e (A) não houver diferenças entre os períodos de cultivo (Tabela 6).

Para a classe de agregados de 0,053 mm, os tratamentos (CU), (CP), (O) e (A) não demonstraram diferenças com o passar dos períodos de cultivo. Para todos os outros tratamentos, houve redução da porcentagem de agregados desta classe (Tabela 6).

Em sistemas de preparo convencional do solo a destruição dos agregados promove aumento da argila dispersa (PETTER et al., 2013). Com o passar dos anos os sistemas de cultivo com plantas de cobertura causam reflexos na composição química do solo, na estrutura do crescimento das plantas (influência direta no sistema radicular e dos parâmetros biométricos) do cultivo subsequente e nos atributos biológicos do solo (SILVA et al., 2020).

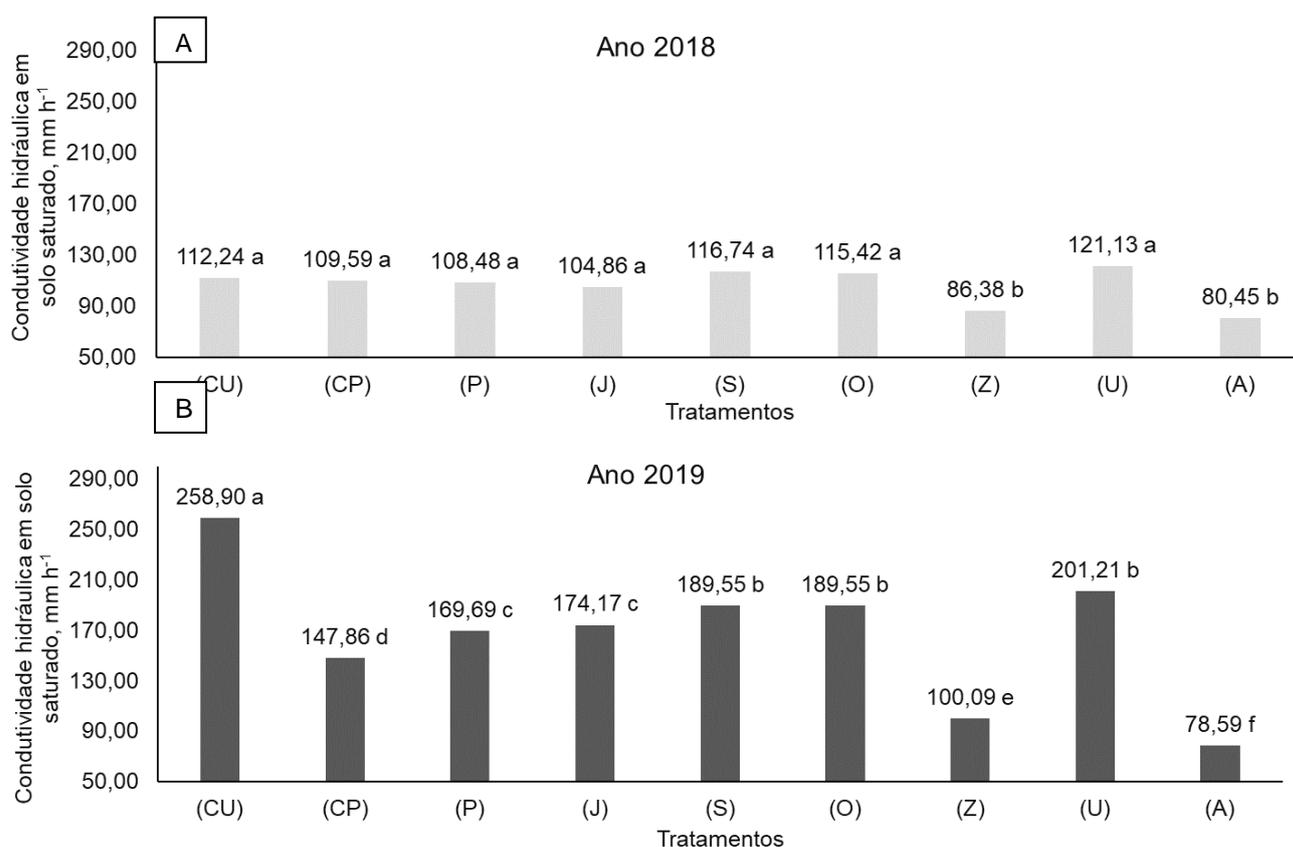
Para as classes de 0,105 e 0,250 mm, o único tratamento que proporcionou redução percentual destas classes de agregados foi (U) (Tabela 6). A espécie *Urochloa ruziziensis* acumula até 36% de toda sua fitomassa seca nas raízes e mesmo em situações com deficiência de disponibilidade hídrica (PETTER et al., 2013), como o que ocorreu no experimento no Período de 2019. Essa espécie tem alto poder em explorar as camadas mais profundas do solo e, conseqüentemente, ser mais eficiente em absorção de água em comparação com outras plantas (SILVA et al., 2020), e provavelmente seja a explicação para o resultado satisfatório de produção de fitomassa seca mesmo sob o período de menor precipitação.

Para a classe de 0,500 mm, houve diminuição percentual desta classe de agregados para os tratamentos (CP), (S), (J), (Z) e (A) no ano de 2019, sendo estes tratamentos um agrupamento de tratamentos diferentes dos demais. O único tratamento que fez com houvesse um aumento na classe de agregados de 0,500 mm, foi o tratamento (O). Benkhroua et al. (2017) relatam a influência desta espécie na promoção de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e efeito conseqüente na agregação do solo, onde as raízes e hifas se unem e liberam compostos orgânicos que agem como agentes cimentantes entre as partículas minerais e orgânicas. Segundo estes autores estas partículas podem ser reorganizadas durante o enredamento, enquanto os ciclos úmido-seco ajudam a estabilizar os agregados. Além do efeito mecânico das hifas, os FMA são responsáveis pela produção da glicoproteína de natureza hidrofóbica, denominada glomalina, a qual, tem efeito na

proteção das hifas e agregação das partículas minerais e orgânicas do solo (PENG et al., 2013).

Para a classe de agregados de 1,000 mm os dois tratamentos que aumentaram no ano de 2019 foram (CU) e (CP). Para a classe de agregados de 4,760 mm todos os tratamentos aumentaram esta classe. O único tratamento com redução desta classe foi o tratamento (A).

Para o atributo físico do solo: condutividade hidráulica em solo saturado, os resultados médios dos tratamentos na camada superficial do solo são apresentados nas figuras 12 A e B.



\*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

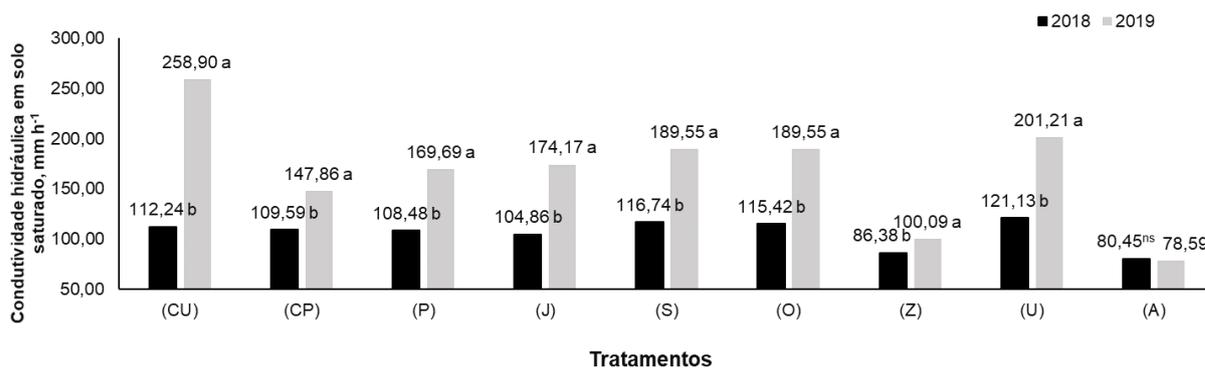
(CU) *Crotalaria juncea* (L.) + *Urochloa ruziziensis*, – (CP) *Crotalaria juncea* (L.) + *Pennisetum glaucum* (L.) – (P) *Pennisetum glaucum* (L.) – (J) *Crotalaria juncea* (L.) – (S) *Crotalaria spectabilis*, (O) *Crotalaria ochroleuca* – (Z) *Zea mays* (L.) – (U) *Urochloa ruziziensis* – (A) Ausência de cobertura no Inverno.

Figura 12 – Condutividade hidráulica em solo saturado em função da implantação de plantas de cobertura na camada de 0,00-0,20 m, no ano 2018 (A) e ano 2019 (B). Corbélia-PR, 2021.

A maior média para condutividade hidráulica em solo saturado para o período de 2019, foi para o consórcio (CU) com infiltração de 258,90 mm h<sup>-1</sup>. Em comparação com o tratamento (A) que apresentou o pior resultado com 78,59, mm h<sup>-1</sup>, o melhor tratamento proporcionou um aumento de 3,29 vezes mais infiltração de água (Figura 12B). Ao avaliar a influência de *Urochloa decumbens* em Nitossolo Vermelho de textura argilosa, Hara et al. (2019) evidenciaram que esta planta de cobertura aumentou a condutividade hidráulica em solo saturado em três vezes após o ciclo da cultura. A condutividade hidráulica em solo saturado tem importância nas pesquisas edáficas que avaliam a qualidade do solo, os quais revelam as diferenças entre os sistemas de manejo, e é correlacionada com a compactação do solo e crescimento das plantas (SECCO et al., 2004).

Na camada superficial do solo, a condutividade hidráulica de solo saturado para o tratamento (U) foi em média 1,50 vezes maior que o tratamento (A) no ano de 2018 e de 2,56 vezes no ano de 2019 (Figura 13). Para Reichert et al. (2007) os sistemas radiculares das culturas de cobertura com produção de sistema radicular influenciam na maior porosidade do solo. Assim sendo, os autores salientam que pequenas mudanças na macroporosidade trazem alterações consideráveis na condutividade hidráulica, haja vista, que a densidade de fluxo que passa por um poro é proporcional à quarta potência ao seu diâmetro.

De modo geral, na comparação entre os anos, apenas para o tratamento (A) os resultados médios não foram significativos. Para as demais plantas de cobertura, quanto maior o tempo de cultivo, maior foi a infiltração de água no solo (Figura 13).



\*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

(CU) *Crotalaria juncea* (L.) + *Urochloa ruziziensis*, – (CP) *Crotalaria juncea* (L.) + *Pennisetum glaucum* (L.) – (P) *Pennisetum glaucum* (L.) – (J) *Crotalaria juncea* (L.) – (S) *Crotalaria spectabilis* – (O) *Crotalaria ochroleuca* – (Z) *Zea mays* (L.) – (U) *Urochloa ruziziensis* – (A) Ausência de cobertura no Inverno.

Figura 13 – Condutividade hidráulica em solo saturado razão de plantas de cobertura na camada de 0,00-0,20 m em diferentes anos de cultivo. Corbélia-PR, 2021.

Os resultados da figura 13 corroboram com Blevins et al. (1984) e Valadão (2011) que relatam maiores médias da condutividade hidráulica em solo saturado em sistema de plantio direto, em comparação com o sistema de preparo convencional do solo. Os autores salientam que essa redução no sistema de preparo convencional está relacionada ao comprometimento da continuidade dos poros e consequente menor eficiência de transmissão de água em preparo convencional.

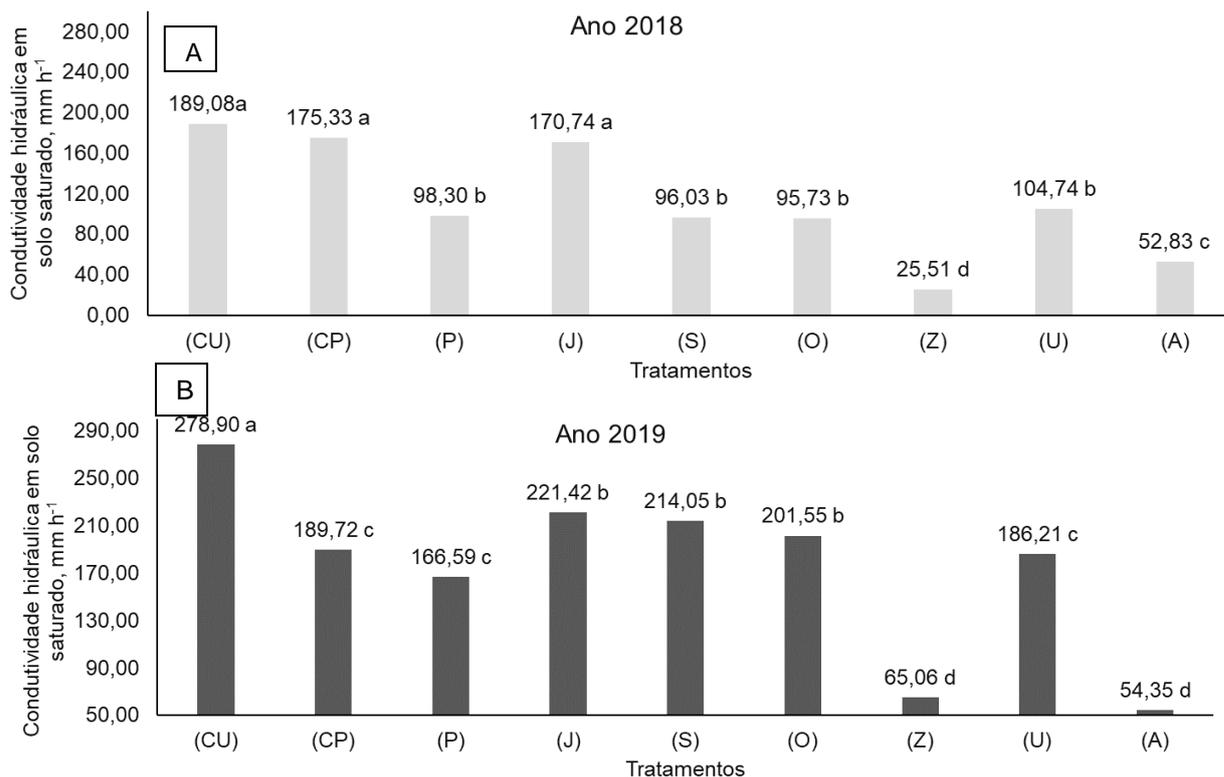
Nas entressafras um com ausência de cultivos, com ausência de palhada e de raízes diversificadas, com o tempo, perde as características funcionais para o cultivo subsequente com culturas comerciais. Desde o início do estabelecimento das plântulas, o efeito benéfico da atuação do sistema radicular libera espaço poroso para a infiltração de água, onde a condutividade pode ser três vezes maior 10 dias após a dessecação das plantas de cobertura, ao ser comparado ao início do estabelecimento das culturas (HARA et al., 2019).

Para a formação de poros contínuos com alta duração no solo, as espécies de crotalaria, como os tratamentos (J), (S) e (O), tem um potencial maior em comparação com espécies da família *Poaceae* (VALADÃO et al., 2011).

A formação de colônias de bactérias e seus exsudatos formam uma cápsula de polissacarídeo em torno da qual as partículas de argila estão alinhadas e puxado por secagem e encolhimento. Com o tempo, os agregados de argila formam um revestimento protetor para a colônia bacteriana inibem a decomposição do carbono

orgânico solúvel a qual aumenta a duração dos poros contínuos por agir como agente cimentante da parede dos poros (BENKHOUA et al., 2017).

Para a camada de 0,20 a 0,40 m, os tratamentos (Z) e (A) proporcionaram menor infiltração de água, com o melhor resultado para o tratamento (CU), o qual alcançou 278,90 mm h<sup>-1</sup> no ano 2019 (Figura 14).



\*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

(CU) *Crotalaria juncea* (L.) + *Urochloa ruziziensis*, – (CP) *Crotalaria juncea* (L.) + *Pennisetum glaucum* (L.) – (P) *Pennisetum glaucum* (L.) – (J) *Crotalaria juncea* (L.) – (S) *Crotalaria spectabilis* – (O) *Crotalaria ochroleuca* – (Z) *Zea mays* (L.) – (U) *Urochloa ruziziensis* – (A) Ausência de cobertura no Inverno.

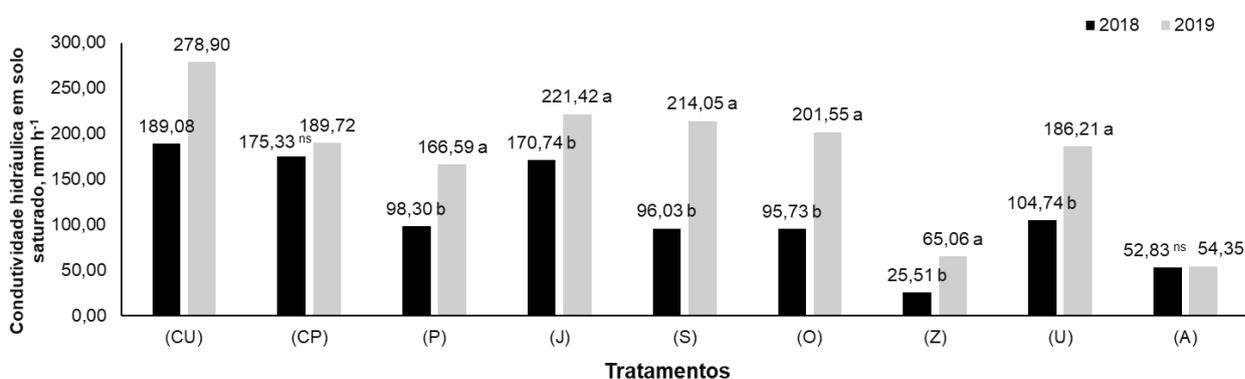
Figura 14 – Condutividade hidráulica em solo saturado em função da implantação de plantas de cobertura na camada de 0,20-0,40 m, no ano 2018 (A) e ano 2019 (B). Corbélia-PR, 2021.

Solos com ausência de cultivo ou ausência de cobertura vegetal, são mais suscetíveis a sofrerem com os processos de degradação do solo. Quando expostos, a agentes erosivos, como a água da chuva acontece potencializadores agregação do solo, desestabilizando agregados de maiores tamanhos, os quais favorecem a retenção de água com efeitos de lentidão nos movimentos de água e no fluxo de gases (MARCHINI et al., 2015).

Por outro lado, assim como na camada de 0,00 a 0,20 m (Figura 12), o tratamento (CU) obteve maior condutividade hidráulica em solo saturado, com infiltração 4,35 vezes maior do que os tratamentos (Z) e (A) (Figura 13). A hipótese de complementaridade de nicho, é a descrição dada para explicar como espécies diferentes de plantas cultivadas em misturas ocupam funcionalmente distintos nichos em um ecossistema, e usam recursos de forma complementar os ganhos de massa seca de parte aérea e de raiz (LI et al., 2013).

Ao estudar os atributos físicos do solo em cinco municípios da região oeste do Paraná, sob o sistema de sucessão de culturas soja (verão) e milho (segunda safra), Lima et al. (2017) evidenciaram que este sistema de cultivo, não promove um aporte de material orgânico satisfatório, não contribuindo para melhorias da qualidade física do solo, com valores de densidade do solo superiores a  $1,74 \text{ g cm}^{-3}$ , e somente os solos de um dos municípios estudados possuíam teores de matéria orgânica acima de  $15 \text{ g kg}^{-1}$ .

Para a camada de 0,20 – 0,40 m a condutividade hidráulica em solo saturado o ano de 2019 apresentou maiores valores de condutividade em comparação com 2018 em todos os tratamentos estudados com exceção do tratamento (A) (Figura 15).



\*Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

(CU) *Crotalaria juncea* (L.) + *Urochloa ruziziensis*, – (CP) *Crotalaria juncea* (L.) + *Pennisetum glaucum* (L.) – (P) *Pennisetum glaucum* (L.) – (J) *Crotalaria juncea* (L.) – (S) *Crotalaria spectabilis* – (O) *Crotalaria ochroleuca* – (Z) *Zea mays* (L.) – (U) *Urochloa ruziziensis* – (A) Ausência de cobertura no Inverno.

Figura 15 – Condutividade hidráulica em solo saturado na camada de 0,20-0,40 m em razão dos anos de cultivo para as plantas de cobertura. Corbélia-PR, 2021.

A ausência do crescimento das raízes no inverno, durante toda a condução do experimento diminui a continuidade dos poros, a quantidade de poros e a agregação

do solo. A condutividade hidráulica em solo saturado é dependente, dentre outros fatos da geometria e distribuição dos poros cheios de água.

Os valores baixos de condutividade hidráulica em solo saturado são indicadores de que a água tem de seguir um caminho tortuoso através dos poros finos, e, ocorre quando o solo está insaturado, em que a água fica presente principalmente nos poros mais finos e como filme de água e forma uma continuidade hidráulica irregular (MARCHINI et al., 2015).

Na tabela 7, então as médias observadas de porosidade total, microporosidade, macroporosidade, grau de flocculação e grau de dispersão de argila dos tratamentos na camada de 0-0,20 m.

Tabela 7 – Porosidade total, microporosidade, macroporosidade, grau de flocculação e grau de dispersão em função da implantação de plantas de cobertura cultivadas no inverno na camada de 0-0,20m em diferentes anos de cultivo. Corbélia-PR, 2021.

Períodos	(CU)	(CP)	(P)	(J)	(S)	(O)	(Z)	(U)	(A)
Porosidade total, m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>									
2018	59,73 bC	58,43 bC	57,41 bD	63,62 aA	62,33 aA	61,60 aB	53,39 bE	60,72 bA	51,39 aF
2019	62,63 aA	62,53 aA	60,50 aB	65,05 aA	65,67 aA	63,02 aA	56,85 aB	66,06 aA	53,06 aB
Microporosidade, m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>									
2018	47,75 aB	46,73 aC	46,12 aC	44,49 aD	46,04 aC	45,79 aD	47,26 aB	46,91 aC	50,97 aA
2019	43,98 bC	44,68 aB	42,82 bC	40,63 bD	39,80 bD	40,23 bD	46,65 aA	46,17 aB	51,81 aA
Macroporosidade, m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>									
2018	10,28 Bb	10,83 bB	13,15 aB	12,09 aB	15,19 aA	14,18 aA	8,93 bB	10,94 bB	7,96 aC
2019	13,24 aA	15,44 aA	12,27 aA	12,80 aA	13,81 aA	15,09 aA	14,91 aA	14,45 aA	7,66 aB
Grau de Flocculação, %									
2018	64,45 bB	63,76 bC	62,43 bC	65,27 aB	63,74 aD	67,11 aA	64,49 bB	66,74 bA	65,51 aB
2019	71,77 aA	74,40 aA	75,54 aA	66,17 aB	62,54 aB	67,37 aB	68,56 aB	73,59 aA	44,84 bC
Grau de Dispersão, %									
2018	35,54 aD	36,23 aE	37,57 aE	34,72 aC	36,25 aB	32,62 aD	31,43 bC	33,25 aE	34,48 bA
2019	28,22 bC	25,59 bC	24,45 bC	33,82 aB	37,45 aB	32,88 aB	35,50 aB	26,40 bC	55,15 aA

\*Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

(CU) *Crotalaria juncea* (L.) + *Urochloa ruziziensis*, – (CP) *Crotalaria juncea* (L.) + *Pennisetum glaucum* (L.) – (P) *Pennisetum glaucum* (L.) – (J) *Crotalaria juncea* (L.) – (S) *Crotalaria spectabilis* – (O) *Crotalaria ochroleuca* – (Z) *Zea mays* (L.) – (U) *Urochloa ruziziensis* – (A) Ausência de cobertura no Inverno.

O tratamento com menor valor médio de porosidade total, com maior valor médio de microporosidade, maior valor médio de macroporosidade, menor grau de flocculação e maior grau de dispersão foi o tratamento (A).

O menor acúmulo de material orgânico no solo promove diminuição da taxa de infiltração e de armazenamento de água no solo, com impacto direto na capacidade

de sobrevivência e estabelecimento da fauna e dos microrganismos do solo. De acordo com Beutler e Centurion (2012), a quantidade de organismos e o contínuo crescimento das raízes devido ao aumento nos anos de cultivo com rotação de culturas, é diretamente proporcional a quantidade de macroporos do solo, que por sua vez, influencia o crescimento das raízes das culturas subsequentes ao maximizar a absorção de água e nutrientes.

A avaliação da porosidade do solo e a relação entre macro e microporos evidenciam o trabalho realizado pelas espécies com raízes profundas, que possuem força para romper as camadas com maior resistência do solo à penetração, além de aumentar os bioporos do solo, com conseqüente aumento da infiltração de água e agregação do solo (YU et al., 2016).

Na figura 13, evidencia-se que o tratamento (CU) apresentou maior condutividade hidráulica em solo saturado. No entanto, o mesmo tratamento alcançou a segunda classe de maiores médias de macroporosidade.

Mesquita e Moraes (2004) demonstram que os valores medidos na macroporosidade tem elevada variabilidade com coeficiente de variação 15 a 20% e os valores de condutividade hidráulica em solo saturado a variabilidade chega a ser maior que 70%. A diferença entre as duas análises é que para condutividade hidráulica em solo saturado os dados possuem distribuição lognormal, a qual, não é característica da macroporosidade do solo. Para os autores a condutividade hidráulica saturada é mais dependente da estrutura do que da textura do solo, onde as práticas culturais adotadas alteram a estrutura do solo em graus maiores do que os processos de gênese e formação da estrutura dos solos.

Para Kiehl (1979), um solo ideal é aquele que ideal de 1/3 de macroporos e de 2/3 de microporos. No entanto os dados da tabela 8, demonstram que tratamentos como (A) chegam a apresentar uma proporção de 75,83% de microporos e esta é uma evidência de como o produtor rural pode contribuir para a diminuição da qualidade do solo ao não adotar cultivos nas entressafras.

Para o atributo microporosidade o efeito dos anos não foi significativo. Para porosidade total e macroporosidade o aumento dos anos de cultivo com as plantas de cobertura provocou efeito proporcional. Finalmente, para grau de floculação o ano de 2019 causou redução e para grau de dispersão o efeito do ano de 2019, foi maior ao ser comparado com 2018 (As médias de Pt foram 59,52b e 60,92a para o ano de 2018 e 2019, Mi 46,89ns e 44,01 para o ano de 2018 e 2019, Ma 11,51b e 13,3a para o ano

de 2018 e 2019, GF 66,78a e 65,2b5 para o ano de 2018 e 2019 e GD 33,21b e 34,74 para o ano de 2018 e 2019).

Silveira et al. (2008) descrevem que o aumento de anos em cultivo com plantas de cobertura no inverno, promovem a diminuição da densidade do solo e equilíbrio entre os atributos macro e micro poros.

Para os parâmetros grau de floclulação e grau de dispersão, Silva et al. (2005) afirmam que em solos cuja argila possui maior grau de dispersão, em condições de chuva ou irrigação, se depositam nas paredes dos poros e sobre os grãos de quartzo ocasiona um arranjo mais compacto de partículas, efeito este, que irá aumentar o adensamento do solo nas camadas subsuperficiais e predispõe o solo à compactação.

As plantas de cobertura cultivadas em sistemas conservacionistas, agem de forma a reverter os processos de compactação e degradação do solo, modificam suas propriedades físicas, químicas e biológicas, melhoram as condições estruturais do solo e mantém o solo produtivo. Um solo bem estruturado e manejado garante sucesso da produtividade, propiciam o desenvolvimento das raízes das culturas, devido a melhor aeração e capacidade de infiltração e armazenamento de água no perfil do solo (CARVALHO; DECHEN; DUFRANC, 2004).

### 3.4 CONCLUSÕES

A utilização do consórcio entre *Crotalaria juncea* + *Pennisetum glaucum* (CP) foi responsável pela maior redução na resistência do solo à penetração na camada de 0,10 – 0,20 m e contribuir para formação e estabilização de agregados, além de promover redução na densidade do solo em razão do aumento nos anos de cultivo.

A ausência de cultivos de inverno, proporcionou a maior densidade, menor porosidade total, menor grau de floclulação, maior grau de dispersão de argila, com menor proporção de macroporos e maior concentração de microporos do solo.

A ausência de cultivos foi o único tratamento que não aumentou os agregados do solo maiores que 4,760 mm, com o passar dos anos de cultivo e aumentou de forma acentuada a proporção de agregados menor que 0,053 mm.

A cobertura do solo com *Crotalaria ochroleuca*, obteve destaque na redução dos agregados menores que 0,053 mm, e, foi a única cobertura do solo que aumentou

os agregados de 0,500 mm, com aumento dos anos de cultivo, com uma consistência de resultados positivos no aumento da condutividade hidráulica em solo saturado.

A utilização de *Urochloa ruziziensis*, obteve menores valores de resistência do solo à penetração na camada de 0-0,10 m, com diminuição desse atributo com aumento nos anos de cultivo. Este tratamento, proporcionou maior porosidade total, aumentou o grau de flocculação com redução do grau de dispersão da argila, em comparação com os demais tratamentos testados.

O tratamento do consórcio *Crotalaria Juncea e Urochloa ruziziensis* obteve maior condutividade hidráulica em solo saturado com taxa de infiltração 4,3 vezes na camada 0,00 – 0,20 m e 4,7 vezes na camada 0,20 – 0,40 m que os tratamentos: *Zea mays* e ausência de cobertura no inverno.

### 3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, D. J.; SILVA, I. F.; SILVEIRA, F. P. M.; SANTIAGO, R. D.; COSTA, J. R. C. *Poaceae* cespitosa e decumbente adubadas com NPK: efeitos na agregação do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 1, p. 50-55, 2014.

ALMEIDA, W. S.; PANACHUKI, E.; OLIVEIRA, P. T. S.; SILVA, M, R.; SOBRINHO, T. A.; CARVALHO, D. F. Effect of soil tillage and vegetal cover on soil water infiltration. **Soil and Tillage Research**, v. 175, p. 130-138, 2018.

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. 4. ed. Jaboticabal: Funep, 2006. 237p.

BATISTA, I.; CORREIA, M. E. F.; PEREIRA, M. G.; BIELUCZIK, W.; SCHIAVO, J. A.; ROUES, J. R. C. Frações oxidáveis do carbono orgânico total e macrofauna edáfica em sistema de integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, p. 797-809, 2014.

BENGOUGH, A. G. Root elongation is restricted by axial but not by radial pressures: so what happens in field soil? **Plant Soil**. v.360, p. 15–18, 2012.

BENKHOUA, N.; HAFIDI, M.; BRADRI, W.; BAUDOIN, E.; THIOLOUSE, J.; PRIN, Y.; GALIANA, A.; OUAHMANE, L.; OUHAMMOU, A.; SANGUIN, H.; DUPONNOIS, R. Management of the mycorrhizal soil infectivity with *Crotalaria ochroleuca*, an indigenous wild legume in the tropics: Impacts on microbial functional diversity involved in phosphorus mobilization processes in a sahelian soil. **Ecological Engineering**, v.101, p. 130–136, 2017.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SILVA, A. P.; BARBOSA, J. C. Intervalo hídrico ótimo e produtividade de cultivares de soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.3, p.639-645, 2006.

BEUTLER A. N.; CENTURION, J. F. Efeito do conteúdo de água e da compactação do solo na produção de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 849 - 856, 2012.

BLANCO-CANQUI, H.; DREWNOSKI, M. E.; RICE, D. G. Does Harvesting Cover Crops Eliminate the Benefits of Cover Crops? Insights After Three Years. **Soil Science Society of America Journal**. doi: 10.1002 / saj2.20175, 2020.

BLEVINS, R. L.; SMITH, M. S.; THOMAS, G. W. Changes in soil properties under no-tillage. In: PHILLIPS, R.E. & PHILLIPS, S.H., eds. **No-tillage agriculture: Principles and practices**. New York, VNR, 1984. p.190-230.

BONETTI, J. D. A.; PAULINO, H. B.; SOUZA, E. D. D.; CARNEIRO, M. A. C.; SILVA, G. N. D. Influência do sistema integrado de produção agropecuária no solo e na produtividade de soja e braquiária. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 1, p. 104-112, 2015.

BRAIDA, J. A.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M. Matéria orgânica e seu efeito na física do solo. **Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 7, p. 221-278, 2011.

BRONICK, C. J., LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**. v. 124, p. 3 -22. 2005.

CAIRES, E. F.; GUIMARÃES, A. M. A novel phosphogypsum application recommendations method under continuous no till-magement in Brazil. **Agronomy Journal**. Madison, V. 110, p.1987- 1995, 2018.

CARDOSO, D. P.; SILVA, M. L.; DE CARVALHO, G. J.; DE FREITAS, D. A.; AVANZI, J. C. Espécies de plantas de cobertura no condicionamento químico e físico do solo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 3, p. 375-382, 2013.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, n. 1, p. 99-105, 1990.

COSTA, A. R.; SATO, J. H.; RAMOS, M. L. G.; FIGUEIREDO, C. C.; SOUZA, G. P.; ROCHA, O, C.; GUERRA, A.F. Microbiological properties and oxidizable organic carbon fractions of an oxisol under coffee with split phosphorus applications and irrigation regimes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, p. 55-65, 2013.

ÇERÇIOĞLU, M.; ANDERSON, S. H.; UDAWATTA, R. P.; ALAGELE, S. Effect of cover crop management on soil hydraulic properties. **Geoderma**, v. 343, p. 247-253, 2019.

DELAZERI, J. V. S.; VALADÃO, F. C. A.; VALADÃO JUNIOR, D. D.; HERKLOTZ, B.; BERTONCELLO, L. R.; SILVA, J. L.; VIEIRA, A. O. Desempenho agrônômico de milho e crotalária cultivados em sistemas solteiro e consorciado. **Ciencia del Suelo**, v. 38, n. 2, 2020.

DEZORDI, G. B.; MENDES, K. F.; MACEDO, F. G.; CAMACHO, M. A.; COLETTI, A. J.; GOUVEIA, R. G. L. Desenvolvimento aéreo e radicular de espécies vegetais em Latossolo Vermelho distroférico sob compactação induzida. **Revista Scientia Plena**, Aracaju, v. 9, n. 5, p. 1-6, 2013.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. 5. ed. Brasília, Embrapa, 2018a. 356p.

FAGERIA, N. K. Role of Soil Organic Matter in Maintaining Sustainability of Cropping Systems. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.43, p. 2063-2113, 2012.

FERREIRA, D. F. Sisvar a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**. v. 35, p. 1039-1042, 2011.

GOOGLE EARTH. **Google earth**. 7.3. Disponível em <<https://www.google.com.br/earth/download/gep/agree.html>>. Acesso em 12 nov 2020.

HARA, A. T.; DOMINGUES, J. V. S.; GONÇALVES, A. C. A.; SANTOS, F. A. S.; HASHIGUTI, H. T.; REZENDE, R. Condutividade hidráulica em função do crescimento de *Urochloa decumbens*. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.13, p. 3454-3466, 2019.

HARUNA, S. I.; ANDERSON, S. H.; UDAWATTA, R. P.; GANTZER, C. J.; PHILLIPS, N. C.; CUI, S.; GAO, Y. Improving soil physical properties through the use of cover crops: A review. **Agrosystems, Geosciences & Environment**, v. 3, n. 1, p. e20105, 2020.

ITCG – Instituto de Terras, Cartografia e Geociências do Paraná. **Mapas de clima do Estado do Paraná**. Disponível em <<http://www.itcg.pr.gov.br/>>. Acessado em: 03 janeiro 2021.

IAPAR - Instituto Agrônômico do Paraná. **Cartas climáticas do Paraná**. Disponível em:<<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=597>>. Acessado em: 15 mai 2019.

KELIN, V. A. **Física do Solo**. 3ª ed. Passo Fundo-RS, Editora UPF. 2014. 263p.

LANA, M. C.; FEY, R.; FRANDOLOSO, J. F.; RICHART, A.; FONTANIVA, S. **Análise química de solo e tecido vegetal: práticas de laboratório**. 2ª ed. Marechal Cândido Rondon, Universidade Estadual do oeste de Paraná, 2016.153p.

LI, L.; ZHANG, L.; ZHANG, F. Crop mixtures and the mechanisms of overyielding. **Encyclopedia of biodiversity**, v.2, p.382–395, 2013.

LIMA, C. L. R. de,; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M; SUZUKI, L. E. A. S. Produtividade de culturas e resistência à penetração de Argissolo Vermelho sob

diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasília. v.45, p. 89–98. 2010.

LIMA, L. B.; PETTER, F. A.; LEANDRO, W. M. Desempenho de plantas de cobertura sob níveis de compactação em Latossolo Vermelho de Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.19, n.11, p.1064–1071, 2015.

LIMA, V. P.; ALVES NETO, A. J.; NANNI, M. R.; RISSATO, B. B.; FATECHA F., D.; FÁVERO, F. Atributos físicos de solos cultivados sob sistema de sucessão de culturas soja - milho segunda safra. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v.6, n.2, p.26-38, 2017.

MADARI, B. E. **Fracionamento de Agregados: Procedimento para uma Estimativa Compartimentada do Seqüestro de Carbono no Solo**. Embrapa Solos: Boletim de pesquisa e desenvolvimento. 22: 10 p. 2004.

MARCHINI, D. C.; LING, T. C.; ALVES, M. C.; CRESTANA, S.; SOUTO FILHO, S. N.; ARRUDA, O. G. Matéria orgânica, infiltração e imagens tomográficas de Latossolo em recuperação sob diferentes tipos de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.6, p.574–580, Campina Grande, 2015.

MEDA, A. R.; FURLANI, P.R. Tolerance to aluminum toxicity by tropical leguminous plants used as cover crops. **Brazilian Archives Of Biology And Technology**. v.48, n. 2, p. 309-317, 2005.

MEURER, E. J. **Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas**. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. H. V.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. eds. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.65-90.

MILNE, R. M.; HAYNES, R. J. Comparative effects of anual and permanent dairy pastures on soil physical properties in the Tsitsikamma region of South Africa. **Soil Use and Management**, v.20, n.1, p. 81-88, 2004.

MOTA, J. C. A.; FREIRE, A. G.; ASSIS JÚNIOR, R. N. Qualidade física de um Cambissolo sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 37, p. 1196, 2013.

MOTTIN, M. C.; SEIDEL, E. P.; FEY, E. VANELLI, J.; ALVES, A. L.; RICHART, A.; FRANDOLOSSO, J. F.; ANSCHAU, K. A.; FRANZISKOWSKI, M. A. Biomass productivity and physical properties of the soil after cultivation of cover plant in the autumn and winter. **American Journal of Plant Sciences**. v.9, p.775-788, 2018.

OLIVEIRA, L. B. DE PAULA, J. L. EMBRAPA - Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1979. 271 p.

OLIVEIRA, G. C.; DIAS JÚNIOR, M. S.; RESCKN, D. V. S. & CURI, N. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28 p.327-336, 2004.

OLIVEIRA, M. P.; ROQUE, C. G.; PIATI, G. L.; ALVAREZ, R. C. F.; CARVALHO, M. A. C.; CAMPOS, C. N. S.; TEODORO, P. E. Cover crops, lime and gypsum influence on soil physical attributes. **Bioscience Journal**. v.37, pp. 1-11, 2021.

PACHECO, L. P.; MIGUEL, A. S. D. C. S.; BONFIM-SILVA, E. M.; SOUZA, E. D. D.; SILVA, F. D. D. Influência da densidade do solo em atributos da parte aérea e sistema radicular de crotalária. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n.4, p. 464-472, 2015.

PARAJULI, P. B.; JAYAKODY, P.; SASSENATH, G. F.; OUYANG, Y. Assessing the impacts of climate change and tillage practices on stream flow, crop and sediment yields from the Mississippi River Basin. **Agricultural Water Management**. v.168, p.112-124, 2016.

PENG, S.; GUO, T.; LIU, G. The effects of arbuscular mycorrhizal hyphal networks on soil aggregations of purple soil in southwest China. **Soil Biology Biochemistry**, v. 57, n. 2, p. 411–417, 2013.

PEREIRA, M. G.; RAVELLI NETO, A.; ANJOS, L. H. C.; CEDDIA, M. B.; SCHULTZ, N. **Práticas de morfologia e física do solo**. Seropédica: Ed. da UFRRJ, 2020, 83p.

PETTER, F. A.; PACHECO, L. P.; ZUFFO, A. M.; PIAULINO, A. C.; XAVIER, Z. F.; SANTOS, J. M.; MIRANDA, J. M. S. Desempenho de plantas de cobertura submetidas à déficit hídrico. **Semina: Agrárias**, v.34, p.3307-3320, 2013.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. 46 In: CERETTA, C. A.; SILVA, L. S.; REICHERT, J. M. **Tópicos em Ciência do Solo**. 1. ed. Viçosa: SBCS. v. 5, p. 49-134, 2007.

REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADA, M. M. C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.5, 1805-1816, 2008.

ROSSETTI, K. V.; ANDRIOLI, I.; CENTURION, J. F.; NÓBREGA, J. C. A. Atributos físicos do solo em diferentes condições de cobertura vegetal em área de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v.7, n.3, p.427-433, 2012.

SÁ, J. C. D. M.; SÉGUY, L.; SÁ, M. F. F.; FERREIRA, A. O.; BRIEDIS, C.; SANTOS, J. B.; & CANALLI, L. **Gestão da matéria orgânica e da fertilidade do solo visando sistemas sustentáveis de produção**. In: Prochnow LI, Casarin V & Stipp SR (Ed.) Boas práticas para o uso eficiente de fertilizantes: contexto mundial e práticas de suporte. Volume 1. Piracicaba: IPNI Brasil. p.383-420. (2014).

SANTOS, J. B.; LÁZARI, T. M.; CAMELO, G. N.; OLIVEIRA, T. A.; FIGUEIREDO, J. L. A. Competição entre soja resistente ao glyphosate e plantas daninhas em solo compactado. **Planta Daninha**, v.26, p.123-130, 2008.

SECCO, D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; DA ROS, C. O. Produtividade de soja e propriedades físicas de um Latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.797-804, 2004.

SILVA, I. F. da; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 1, p. 113-117, 1997.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V.; LIMA, F. W. F. Efeito de sistemas de uso e manejo nas propriedades físico-hídricas de um Argissolo Amarelo de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.833-842, 2005.

SILVA, G. S. F.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; CARDOSO, M. J.; ARAÚJO NETO, R. B. Soil water dynamics and yield in maize and *Brachiaria ruziziensis* intercropping. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 50, p.1-9, 2020.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F.; ALVES JÚNIOR, J.; SILVA, J. G. Efeitos do manejo do solo sob plantio direto e de culturas na densidade e porosidade de um Latossolo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 24, n. 3, p. 53-59, 2008.

SOARES, M. B.; TAVANTI, R. F. R.; RIGOTTI, A. R.; DE LIMA, J. P.; DA SILVA FREDDI, O.; PETTER, F. A. Use of cover crops in the southern Amazon region: What is the impact on soil physical quality?. **Geoderma**, v. 384, p. 114796. 2021.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. EMBRAPA - Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Manual de métodos de análise de solo**. 3.ed. Brasília: Embrapa Produção de informações; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2017. 574p.

TISDALL, J. M.; COCKROFT, B.; UREN, N. C. The stability of soil aggregates as affected by organic materials, microbial activity and physical disruption. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 16, n. 1, p. 9-17, 1978.

VALADÃO, F. C. A.; MAAS, K. D. B.; WEBER, O. L. S.; VALADÃO JÚNIOR, D. D.; SILVA, T. J Variação nos atributos do solo em sistemas de manejo com adição de cama de frango. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.2073-2082, 2011.

VETTORI, L. **Métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, 1969. 24p. (Boletim técnico, 7).

VETTORI, L. & PIERANTONI, H. **Análise granulométrica: novo método para determinar a fração argila**. Rio de Janeiro, Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, Ministério da Agricultura, 1968. 9p. (Boletim Técnico, 3).

YU Y.; LOISKANDL W.; KAUL H. P.; HIMMELBAUER M.; WEI, W.; CHEN L.; BODNER, G. Estimation of runoff mitigation by morphologically different cover crop root systems. **Journal of Hydrology**. v. 538, p. 667–676, 2016.

## 4 CAPÍTULO 2 – BALANÇO E EFICIÊNCIA DO USO DE NUTRIENTES SOB CULTIVO DE PLANTAS DE COBERTURA E GESSAGEM

RESUMO: Os benefícios da adoção de plantas de cobertura nos sistemas de cultivo incluem a influência na dinâmica dos nutrientes no solo. Os indicadores de qualidade química do solo devem ser atributos químicos responsáveis por proporcionar um ambiente que favorece o crescimento radicular, que aumentem a exploração do perfil do solo e diminuam os efeitos do alumínio tóxico do solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar alterações químicas do solo e eficiência do uso de fertilizantes pela cultura da soja, após três anos de cultivo de plantas de cobertura no inverno com ausência e presença de gessagem. Amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, para determinação dos teores de carbono orgânico total (COT), fósforo (P), fósforo remanescente (P-rem), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), capacidade de troca de cátions (CTC) e saturação por bases (V%). Amostras de tecido foliar e dos grãos de soja no momento da colheita foram coletadas com o objetivo de determinar os teores foliares de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e enxofre (S) e teores de N, P e K em grãos. Com os dados de produtividade e exportação dos nutrientes foram determinados a eficiência e balanço e eficiência de uso dos nutrientes. Foram determinados a massa seca e a porcentagem de cobertura de solo proporcionado pelas plantas de cobertura. A utilização do tratamento ausência de cultivos promoveu os maiores efeitos deletérios em todos os parâmetros avaliados e foi constatado aumento da produtividade da soja com o passar dos períodos de cultivo com exceção do tratamento ausência das plantas de cobertura. A utilização do consórcio entre *Crotalaria juncea* + *Pennisetum glaucum* e *Crotalaria juncea* + *Uroclhoa ruzizensis* foram responsáveis pelos maiores teores foliares para nitrogênio e fósforo, pelas maiores produções de massa seca remanescente após 120 dias da dessecação, em conjunto com o tratamento *Uroclhoa ruzizensis*. Além da participação no grupo de tratamentos com maior produção de massa seca, o tratamento *Uroclhoa ruzizensis* proporcionou maiores teores na cultura da soja dos nutrientes potássio e enxofre. Os tratamentos *Zea mays* L. e *Crotalaria spectabilis*, demonstraram maior aproveitamento do nutriente cálcio pela cultura da soja.

**Palavras-chave:** Eficiência no uso de fertilizantes, Gessagem, Qualidade química do solo, Exportação de nutrientes.

**ABSTRACT:** Benefits of cover crops adopting in cropping systems include influencing nutrient dynamics in the soil. Soil chemical quality indicators must be chemical attributes responsible for providing an environment that favors root growth, which increases the exploitation of the soil profile and reduces the effects of toxic aluminum in the soil. The objective of this work was to evaluate chemical changes in the soil and efficiency of fertilizer use by soybean crop, after three years of use of cover crops with absence and presence of plaster in winter crops. Soil samples were collected in the 0-0,20 and 0.20-0,40 m layers to determine the contents of total organic carbon (TOC), phosphorus (P), remaining phosphorus (P-rem), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), cation exchange capacity (CTC) and base saturation (V%). Leaf tissue and soybean grain samples at harvest were collected in order to determine leaf nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca) and sulfur (S) contents and levels of N, P and K in grains. The data of grain yield and grains export of nutrients, let us determined the efficiency and balance of nutrient use. The dry mass and the percentage of ground cover provided by the cover crops were determined. The use of the no-crop treatment promoted the greatest deleterious effects in all parameters evaluated and an increase in soybean yield was observed with the passage of the cultivation periods, with the exception of the treatment without cover crops. The cover crops use of *Crotalaria juncea* + *Pennisetum glaucum* and *Crotalaria juncea* + *Uroclhoa ruzizensis* were responsible for the highest leaf contents for nitrogen and phosphorus, for the highest production of dry mass remaining after 120 days of desiccation, together with the treatment *Uroclhoa ruzizensis*. In addition to participating in the group of treatments with higher dry mass production, the *Uroclhoa ruzizensis* treatment provided higher levels of potassium and sulfur in soybean crop. The treatments *Zea mays* L. and *Crotalaria spectabilis* showed greater use of the nutrient calcium by the soybean crop.

**Keywords:** Efficient use of fertilizers, gypsum application, Chemical quality of soil, nutrient exportation.

## 4.1 INTRODUÇÃO

Os atributos químicos do solo apresentam variabilidade oriunda de diversos fatores, como o próprio uso e manejo (ZANÃO JÚNIOR et al., 2010). Assim, o sistema de semeadura direta com revolvimento mínimo, rotação de culturas e manutenção da cobertura do solo (CRUZ et al., 2019), traz maior lucratividade, conserva os recursos naturais (ALVIM, 2005) e melhora as condições químicas do solo (CARDOSO et al., 2014).

Com a adoção deste sistema, a melhora do solo é comprovada em diversos aspectos, como eliminação da perda e escoamento de solo, diminuição da erosão, aumento da infiltração de água e manutenção da umidade do solo (GRANDO, 2017), pouca resistência ao crescimento radicular, permite que as raízes atinjam maiores camadas em busca de água e nutrientes e conseqüentemente sofrem menos em anos de estiagem (REINERT; REICHERT, 2006).

De acordo com Souza et al. (2010) esses fatores contribuem por diminuir o transporte e as perdas de fertilizantes, afinal, a adoção dessas práticas contribuem na percolação da água no solo. Além disso estes mesmo autores salientam que sob plantio direto, os fertilizantes, o calcário e o gesso diminuem sua percolação e sejam mais aproveitados. Assim, mesmo que aplicados na superfície, conseguem atingir camadas mais profundas, promovem maior mobilidade dos produtos originados da dissolução dos fertilizantes/corretivos no perfil do solo (AMARAL et al., 2004).

Dentro do sistema semeadura direta prega-se manter o solo sempre coberto, o que muitas vezes é difícil com a utilização apenas dos resíduos deixados pelas culturas comerciais, portanto, é necessária a utilização de plantas com potencial para produzir boa quantidade de matéria seca, com objetivo de manter o solo coberto o maior tempo possível (PACHECO et al. 2011; CRUSCIOL et al. 2012; NASCENTE; CRUSCIOL, 2012).

Para isso, pode-se utilizar culturas como *Crotalárias juncea*, *C. ochroleuca* e *C. spectabilis* (ERASMO et al., 2004) as quais, da mesma forma apresentam capacidade de fixação biológica (BOGHOSSIAN et al., 2007), além de gramíneas como a braquiária (*Urochloa ruziziensis*) (ECHER et al., 2012; BARDUCCI et al., 2009) e o milho (*Pennisetum glaucum*) (CARVALHO; NASCENTE, 2014; FERRARI NETO et al., 2012).

A adoção do sistema de semeadura direta e o cultivo de plantas de cobertura aumentam a eficiência de absorção de nutrientes, auxiliam na manutenção da temperatura ideal, favorecem a “vida do solo”, aumentam a atividade biológica (CRUZ et al., 2019), promovem ciclagem de nutrientes e permitem sua liberação gradativa (GRANDO, 2017), pelo maior acúmulo de matéria orgânica, o qual está relacionado com a retenção de nutrientes e fornecimento gradativo dos mesmos para as culturas de interesse comercial, durante a decomposição da palhada (TEIXEIRA et al., 2010).

A falta da adoção da semeadura direta associada a não utilização de plantas de cobertura, resulta em solos compactados com aproveitamento deficiente dos fertilizantes/corretivos (lixiviação/erosão), prejuízo econômico e conseqüente menor lucratividade ao produtor rural (ARAÚJO et al., 2015), e, pode gerar riscos à natureza pela contaminação de rios e cursos de água.

Diante disso, este estudo teve como objetivo avaliar os atributos químicos do solo e produtividade da cultura da soja com plantas de cobertura, cultivo de milho segunda safra e solo sem cultivo sob a presença e ausência de gessagem na região oeste do Paraná.

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.2.1 Caracterização da Área Experimental

A caracterização da área experimental encontra-se descrita no item 3.2.1, no Capítulo 1.

### 4.2.2 Delineamento Experimental

O delineamento experimental encontra-se descrito no item 3.2.2, no Capítulo 1.

### 4.2.3 Condução do Experimento

Para a cultura da soja no cultivo do ano de 2017, foi utilizado o fertilizante formulado 4-24-12-8-8, N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O-Ca-S, na dose de 330 kg ha<sup>-1</sup>. No ano de 2018, para o cultivo da soja foi utilizado o formulado 4-19-14-11-5, N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O-Ca-S, na

dose de 330 kg ha<sup>-1</sup>. No ano de 2019, para o cultivo da soja foi utilizado o formulado 4-24-12-10-3, N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O-Ca-S, na dose de 372 kg ha<sup>-1</sup> (Tabela 37– Apêndice A).

Em todos os anos na cultura da soja, as sementes foram inoculadas no momento da semeadura com *Bradhyrhizobium japonicum* na dose de 2,5 mL por kg de semente.

Nos cultivos de inverno, as culturas de cobertura não foram fertilizadas com exceção da cultura do milho segunda safra. As doses estão descritas na tabela 2, no Capítulo 1. Não foram realizadas fertilização em cobertura para fornecimento de N para a cultura do milho segunda safra.

Os demais itens da condução do experimento encontram-se descritos no item 3.2.3, no Capítulo 1.

#### 4.2.4 Coletas das Amostras de Solo e de Tecido Foliar

Após a colheita da cultura da soja do terceiro cultivo foram coletadas amostras de solo. A amostra composta de cada subparcela foi realizada através da coleta de dez subamostras ao acaso. As amostras foram coletadas com conjunto coletador de solo (furadeira Profissional Stihl Ms 260) e brocas de aço. Foram realizadas amostragens de solo nas camadas de 0 – 0,20 e de 0,20 – 0,40 m. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, identificadas e encaminhadas ao laboratório de análises químicas Santa Rita, localizados em Mamborê-PR.

Para determinação dos teores foliares de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e enxofre (S), foram coletadas vinte folhas de soja ao acaso por subparcela, com pecíolo. A 3ª folha aberta do ápice da planta para a base, no estágio de R1, foi destacada para a coleta (RAIJ, 2014).

Para determinação da matéria seca da parte aérea das plantas de cobertura T1 – (CU) *Crotalaria juncea* (L.) + *Urochloa ruziziensis*, T2 – (CP) *Crotalaria juncea* (L.) + *Pennisetum glaucum* (L.), T3 – (P) *Pennisetum glaucum* (L.), T4 – (J) *Crotalaria juncea* (L.), T5 – (S) *Crotalaria spectabilis* (R.), T6 – (O) *Crotalaria ochroleuca* e T8 – *Urochloa ruziziensis*, foram coletados dois pontos por subparcela com presença de gesso e dois outros pontos nas subparcelas com ausência de gesso, para gerar uma amostra composta. As amostras foram de 0,5 m<sup>2</sup> em cada ponto. Com base na produção da matéria seca e as informações dos teores dos nutrientes no tecido,

nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e enxofre (S), foi realizada a extração destes nutrientes por estas culturas.

Para determinação dos teores de (N), (P), (K), (Ca) e (S), nos grãos de soja após a colheita, de tecido foliar da cultura da soja e da matéria seca das plantas de cobertura, as amostras foram acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa com circulação forçada de a 65 °C por 72 horas. Após secas as amostras foram encaminhadas ao laboratório de análises químicas Santa Rita, localizados em Mamborê-PR e determinados pela metodologia descrita por Lana et al. (2016).

Na colheita do milho, as parcelas com plantas de cobertura foram manejadas com o herbicida glifosato (Zapp Qi 620®, 2 L ha<sup>-1</sup>). As coletas de matéria seca foram realizadas 20 dias após a colheita do momento do milho segunda safra e posteriormente os intervalos das coletas foram realizados de 30 em 30 dias após a dessecação até 120 dias com objetivo de determinar os valores máximos de produção de matéria seca. As amostras foram acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa com circulação forçada de a 65 °C por 72 horas, e, a quantidade de matéria seca presente no solo no momento da semeadura da cultura da soja.

A taxa de cobertura aos 0, 30, 60, 90 e 120 DAE, pelas plantas de cobertura, foi avaliada com uso de quadrado de madeira de 0,5 m de lado, com rede de barbantes espaçados a cada 0,05 m, em que a presença ou não da cobertura vegetal dentro dos espaços entre os barbantes foi empregada para determinar a cobertura do solo proporcionada (SODRÉ FILHO et al., 2004).

#### 4.2.5 Análises Realizadas

A colheita da cultura da soja foi realizada com colhedora de parcelas da marca Massey Ferguson – MF 220. Foram colhidas todas as linhas (6 linhas de espaçamento 0,50 metros), pelos 10 metros de comprimento das parcelas (Figura 16).

A massa de grãos da área útil foi determinada em balança de precisão. A umidade de grãos foi determinada a partir da utilização do equipamento medidor de umidade e de peso hectolitro MOL AL 101. Para determinar a massa de mil grãos foram contados e pesados 500 grãos em cada subparcela, com correção da umidade para 130 g/kg.



Figura 16. Imagem da colhedora adaptada de parcelas utilizadas nos três anos para colheita dos experimentos. Corbélia-PR, 2021.

Foi retirado uma amostra de 300 gramas de grãos de cada subparcela para determinação dos teores de N, P, K, Ca e S. Foi determinado a exportação de N, P, K, Ca e S pelos grãos de soja, e, esta variável calculada a partir do teor de cada nutriente nos grãos e do rendimento de grãos.

#### 4.2.6 Cálculo de balanço e eficiência de utilização de N, P, K, Ca e S

O balanço de N, P, K, Ca e S no solo, expresso em  $\text{kg ha}^{-1}$  ano foi calculado, após o terceiro cultivo, com base na quantidade total de cada nutriente aplicado na adubação em  $\text{kg ha}^{-1}$ , na quantidade exportada pela colheita dos grãos em  $\text{kg ha}^{-1}$  conforme a equação:

$$\text{Balanço de nutriente no solo} = [\text{N}_{\text{fertilizante}} + (\text{N}_{\text{solo}_{\text{inicial}}} - \text{N}_{\text{solo}_{\text{final}}}) - \text{N}_{\text{exportado}}]$$

Onde:

$\text{N}_{\text{fertilizante}}$  representa a quantidade total de nutriente (N, P, K, Ca e S) aplicados na soma de três cultivos em  $\text{kg ha}^{-1}$ ;

$\text{N}_{\text{solo}_{\text{inicial}}}$  representa a quantidade de nutriente (N, P, K, Ca e S) disponíveis no solo em  $\text{kg ha}^{-1}$ , antes da implantação do experimento;

$N_{\text{solo}_{\text{final}}}$  representa a quantidade do nutriente (N, P, K, Ca e S) disponíveis no solo em  $\text{kg ha}^{-1}$ , após o terceiro ano.

$N_{\text{exportado}}$  representa a quantidade total do nutriente (N, P, K, Ca e S) exportados pelos grãos após durante os três cultivos de soja em  $\text{kg ha}^{-1}$ .

A contribuição de N do solo foi determinada com o teor inicial e final de matéria orgânica, ao levar em conta a taxa de mineralização anual de 2,5% e concentração de 5% de N da matéria orgânica no período de 36 meses (CANTERELLA, 2007).

Eficiência de uso do nutriente representa a quantidade de grãos produzidos para kg de nutriente aplicado uso do fertilizante. Desta forma, a eficiência do uso de N, P, e K foi calculada através do método adaptado, proposto por Fageria e Baligar (2005), por meio do cálculo da eficiência do uso de fertilizante (EUF), ao se utilizar a equação abaixo, em que EUN é expresso em  $\text{kg/kg}$ :

$$\text{EUN} = \frac{\text{Produção total do tratamento (kg ha}^{-1}\text{)}}{\text{Quantidade total do nutriente aplicado (kg ha}^{-1}\text{)}}$$

Onde:

Produção total do tratamento é a soma de grãos produzidos pelos três cultivos e no tratamento T7 – *Zea mays* (L.) (Z);

Quantidade total do nutriente aplicado é a soma de N, P, K, Ca e S aplicados via fertilizantes nas três safras;

As quantidades totais de N, P, K, Ca e S aplicado via fertilizante no somatório dos três anos constam na tabela 37, apêndice A.

#### 4.2.7 Análises Estatísticas

Para os dados: produtividade da cultura da soja, teores foliares de N, P, K, Ca e S, exportação de N, P e K da cultura da soja, as análises estatísticas foram realizadas da mesma maneira como encontra-se descrito no item 4.2.2, no Capítulo 1.

#### 4.2.7.1 Análises Estatísticas após os três anos de condução do experimento

Para os atributos químicos do solo: carbono orgânico total, fósforo, fósforo remanescente, cálcio, magnésio, potássio, CTC, soma de bases, saturação por bases, eficiência no uso de N, P e K, balanço no solo de N, P e K e rendimento total de grãos dos 3 anos de experimento, os dados obtidos foram submetidos à análise de variância. Com constatação de efeito significativo para determinada variável, as médias foram submetidas ao teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade. Os dados foram processados em delineamento de blocos casualizados (DBC) com parcelas subdivididas. Nas parcelas principais foram alocadas plantas de cobertura, e nas subparcelas foi alocado o fator gessagem (ausência e presença). Na análise estatística foi utilizado o programa estatístico Sisvar 5.1 (FERREIRA, 2011). Na tabela 8 é demonstrado o esquema de análise de variância para as parcelas subdivididas para atributos químicos do solo e balanço de nutrientes.

Tabela 8 – Esquema de análise de variância para parcelas subdivididas

<b>Causa de variação</b>	<b>GL</b>
Blocos	(r-1)
Plantas de Cobertura	p - 1
Erro a	(r-1)(a-1)
Gessagem	b-1
Plantas de Cobertura x Gessagem	(b-1)(p-1)
Erro b	(b-1)(a-1)(p-1)
Total	p a b r - 1

### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 9 é apresentada a produtividade da cultura da soja em razão das plantas de cobertura de inverno com ausência e presença de aplicação de gesso e em anos de cultivo.

O cultivo de (U) proporcionou maior produtividade da soja tanto na comparação entre a ausência e presença de gesso quanto entre as plantas de cobertura. O melhor resultado do tratamento (U) na produtividade da soja advém da produção abundante de raízes com posterior formação de bioporos contínuos e da biomassa formada na superfície do solo.

Tabela 9 – Produtividade da cultura da soja em função da implantação de plantas de cobertura cultivadas no inverno sob aplicação de gesso agrícola e em diferentes anos de cultivo. Corbélia-PR, 2021.

Tratamentos	Gessagem		Anos		
	Ausência	Presença	2017	2018	2019
	kg ha <sup>-1</sup>				
(CU)	4.748,09 Bb	4.833,78 Ba	4.175,87 Ac	4.853,87 Bb	5.343,07 Ba
(CP)	4.805,31 Ba	4.750,59 Cb	4.091,59 Ac	4.894,97 Bb	5.347,29 Ba
(P)	4.611,89 Da	4.632,34 Da	4.285,55 Ac	4.498,72 Eb	5.082,07 Da
(J)	4.770,36 Ba	4.519,13 Eb	4.121,49 Ac	4.748,05 Cb	5.064,69 Da
(S)	4.694,43 Ca	4.658,49 Da	4.096,80 Ac	4.768,34 Cb	5.164,25 Ca
(O)	4.589,03 Db	4.688,88 Da	4.126,31 Ac	4.634,46 Db	5.156,17 Ca
(Z)	4.743,15 Ba	4.566,58 Eb	4.257,29 Ac	4.657,48 Db	5.019,83 Da
(U)	4.912,57 Aa	4.924,39 Aa	3.928,85 Ac	5.314,91 Ab	5.511,67 Aa
(A)	4.267,07 Eb	4.355,84 Fa	4.257,60 Aa	4.311,30 Fa	4.365,47 Ea

\*Médias seguidas de mesma letra de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

(CU) *Crotalaria juncea* (L.) + *Urochloa ruziziensis*, – (CP) *Crotalaria juncea* (L.) + *Pennisetum glaucum* (L.) – (P) *Pennisetum glaucum* (L.) – (J) *Crotalaria juncea* (L.) – (S) *Crotalaria spectabilis* – (O) *Crotalaria ochroleuca* – (Z) *Zea mays* (L.) – (U) *Urochloa ruziziensis* – (A) Ausência de cobertura no Inverno.

No ano de cultivo 2017 e entre as plantas de coberturas, é verificado que todas as plantas apresentaram comportamento similar para produtividade da soja, ou seja, pertencem à um mesmo agrupamento. Em 2018 e 2019 a planta de cobertura (U) demonstra superioridade na produtividade de soja em comparação das demais culturas de cobertura. No entanto, no ano de 2018 e 2019 os tratamentos (CU) e (CP) pertencem à um mesmo grupo de produtividade.

O tratamento com cultivo de planta de cobertura (U) demonstrou maior produtividade de soja em relação as demais plantas de cobertura desde o segundo ano de cultivo. Apenas em 2017, as demais plantas de cobertura apresentaram produtividade de soja semelhante ao tratamento (U).

Na tabela 10 é apresentada os teores foliares de N, P, K, Ca e S na cultura da soja em razão das plantas de cobertura de inverno.

Na análise dentro das plantas de cobertura, o grupo dos tratamentos (CU), (CP), (J) e (U) apresentaram maiores teores de N foliar na cultura da soja.

Tabela 10 – Teores foliares de N, P, K, Ca e S na cultura da soja em função da implantação de plantas de cobertura cultivadas no inverno. Corbélia-PR, 2021.

Tratamentos	N	P	K	Ca	S
Teor foliar g kg <sup>-1</sup>					
(CU)	61,73 A	3,82 A	65,99 B	20,11 D	2,32 D
(CP)	61,66 A	3,72 A	65,76 B	21,22 C	2,37 D
(P)	58,19 C	3,75 A	65,51 B	22,03 B	2,66 B
(J)	61,33 A	3,70 A	64,62 B	20,99 B	2,48 C
(S)	59,70 B	3,50 B	65,11 B	23,00 A	2,50 C
(O)	58,94 B	3,44 B	64,41 B	21,86 B	2,27 D
(Z)	57,99 C	3,57 B	63,38 B	22,77 A	2,60 B
(U)	62,93 A	3,69 A	67,92 A	21,75 C	2,79 A
(A)	57,10 C	3,50 B	58,53 C	19,56 E	2,44 C
Média	59,96	3,63	64,58	21,48	2,50

\*Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

(CU) *Crotalaria juncea* (L.) + *Urochloa ruziziensis*, – (CP) *Crotalaria juncea* (L.) + *Pennisetum glaucum* (L.) – (P) *Pennisetum glaucum* (L.) – (J) *Crotalaria juncea* (L.) – (S) *Crotalaria spectabilis* – (O) *Crotalaria ochroleuca* – (Z) *Zea mays* (L.) – (U) *Urochloa ruziziensis* – (A) Ausência de cobertura no Inverno.

A fertilização com N tem sido um desafio para a agricultura brasileira, por isso é importante desenvolver alternativas e sistemas de manejo onde este nutriente possa ser mais eficiente.

Para Sangoi et al. (2015), a dificuldade em alcançar um ambiente com acidez corrigida, é a principal razão pelas aplicações de altas doses de N nos cultivos de soja no Brasil, pois, em pH 4,5 a redução na eficiência de aproveitamento deste nutriente pelas culturas ultrapassa 25%, ao ser comparado com pH 5,5 em CaCl<sub>2</sub>. O pH do solo no início do experimento era de 4,70.

Para os teores de P, diante na análise entre as plantas de cobertura, é observado que apenas o agrupamento dos tratamentos (CU), (P), (CP), (J) e (U) apresentaram maiores teores de P nas folhas de soja.

O tratamento (CU), consórcio entre *Fabaceae* e *Poaceae*, demonstrou entre as plantas de cobertura superioridade no teor de P nas folhas de soja, entretanto, este tratamento pertence ao agrupamento supracitado. A *Crotalaria juncea* integrante dos tratamentos (J) e (CU) realiza a reciclagem e disponibilidade P para os cultivos subsequentes (Figura 17) pode ser observada os aspectos das parcelas com e sem inserção da *Crotalaria juncea*, juntamente com *Urochloa ruziziensis*.

Esse fato é resultante, dentre outros fatores, devido a grande quantidade de matéria produzida devido a ciclagem de nutrientes (BURKE et al., 2017; KOVAR; GRANT, 2011; ROSOLEM, et al.,2003).

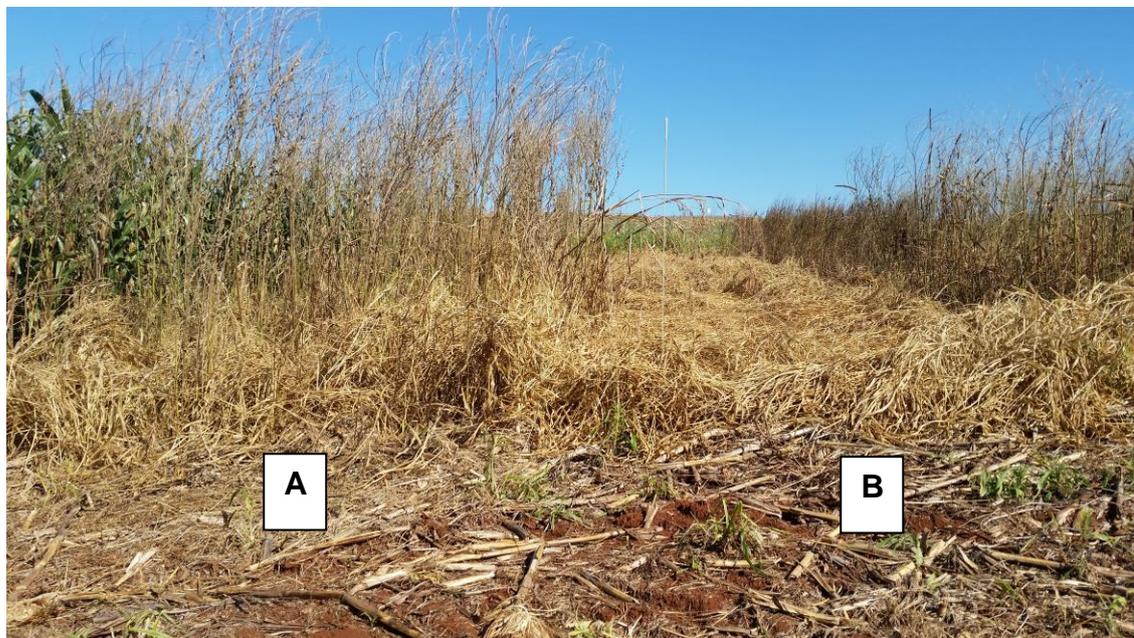


Figura 17. Aspecto das parcelas 15 dias após a dessecação no primeiro ano de cultivo (2017), de *Crotalaria juncea* + *Urochloa ruziziensis*, (JU) – A e *Urochloa ruziziensis* (U) – B, no experimento de campo. Corbélia-PR, 2017.

Para os tratamentos do grupo (CU), (CP), (P), (S), (J) e (O), a absorção de K pela cultura da soja foi menor em relação ao tratamento (U). Embora o K tenha pronta disponibilidade a partir do tecido vegetal senescente, no decorrer dos anos conforme o volume de chuva pode remanescer K no material orgânico para o cultivo subsequente. As plantas de cobertura, *Crotalaria juncea*, milho e braquiária disponibilizam K facilmente e as quantidades são 200, 500 e 300 g ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> (ROSOLEM, et al.,2003).

No caso da planta de cobertura (U) a superioridade no teor de K foliar em relação a aos demais tratamentos (Tabela 10) deve-se a concentração do cátion no solo após o manejo desta planta de cobertura. O aumento no conteúdo de K foliar na soja provavelmente está relacionado ao aproveitamento do K lixiviado da matéria seca de braquiária na superfície do solo por meio de precipitações. Os resíduos da planta de cobertura (U) possuem potencial de disponibilizar de K para as culturas

subsequentes. A *Urochloa ruziziensis* após 90 dias da dessecação disponibiliza todo o K (PEREIRA et al., 2016).

Os maiores teores de Ca no tecido foliar da cultura da soja foram obtidos no grupo das plantas de cobertura (S) e (Z) (Tabela 10). As plantas de cobertura, dentro de cada ano, demonstraram comportamento distinto no teor de Ca no tecido foliar da soja (Tabela 10). O grupo das plantas de cobertura (J), (O) e (P), proporcionaram os segundos maiores teores de Ca no tecido foliar da soja (Tabela 10).

Os maiores teores de S no tecido foliar na cultura da soja observados para a braquiária (U), seguido do grupo constituído por (Z) e (P). Apesar de receber gessagem em subparcelas, não houve significância para o complemento com gessagem. Este fato evidencia como as plantas de cobertura, são eficientes para reciclar e promover melhor aproveitamento de S, por se diferenciarem entre si, mesmo após receber igualmente aplicação de insumo composto por S (18% de S) e da reciclagem das plantas de cobertura (KOVAR; GRANT, 2011).

Tabela 11 – Teores foliares de N, P, K, Ca e S na cultura da soja em função da implantação de plantas de cobertura cultivadas no inverno em diferentes anos de cultivo. Corbélia-PR, 2021.

Tratamentos	N	P	K	Ca	S
	g kg <sup>-1</sup>				
2017	58,93 b	3,42 b	61,31 c	18,07 b	1,99 b
2018	60,34 b	4,12 a	66,44 b	20,71 a	2,66 a
2019	65,92 a	3,93 a	70,23 a	21,55 a	1,58 b
Média	61,73	3,82	65,99	20,11	2,07

\*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

(CU) *Crotalaria juncea* (L.) + *Urochloa ruziziensis*, – (CP) *Crotalaria juncea* (L.) + *Pennisetum glaucum* (L.) – (P) *Pennisetum glaucum* (L.) – (J) *Crotalaria juncea* (L.) – (S) *Crotalaria spectabilis* – (O) *Crotalaria ochroleuca* – (Z) *Zea mays* (L.) – (U) *Urochloa ruziziensis* – (A) Ausência de cobertura no Inverno.

No desdobramento dentro de cada ano, o conteúdo de N foliar da soja foi semelhante entre os dois primeiros anos de cultivo. Já no ano de 2019, houve maior teor de N com as plantas de cobertura (Tabela 11). Em 2019, após três anos cultivo das plantas de cobertura ocorreu incremento e continuação na manutenção do teor de N foliar da soja.

O conteúdo de N foliar na cultura da soja com o decorrer dos anos de cultivo, provavelmente resultou da melhoria do pH e da troca de cátions nas camadas de solos uma vez que permitiu o sistema radicular explorar de forma mais expressiva o perfil de solo e converter mais N.

Para o teor de P foliar da cultura da soja em função da implantação de plantas de cobertura cultivadas no inverno em diferentes anos de cultivo a Tabela 30 (apêndice A) mostra que não houve interação entre ausência e presença de gesso e as plantas de cobertura. Na avaliação do desdobramento entre os anos, é verificado que o grupo dos anos 2018 e 2019 houve maiores teores de P em relação a 2017 (Tabela 11), porém esse comportamento é semelhante entre si. Esse efeito de melhor absorção de P pela cultura da soja para as plantas de cobertura provavelmente seja originado de maior aproveitamento da disponibilidade de P proveniente do adubo mineral.

Entretanto, a disponibilidade de P mineralizado das plantas de cobertura para a cultura subsequente, em razão da dinâmica do nutriente, difere do P fornecido pelo adubo mineral. Isso ocorreu porque a forma do P no tecido das plantas apresenta disponibilidade que depende da decomposição e da mineralização do material orgânico.

Com relação aos teores de K, houve aumento gradual com o passar dos anos de cultivo (Tabela 11). A constatação é que os resultados inferiores em 2017 resultam de uma menor liberação de K em razão da quantidade de cultivos, uma vez que, com o decorrer dos anos, os aumentos de K no tecido foliar da soja foram gradativos em virtude da palhada remanescente.

Entre os anos, em 2017, demonstraram teor de K no tecido foliar da soja menor em comparação com o ano 2018. O maior teor de K em tecido foliar da cultura da soja ocorreu com a continuação dos cultivos em 2019.

O aumento do teor de potássio no tecido foliar da soja por meio dos tratamentos resulta da liberação de K do tecido vegetal, não é componente estrutural na planta, portanto, possui liberação rápida após a senescência das plantas. Isso porque potássio está presente em altas concentrações no citoplasma e no floema, é utilizado na regulação do potencial osmótico, e permanece na forma iônica em todo o vegetal (BURKE et al., 2017).

Os menores teores de Ca no tecido foliar da soja foram observados no ano de 2017. Sendo que nos anos subsequentes os teores foram semelhantes (Tabela

11). Este comportamento ocorreu provavelmente pela ausência de palhada de plantas de cobertura em 2017, resultando em menor ciclagem de nutrientes, para posterior disponibilidade e suprimento do teor de Ca no tecido foliar da soja do primeiro ano de cultivo.

Para o S, houve aumento nos teores foliares da cultura da soja no segundo ano de cultivo (Tabela 11). No terceiro ano de cultivo, 2019, todas as plantas de cobertura proporcionaram teor de S menores no tecido foliar da cultura da soja, ao ser comparados aos demais períodos testados.

Tal resultado indica a mobilização do S no solo, a reciclagem e disponibilização do nutriente por meio das plantas de cobertura, além do forte aproveitamento do S pela cultura da soja.

Na tabela 12 é apresentado o teor foliar de S na cultura da soja em razão do cultivo de plantas de cobertura de inverno na presença e ausência de gesso agrícola e em distintos períodos de cultivo.

Na presença de gesso, em todos os tratamentos com utilização de plantas de cobertura houve aumento nos teores de S na folha da cultura da soja. Isso resulta do teor de S na composição do gesso agrícola (18% de S), além da reciclagem das plantas de cobertura (KOVAR; GRANT, 2011).

Entre as plantas de cobertura, a braquiária (U), entre as plantas de cobertura e na ausência de gesso, proporcionou maior teor de S no tecido foliar da cultura da soja. De outra maneira, na aplicação de gesso e entre o grupo das plantas (P), (Z) e (U), ocorreram aumento nos teores de S na folha da cultura da soja (Tabela 12).

As gramíneas acumulam elevadas quantidades de massa de matéria verde, mesmo em condições de baixa fertilidade do solo, com alta densidade radicular, com favorecimento a atividade microbiana no solo, diminuição de problemas fitossanitários com decomposição relativamente maior, além de maiores taxas de mineralização e maior disponibilização de nutrientes para próximos cultivos (BARRADAS, 2010).

Tabela 12 – Teor foliar de S cultura da soja em função da implantação de plantas de cobertura cultivadas no inverno sob presença e ausência de gesso agrícola. Corbélia-PR, 2021.

Tratamentos	Gessagem	
	Ausência	Presença
Teor foliar de S g kg <sup>-1</sup>		
(CU)	1,99 Eb	2,66 Ba
(CP)	2,13 Db	2,61 Ca
(P)	2,50 Ab	2,80 Aa
(J)	2,24 Cb	2,74 Ba
(S)	2,27 Cb	2,73 Ba
(O)	2,01 Eb	2,54 Ca
(Z)	2,41 Bb	2,80 Aa
(U)	2,58 Ab	3,00 Aa
(A)	2,28 Cb	2,59 Ca

\*Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

(CU) *Crotalaria juncea* (L.) + *Urochloa ruziziensis*, – (CP) *Crotalaria juncea* (L.) + *Pennisetum glaucum* (L.) – (P) *Pennisetum glaucum* (L.) – (J) *Crotalaria juncea* (L.) – (S) *Crotalaria spectabilis* – (O) *Crotalaria ochroleuca* – (Z) *Zea mays* (L.) – (U) *Urochloa ruziziensis* – (A) Ausência de cobertura no Inverno.

A avaliação da exportação de N, com a planta de cobertura (S) obteve a maior exportação de deste nutriente com um somatório de 911,05 kg de N exportados nos três anos de condução do experimento (Tabela 13).

Na tabela 20, é possível evidenciar que esta planta de cobertura apresentou uma classe de rendimento de grãos nos três anos de condução do experimento que só foi inferior ao cultivo com (U) na entressafra.

A exportação de N leva em consideração a quantidade N exportada pela cultura da soja, a quantidade de N nos grãos multiplicados pela produtividade da cultura. A cultura da soja possui alta concentração de proteínas nos grãos e em resultado o N possui a maior exportação em comparação com outros nutrientes. Apesar dos fertilizantes utilizados para a cultura da soja possuírem N em sua composição (item 4.2.3) a fertilização química deste nutriente é desnecessária em razão da simbiose entre a soja e as bactérias do gênero *Bradyrhizobium* (EMBRAPA, 2011). A *Crotalaria spectabilis* é uma espécie conhecida por aumentar significativamente a produtividade da soja em comparação com outras espécies de cobertura, apesar de uma baixa produção de massa seca (TANAKA et al., 1992).

Tabela 13 – Exportação de N cultura da soja em função da implantação de plantas de cobertura cultivadas no inverno sob presença e ausência de gesso agrícola e em diferentes anos de cultivo. Corbélia-PR, 2021.

Tratamentos	Gessagem		Anos		
	Ausência	Presença	2017	2018	2019
Exportação de N kg ha <sup>-1</sup>					
(CU)	288,71 Cb	293,25 Ba	234,98 Bc	293,78 Cb	344,17 Ba
(CP)	293,16 Ba	291,85 Ba	229,38 Bc	301,99 Bb	346,15 Ba
(P)	276,89 Da	277,41 Ca	249,17 Ac	268,39 Cb	313,88 Ca
(J)	285,66 Ca	270,35 Db	246,20 Ac	271,71 Cb	316,11 Ca
(S)	301,92 Aa	305,44 Aa	224,87 Bc	328,77 Ab	357,41 Aa
(O)	270,34 Eb	275,94 Ca	229,70 Bc	273,68 Cb	316,04 Ca
(Z)	267,47 Ea	266,45 Ea	228,86 Bc	260,14 Cb	311,89 Ca
(U)	273,25 Da	262,71 Eb	243,34 Ac	273,27 Cb	287,31 Ca
(A)	233,95 Fa	238,56 Fa	235,87 Ba	237,50 Da	235,40 Da

\*Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

(CU) *Crotalaria juncea* (L.) + *Urochloa ruziziensis*, – (CP) *Crotalaria juncea* (L.) + *Pennisetum glaucum* (L.) – (P) *Pennisetum glaucum* (L.) – (J) *Crotalaria juncea* (L.) – (S) *Crotalaria spectabilis* – (O) *Crotalaria ochroleuca* – (Z) *Zea mays* (L.) – (U) *Urochloa ruziziensis* – (A) Ausência de cobertura no Inverno.

As plantas da família *Fabaceae* por apresentarem o processo de fixação biológica, apresentarão maior ciclagem de N ao sistema de cultivo. Esta simbiose entre a bactéria-planta é conhecido como o maior sistema simbiótico natural graças a eficiência na fixação de N<sub>2</sub>, com alto impacto positivo para a agricultura por permitir o cultivo da cultura da soja sem completção de fertilização mineral nitrogenada (CANTARELLA, 2007).

Com exceção a ausência de cobertura do solo (A), todas as plantas de cobertura aumentaram a exportação de N, com o aumento dos anos de cultivo, sendo estas pertencentes a um mesmo agrupamento. A matéria orgânica além de ser fonte de N aos cultivos, possui essencial papel para qualidade física e biológica do solo, à qual resulta e maior produtividade e consequente aumento na extração dos nutrientes do solo (TAVARES FILHO et al., 2010).

Na presença de gessagem o grupo das plantas (J) e (U) não apresentaram maior extração de N.

Para a exportação de P, com o aumento nos anos de cultivo houve maior extração deste nutriente, entretanto, é o nutriente com menor exportação em comparação com os demais nutrientes avaliados no experimento (Tabela 14).

Tabela 14 – Exportação de P cultura da soja em função da implantação de plantas de cobertura cultivadas no inverno sob presença e ausência de agrícola e em diferentes anos de cultivo. Corbélia-PR, 2021.

Tratamentos	Gessagem		Anos		
	Ausência	Presença	2017	2018	2019
Exportação de P kg ha <sup>-1</sup>					
(CU)	27,62 Ba	27,67 Ba	21,28 Ac	29,24 Bb	32,43 Ba
(CP)	26,97 Ca	26,98 Ca	20,91 Ac	28,82 Cb	31,20 Ba
(P)	27,02 Ca	26,79 Ca	24,46 Ac	26,90 Db	29,37 Ba
(J)	26,74 Ca	24,92 Eb	22,70 Ac	25,91 Db	28,95 Ca
(S)	25,46 Da	24,38 Fa	20,26 Ac	25,74 D b	28,32 Ca
(O)	24,82 Ea	25,60 Da	20,94 Ac	25,56 Db	29,13 Ba
(Z)	24,61 Ea	24,39 Fa	21,85 Ac	24,06 Eb	27,59 Da
(U)	30,23 Aa	30,49 Aa	20,74 Ac	32,40 Ab	37,94 Aa
(A)	22,71 Fa	22,68 Ga	21,53 Ac	23,11 Fb	23,44 Ea

\*Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

(CU) *Crotalaria juncea* (L.) + *Urochloa ruziziensis*, – (CP) *Crotalaria juncea* (L.) + *Pennisetum glaucum* (L.) – (P) *Pennisetum glaucum* (L.) – (J) *Crotalaria juncea* (L.) – (S) *Crotalaria spectabilis* – (O) *Crotalaria ochroleuca* – (Z) *Zea mays* (L.) – (U) *Urochloa ruziziensis* – (A) Ausência de cobertura no Inverno.

Tanto para N quanto para P, as extrações foram pouco impactadas no tratamento (A). De maneira geral, as ausências da adição de resíduos vegetais fazem com que a quantidade de material orgânico presente no solo seja insuficiente, diminuem a quantidade de micro-organismos do solo e conseqüentemente diminuem as simbioses que estes têm com as plantas (CRUCIOL; SORATTO, 2014). Para P principalmente em sistemas de cultivos onde não há aporte de palhada e material orgânico as associações entre raízes e fungos micorrízicos são comprometidos (SIQUEIRA; FRANCO, 1988).

É importante notar que com a cultura do milho (Z), apresentou menores exportações deste nutriente em comparação com os demais tratamentos. Este é um fato preocupante pois modelo de sucessão de cultivo mais adotado no Brasil, é o cultivo da cultura da soja no verão e milho segunda safra nos meses de fevereiro a julho, com pousio até o próximo cultivo de soja (ALVES NETO et al., 2016).

No primeiro ano de cultivo (2017), não houve diferenças para extração de P. Nos anos de cultivo de 2018 e 2019 o tratamento com maior extração de P foi o para

a braquiária (U), seguido do grupo das plantas de cobertura (CU) em 2018 e de (CU), e em 2019 das plantas (CU), (CP), (P) e (O).

Com exceção do tratamento (J) os outros tratamentos aumentaram a extração de P na presença de gessagem.

Para exportação de K, todos os tratamentos, com exceção do grupo com as plantas de cobertura (J) e (Z), (CU), (CP) e (P) aumentaram a extração na presença de gessagem. Para os anos todos os tratamentos, com exceção de (A) (Tabela 15).

Tabela 15 – Exportação de K cultura da soja em função da implantação de plantas de cobertura cultivadas no inverno sob presença e ausência de gesso agrícola e em diferentes anos de cultivo. Corbélia-PR, 2021.

Tratamentos	Gessagem		Anos		
	Ausência	Presença	2017	2018	2019
Exportação de k kg ha <sup>-1</sup>					
(CU)	112,11 Ba	111,58 Ba	85,60 Bc	111,24 Bb	138,69 Aa
(CP)	113,56 Ba	112,04 Ba	83,66 Cc	117,21 Bb	137,53 Aa
(P)	110,01 Ca	110,92 Ba	91,34 Ac	110,62 Bb	129,43 Ba
(J)	107,19 Da	103,42 Cb	89,95 Ab	112,61 Ba	113,35 Ca
(S)	104,41 Eb	106,14 Ca	84,78 Cc	113,42 Bb	117,62 Ba
(O)	108,17 Db	111,95 Ba	86,30 Bb	121,04 Aa	122,84 Ba
(Z)	98,83 Fa	97,72 Da	89,13 Ac	97,03 Cb	108,66 Ca
(U)	116,44 Ab	121,11 Aa	82,93 Cc	133,51 Ab	139,89 Aa
(A)	88,40 Gb	96,68 Da	87,73 Bc	99,53 Ca	90,36 Db

\*Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

(CU) *Crotalaria juncea* (L.) + *Urochloa ruziziensis*, – (CP) *Crotalaria juncea* (L.) + *Pennisetum glaucum* (L.) – (P) *Pennisetum glaucum* (L.) – (J) *Crotalaria juncea* (L.) – (S) *Crotalaria spectabilis* – (O) *Crotalaria ochroleuca* – (Z) *Zea mays* (L.) – (U) *Urochloa ruziziensis* – (A) Ausência de cobertura no Inverno.

As plantas de cobertura do grupo (CU), (CP), (P) e (Z) não demonstraram aumentos com presença de gesso. Isso ocorreu porque no ano anterior, 2018, foi realizado aplicação de gesso que mobilizou K para as camadas mais profundas do solo. Dessa forma, a aplicação de gesso de 2019 se equiparou com a ausência de gessagem.

Para as sucessões das plantas de coberturas avaliadas observa-se que na camada de 0-0,20 m o tratamento (U) apresentou maior valor de carbono orgânico no solo. Na camada de 0-,20 m e 0-0,40 m, as plantas de cobertura do grupo (CU), (CP) e (U) proporcionaram os maiores deste atributo no solo (Tabela 16).

Tabela 16 – Teor de carbono, fósforo e fósforo remanescente do solo em duas camadas em função da implantação de plantas de cobertura cultivadas no inverno sob presença e ausência de aplicação de gesso agrícola. Corbélia-PR, 2021.

Teor de carbono						
Profundidade(m)	0-0,20			0,20-0,40		
Gessagem	Média			Média		
Tratamentos	g dm <sup>-3</sup>					
(CU)	26,73	26,46	26,56 B	18,95	18,98	18,97 A
(CP)	26,13	26,42	26,28 B	19,07	18,37	18,72 A
(P)	25,39	25,97	25,68 C	17,46	17,45	17,46 B
(J)	24,66	24,25	24,45 C	16,53	16,58	16,55 B
(S)	24,51	24,53	24,52 C	16,42	16,78	16,60 B
(O)	24,09	24,88	26,48 B	16,85	16,83	16,84 B
(Z)	24,35	24,48	24,41 D	17,21	16,15	16,68 B
(U)	29,19	28,20	28,70 A	18,92	19,06	18,93 A
(A)	20,49	19,09	19,79 E	15,21	13,41	14,31 C
Média	25,06	24,92	24,99	17,40	17,07	17,24

Teor de fósforo						
Profundidade(m)	0-0,20			0,20-0,40		
Gessagem	Média			Média		
Tratamentos	g dm <sup>-3</sup>					
(CU)	7,61	7,61	7,79 A	2,66	2,67	2,67 A
(CP)	6,84	6,84	6,90 B	2,53	2,49	2,51 A
(P)	5,72	5,72	5,81 C	1,73	1,73	1,73 B
(J)	5,87	5,87	5,90 C	1,65	1,60	1,62 B
(S)	5,81	5,81	5,87 C	1,59	1,50	1,54 B
(O)	5,99	5,99	6,09 C	1,41	1,44	1,42 B
(Z)	6,34	6,34	6,46 B	1,33	1,37	1,35 C
(U)	7,65	7,65	7,87 A	2,69	2,72	2,70 A
(A)	5,03	5,03	4,83 D	1,50	1,14	1,32 C
Média	6,32	6,32	6,32	1,90	1,85	1,88

Teor de fósforo remanescente			
Profundidade(m)	0-0,20		
Gessagem	Média		
Tratamentos	g L <sup>-1</sup>		
(CU)	8,01	7,89	7,95 C
(CP)	7,18	10,19	8,68 B
(P)	9,54	8,30	8,92 A
(J)	9,93	7,26	8,60 B
(S)	10,88	8,91	9,90 A
(O)	6,82	7,31	7,06 C
(Z)	7,62	8,04	7,83 C
(U)	8,55	8,05	8,30 B
(A)	9,63	11,01	10,32 A
Média	8,68 A	8,55 B	8,62

\*Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

(CU) *Crotalaria juncea* (L.) + *Urochloa ruziziensis*, – (CP) *Crotalaria juncea* (L.) + *Pennisetum glaucum* (L.) – (P) *Pennisetum glaucum* (L.) – (J) *Crotalaria juncea* (L.) – (S) *Crotalaria spectabilis* – (O) *Crotalaria ochroleuca* – (Z) *Zea mays* (L.) – (U) *Urochloa ruziziensis* – (A) Ausência de cobertura no Inverno.

As aplicações de gesso não interferiram no teor de carbono do solo nas duas camadas avaliadas.

Para os níveis de fósforo as plantas de cobertura do grupo (CU) e (U) aumentaram os teores de P na camada de 0-0,20 m e na camada de 0,20-0,40 m as plantas do grupo (CU), (U) e (CP), causaram os maiores incrementos deste nutriente.

Normalmente nos solos brasileiros o P é o elemento que apresenta os maiores problemas de deficiência para as culturas e com maior fixação em Latossolos. (RAIJ, 2014). Com a utilização das plantas de cobertura além dos efeitos físicos do solo há a produção de matéria seca, com ciclagem de P que foi extraído de camadas profundas do solo e retorna a superfície além da produção de grande quantidade de ânions orgânicos nos grânulos dos fertilizantes, os quais, competem com a fração argila e reduz a fixação do nutriente no solo (BENITES et al., 2010).

Para o teor de P-remanescente, as análises foram realizadas somente na produtividade de 0-0,20 m. Os tratamentos que apresentaram os menores teores de P-remanescente foram os tratamentos do grupo (CU), (O) e (Z).

Quanto menor o teor de P remanescente, maior a capacidade tampão, ou seja, maior a adsorção de P (CESSA et al., 2010).

O P-remanescente apresenta estreita correlação com o fator capacidade e com a capacidade máxima de adsorção de fosfatos (ALVAREZ, et al., 2000).

Na tabela 17, são descritos os teores de K, Ca e Mg do solo nas camadas de 0-0,20 m e 0,20-0,40 m.

Para os teores de K na ausência de gessagem as plantas de cobertura (CP) e (U) apresentaram os maiores teores deste nutriente. Para presença de gesso o agrupamento das plantas de cobertura (U), (CP), (CU) e (Z) foram superiores às demais plantas de cobertura.

Para a camada de 0-0,20 m o cultivo de milho (P) apresentou maiores teores de K nas duas camadas amostradas. Em presença de gesso as plantas de cobertura (CU), (CP) e (P), obtiveram resultados superiores plantas de cobertura e pousio.

Para os teores de Ca em presença de gessagem, todos os tratamentos apresentaram aumento deste nutriente nas duas camadas amostradas, com destaque para as plantas de cobertura (U), (CU) e (CP), nas duas camadas.

Tabela 17 – Teor de potássio, cálcio e magnésio do solo em duas profundidades em função da implantação de plantas de cobertura cultivadas no inverno sob presença e ausência de aplicação de gesso agrícola. Corbélia-PR, 2021.

Teor de potássio						
Profundidade(m)	0-0,20			0,20-0,40		
Gessagem	Ausência	Presença	Média	Ausência	Presença	Média
Tratamentos	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>					
(CU)	0,10	0,41	0,21	0,28 Ba	0,28 Aa	0,28
(CP)	0,43	0,42	0,42	0,27 Bb	0,28 Aa	0,27
(P)	0,39	0,39	0,39	0,30 Aa	0,29 Ab	0,29
(J)	0,36	0,36	0,36	0,27 Ba	0,26 Ba	0,26
(S)	0,35	0,36	0,36	0,26 Bb	0,27 Ba	0,26
(O)	0,36	0,37	0,36	0,26 Ba	0,26 Ba	0,26
(Z)	0,39	0,40	0,40	0,27 Ba	0,25 Bb	0,26
(U)	0,41	0,42	0,41	0,25 Cb	0,26 Ba	0,26
(A)	0,34	0,31	0,32	0,24 Ca	0,23 Cb	0,24
Média	0,34 b	0,38 a	0,36	0,27	0,26	0,26
Teor de cálcio						
Profundidade(m)	0-0,20			0,20-0,40		
Gessagem	Ausência	Presença	Média	Ausência	Presença	Média
Tratamentos	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>					
(CU)	4,38 Bb	7,23 Aa	5,81	1,86 Bb	3,24 Aa	2,58
(CP)	4,17 Bb	6,38 Ba	5,27	2,07 Ab	3,08 Aa	2,60
(P)	3,91 Bb	4,92 Ca	4,42	1,80 Bb	2,16 Ba	1,98
(J)	3,09 Cb	4,95 Ca	4,02	1,87 Bb	2,20 Ba	2,03
(S)	3,46 Bb	4,97 Ca	4,21	1,93 Bb	2,55 Ba	2,24
(O)	3,16 Cb	5,43 Ca	4,30	1,22 Cb	2,76 Ba	1,99
(Z)	3,97 Bb	4,98 Ca	4,47	1,96 Bb	2,66 Ba	2,31
(U)	5,20 Ab	8,62 Aa	6,91	2,20 Ab	3,00 Aa	2,58
(A)	4,53 Bb	3,87 Da	4,20	1,07 Ca	0,73 Cb	0,90
Média	3,99	5,71	4,85	1,78	2,49	2,14
Teor de magnésio						
Profundidade(m)	0-0,20			0,20-0,40		
Gessagem	Ausência	Presença	Média	Ausência	Presença	Média
Tratamentos	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>					
(CU)	1,90 Db	2,15 Ba	2,03	1,95 Aa	1,17 Bb	1,56
(CP)	2,01 Ba	2,00 Da	2,01	1,43 Ca	1,25 Ab	1,34
(P)	2,00 Bb	2,09 Ca	2,05	1,47 Ca	1,24 Ab	1,35
(J)	2,10 Ab	2,21 Ba	2,16	1,42 Ca	1,18 Bb	1,30
(S)	1,96 Cb	2,18 Ba	2,07	1,53 Ca	1,23 Ab	1,38
(O)	2,09 Aa	2,07 Ca	2,08	1,74 Ba	1,19 Bb	1,46
(Z)	1,95 Cb	2,26 Ba	2,11	1,46 Ca	1,20 Bb	1,33
(U)	2,09 Ab	2,38 Aa	2,24	1,43 Ca	1,21 Ab	1,32
(A)	1,87 Da	1,92 Da	1,89	1,01 Da	1,06 Ba	1,04
Média	2,00	2,14	2,07	1,49	1,19	1,34

\*Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

(CU) *Crotalaria juncea* (L.) + *Urochloa ruziziensis*, – (CP) *Crotalaria juncea* (L.) + *Pennisetum glaucum* (L.) – (P) *Pennisetum glaucum* (L.) – (J) *Crotalaria juncea* (L.) – (S) *Crotalaria spectabilis* – (O) *Crotalaria ochroleuca* – (Z) *Zea mays* (L.) – (U) *Urochloa ruziziensis* – (A) Ausência de cobertura no Inverno.

É importante ressaltar que na ausência de plantas de cobertura (A), na camada de 0,20 – 0,40 m, a presença de gesso não proporcionou aumento de Ca, em comparação com a ausência na aplicação deste nutriente. A ausência de galerias deixadas pelas raízes dos cultivos, pode ter ocasionado uma camada compactada que ficou inalterada mesmo com a gessagem.

Miyazawa et al. (2000) ressaltam que além das galerias deixadas pelas raízes, os ácidos húmicos e fúlvicos, principais componentes da matéria orgânica estabilizada no solo, apresentam alta densidade de grupos carboxílicos e fenólicos, que sofrem hidrólise com o aumento do pH, ao gerar cargas negativas, as quais, podem levar cátions como  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  para as camadas mais profundas do solo.

Estes ligantes orgânicos (L) complexam o  $\text{Ca}^{2+}$  trocável do solo na camada superficial, formam complexos  $\text{CaL}^0$  ou  $\text{CaL}^-$ . A alteração da carga de  $\text{Ca}^{2+}$  facilita a mobilidade no solo. Na camada subsuperficial, o cálcio dos complexos Ca-orgânicos é deslocado pelo alumínio (Al), porque os íons de  $\text{Al}^{3+}$  formam complexos mais estáveis do que  $\text{Ca}^{2+}$ , diminui a acidez potencial e aumenta  $\text{Ca}^{2+}$  trocável. O mesmo pode ocorrer com magnésio (CAIRES, 2014).

As duas alternativas mais utilizadas para romper a camada com impedimentos físicos e químicos para o aprofundamento das raízes, são a gessagem e a descompactação mecânica (RAIJ, 2014).

O gesso apresenta dissolução de  $2,5 \text{ g L}^{-1}$  em água condição que permite a melhoria meio do radicular mediante a distribuição dos nutrientes no perfil do solo, auxilia na precipitação alumínio e ainda faz o carreamento do calcário (ZOCA; PENN, 2017).

Tanto a soma de bases, como a saturação de bases foram alteradas com a presença e ausência de gessagem nas duas camadas amostradas.

Embora o gesso agrícola (sulfato de cálcio -  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) não seja corretivo da acidez do solo, a gessagem reduz a toxidez de  $\text{Al}^{3+}$  às plantas, com fornecimento de Ca e S em camada. É necessário a aplicação de  $3 \text{ t ha}^{-1}$  para aumentar  $1 \text{ cmolc dm}^{-3}$  de  $\text{Ca}^{2+}$  (SBCS, 2004). Além disso, outra característica da gessagem é que promove o carreamento de outras bases, como Mg e K em subsuperfície (RAMPIM et al., 2011).

Tabela 18 – Capacidade de troca de cátions, soma de bases e saturação por bases do solo em duas camadas em função da implantação de plantas de cobertura cultivadas no inverno sob presença e ausência de aplicação de gesso agrícola e em diferentes anos de cultivo. Corbélia-PR, 2021.

Capacidade de troca de cátions						
Profundidade(m)	0-0,20			0,20-0,40		
Gessagem	Ausência	Presença	Média	Ausência	Presença	Média
Tratamentos	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>					
(CU)	12,15 Bb	12,34 Ba	12,25	12,43 Aa	11,64 Bb	12,04
(CP)	13,29 Bb	13,45 Ba	13,37	12,15 Aa	12,44 Aa	12,29
(P)	13,73 Bb	13,88 Ba	13,80	12,61 Aa	12,35 Aa	12,48
(J)	14,26 Aa	13,33 Bb	13,80	12,73 Aa	11,47 Bb	12,10
(S)	14,89 Aa	14,25 Ab	14,57	12,39 Aa	12,18 Aa	12,28
(O)	14,40 Ab	15,17 Aa	14,78	12,73 Aa	12,61 Aa	12,67
(Z)	13,47 Bb	14,01 Ba	13,74	12,09 Aa	10,74 Cb	11,41
(U)	12,88 Ca	12,88 Ca	12,88	11,83 Ba	11,36 Ba	11,59
(A)	13,83 Aa	13,84 Ba	13,83	11,34 Ba	11,36 Ba	11,35
Média	13,66	13,68	13,67	12,26	11,79	12,02
Soma de bases						
Profundidade(m)	0-0,20			0,20-0,40		
Gessagem	Ausência	Presença	Média	Ausência	Presença	Média
Tratamentos	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>					
(CU)	4,78 Aa	4,16 Ab	4,47	4,16 A	4,78 A	4,47 A
(CP)	4,61 Aa	3,87 Bb	4,24	3,87 B	4,61 A	4,24 A
(P)	3,74 Ba	3,59 Bb	3,67	3,59 B	3,74 B	3,67 B
(J)	3,67 Ba	3,60 Ba	3,64	3,60 B	3,67 B	3,64 B
(S)	4,07 Ba	3,77 Bb	3,92	3,77 B	4,07 A	3,92 B
(O)	4,18 Aa	3,25 Cb	3,72	3,25 B	4,18 A	3,72 B
(Z)	4,18 Aa	3,68 Bb	3,91	3,68 B	4,14 A	3,91 B
(U)	4,49 Aa	3,91 Bb	4,20	3,91 B	4,49 A	4,20 A
(A)	2,04 Cb	2,33 Da	2,19	2,33 C	2,04 C	2,19 C
Média	3,97	3,57	3,77	3,57 B	20,97 A	3,77
Saturação por bases						
Profundidade(m)	0-0,20			0,20-0,40		
Gessagem	Ausência	Presença	Média	Ausência	Presença	Média
Tratamentos	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>					
(CU)	54,70 Bb	78,12 Ba	66,41	33,04 A	42,37 A	37,70
(CP)	51,19 Bb	67,46 Ba	59,33	31,79 A	36,92 B	34,36
(P)	46,67 Cb	53,11 Ca	49,89	28,86 B	30,17 C	29,52
(J)	40,31 Cb	56,09 Ca	48,20	28,34 B	31,45 C	29,90
(S)	40,63 Cb	51,53 Ca	46,08	30,43 A	33,58 B	32,00
(O)	38,91 Db	51,72 Ca	45,32	25,48 B	33,09 B	29,29
(Z)	49,37 Bb	52,24 Ca	50,81	30,37 A	38,40 B	34,39
(U)	61,83 Ab	88,45 Aa	75,14	32,83 A	39,33 B	36,08
(A)	49,34 Ca	45,58 Da	47,46	20,39 C	18,00 D	19,19
Média	48,11	60,48	54,29	29,05	33,70	31,38

\*Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

(CU) *Crotalaria juncea* (L.) + *Urochloa ruziziensis*, – (CP) *Crotalaria juncea* (L.) + *Pennisetum glaucum* (L.) – (P) *Pennisetum glaucum* (L.) – (J) *Crotalaria juncea* (L.) – (S) *Crotalaria spectabilis* – (O) *Crotalaria ochroleuca* – (Z) *Zea mays* (L.) – (U) *Urochloa ruziziensis* – (A) Ausência de cobertura no Inverno.

Segundo PAVAN et al. (1985) e RAIJ et al. (1982), a matéria orgânica pode representar até 80% da capacidade de troca em solos ácidos do Paraná e de São Paulo. Devido à pobreza em bases do material de origem de solos ácidos e às condições climáticas (temperatura e precipitação elevadas), favoráveis ao processo de intemperismo e lixiviação, estes solos apresentam baixa saturação por cátions básicos (Ca, Mg e K) e, conseqüentemente, um predomínio de H e Al nas cargas negativas do solo. Com a aplicação de calcário, grande parte do H e Al podem ser neutralizados e gerar novas cargas que são então ocupadas por Ca e Mg. No entanto, o uso agrícola prolongado, ao utilizar o revolvimento do solo e a incorporação dos resíduos vegetais, geram condições favoráveis à degradação da matéria orgânica e reduzir drasticamente seu potencial produtivo.

No sistema de plantio direto consolidado onde há aporte de resíduos vegetais constantemente nos horizontes superficiais, há aumento nos teores de carbono orgânico que irão interagir com óxidos de Fe e Al e diminuem a adsorção de P por influenciar os sítios de fixação. Os ácidos orgânicos recobrem a superfície dos óxidos ou pela formação de compostos na solução do solo, como o ácido acético e málico e aumentam o aproveitamento da eficiência da fertilização fosfatada (NZIGUHEBA et al., 1998).

Na tabela 19 e com os dados já analisados de exportação de nutrientes, é possível observar que os tratamentos com maiores rendimentos proporcionaram em maior exportação de N e P, o grupo dos tratamentos (U) e (CP).

A única cultura a ser fertilizada com adubo mineral no cultivo de inverno, foi o milho segunda safra. O presente trabalho teve como objetivo simular o que ocorre na região oeste do Paraná onde o agricultor fertiliza a cultura do milho segunda safra e não fertiliza as culturas de cobertura. Mesmo com esse aporte de nutrientes no solo nesta modalidade de cultivo, o grupo das plantas de cobertura com (U), (CU), (CP) apresentaram altíssima eficiência no uso de N.

A eficiência é a razão entre a produção de grãos e a quantidade de nutrientes aplicados. Os maiores rendimentos de grãos acumulados na sucessão com (U) refletiram na maior eficiência de N e K.

Tabela 19 – Balanço e eficiência de uso de N, P e K após o terceiro cultivo em função da implantação de plantas de cobertura cultivadas no inverno sob presença e ausência de aplicação de gesso agrícola

Eficiência de N no solo				Balanço do Uso do N			
kg kg <sup>-1</sup>				kg ha <sup>-1</sup>			
Tratamentos	Sem Gesso	Com Gesso	Média	Tratamentos	Sem Gesso	Com Gesso	Média
(CU)	341,21	337,24	339,22 B	(CU)	-816,45	-831,79	-824,12 C
(CP)	337,70	335,97	336,84 B	(CP)	-824,84	-826,92	-825,88 D
(P)	332,88	332,03	332,45 C	(P)	-796,80	-793,97	-795,39 B
(J)	346,68	332,52	339,60 B	(J)	-789,10	-825,57	-807,33 C
(S)	327,28	328,32	327,80 C	(S)	-743,67	-744,73	-744,20 B
(O)	330,31	336,40	333,36 B	(O)	-786,17	-771,82	-779,00 B
(Z)	202,54	202,91	202,72 E	(Z)	-627,10	-638,56	-632,83 A
(U)	349,28	349,27	349,28 A	(U)	-872,63	-867,78	-870,20 D
(A)	303,91	304,06	303,99 D	(A)	-644,36	-641,91	-643,14 A
Média	319,09	317,64	318,36	Média	-766,79	-771,45	-769,12

Eficiência de P no solo				Balanço do Uso do P			
kg kg <sup>-1</sup>				kg ha <sup>-1</sup>			
Tratamentos	Sem Gesso	Com Gesso	Média	Tratamentos	Sem Gesso	Com Gesso	Média
(CU)	139,42	137,80	138,61 B	(CU)	13,19	6,27	9,73 C
(CP)	137,98	137,28	137,63 B	(CP)	15,26	9,66	12,46 C
(P)	136,01	135,67	135,84 C	(P)	18,54	14,41	16,48 C
(J)	141,65	135,87	138,76 B	(J)	21,55	19,82	20,68 B
(S)	133,73	134,15	133,94 C	(S)	21,56	18,54	20,05 B
(O)	134,96	137,46	136,21 B	(O)	23,94	18,52	21,23 B
(Z)	159,58	159,87	159,73 A	(Z)	113,27	108,52	110,90 A
(U)	142,72	142,71	142,72 B	(U)	4,71	-2,62	1,04 D
(A)	124,18	124,24	124,21 D	(A)	31,46	24,67	28,06 B
Média	138,91	138,34	138,63	Média	29,28	24,20	26,74

Eficiência de K no solo				Balanço do Uso do K			
kg kg <sup>-1</sup>				kg ha <sup>-1</sup>			
Tratamentos	Sem Gesso	Com Gesso	Média	Tratamentos	Sem Gesso	Com Gesso	Média
(CU)	128,58	130,09	129,34 B	(CU)	-395,35	-344,44	-369,89
(CP)	128,10	128,76	128,43 B	(CP)	-400,72	-367,52	-384,12
(P)	126,59	126,92	126,76 B	(P)	-383,98	-342,13	-363,06
(J)	126,78	132,18	129,48 B	(J)	-353,65	-318,19	-335,92
(S)	125,18	124,78	124,98 B	(S)	-360,46	-310,01	-335,23
(O)	128,26	125,94	127,10 B	(O)	-379,63	-321,24	-350,43
(Z)	136,76	134,51	134,63 A	(Z)	-231,48	-189,66	-210,57
(U)	133,17	133,17	133,17 A	(U)	-423,66	-368,66	-396,16
(A)	115,93	115,88	115,90 C	(A)	-309,40	-246,83	-278,11
Média	127,71	128,03	127,75	Média	-359,81	-312,08	-335,94

\*Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

(CU) *Crotalaria juncea* (L.) + *Urochloa ruziziensis*, – (CP) *Crotalaria juncea* (L.) + *Pennisetum glaucum* (L.) – (P) *Pennisetum glaucum* (L.) – (J) *Crotalaria juncea* (L.) – (S) *Crotalaria spectabilis* – (O) *Crotalaria ochroleuca* – (Z) *Zea mays* (L.) – (U) *Urochloa ruziziensis* – (A) Ausência de cobertura no Inverno.

Vitti e Domeniconi (2014) corroboram com os dados do presente trabalho, pois, o manejo da qualidade química do solo, não é somente elevar os nutrientes no solo através da adubação mineral, adubação orgânica e calagem, aos teores críticos referenciados para cada região. Os autores salientam que, primeiramente, este manejo se inicia com adoção de práticas que diminuam as perdas de fertilizantes, com sistemas conservacionistas, construção de terraços, adequação de fontes e parcelamento de nutrientes e agricultura de precisão.

Na tabela 20, é possível identificar que o maior rendimento de grãos de soja nos três anos de cultivo do experimento foi após cultivo de braquiária (U), o qual, foi o único tratamento que apresentou mais de 15.000 por hectare de produção.

Tabela 20 – Rendimento de grãos no somatório dos três cultivos em função da implantação de plantas de cobertura cultivadas no inverno sob presença e ausência de aplicação de gesso agrícola e em diferentes anos de cultivo. Corbélia-PR, 2021.

Gessagem	Rendimento de grãos		
	Ausência	Presença	Média
Tratamentos	kg ha <sup>-1</sup>		
(CU)	14505,48	14558,30	14531,89 B
(CP)	14390,93	14509,63	14450,28 B
(P)	13753,07	13953,89	13853,48 C
(J)	13907,60	14195,48	14051,54 B
(S)	14045,80	14063,35	14054,58 B
(O)	13820,85	13986,83	13903,84 C
(Z)	13739,82	13961,24	13850,53 C
(U)	15087,99	14990,99	15039,49 A
(A)	13047,55	12944,15	12995,85 D
Média	14033,23	14129,32	14081,28

\*Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

(CU) *Crotalaria juncea* (L.) + *Urochloa ruziziensis*, – (CP) *Crotalaria juncea* (L.) + *Pennisetum glaucum* (L.) – (P) *Pennisetum glaucum* (L.) – (J) *Crotalaria juncea* (L.) – (S) *Crotalaria spectabilis* – (O) *Crotalaria ochroleuca* – (Z) *Zea mays* (L.) – (U) *Urochloa ruziziensis* – (A) Ausência de cobertura no Inverno.

Pode-se notar que a produtividade da cultura da soja foi alta no presente experimento. A produtividade média de soja, obteve o pico máximo no ano agrícola

de 2010/2011, com 3.115 kg por hectare (CONAB, 2017). Para Ventimiglia et al. (1999) a cultura da soja possui potencial produtivo de 10.000 kg por hectare. Desta forma, a produtividade média nacional de soja, está longe de alcançar o máximo potencial produtivo.

Para conseguir esta produtividade média atual, o Brasil ocupa o quarto lugar no consumo mundial de fertilizantes, atrás de China, Índia e EUA, com consumo nacional no ano de 2015 abrangeu um total de 29.694.881 toneladas de fertilizantes, dos quais não se obtém eficiência esperada (IPNI, 2017).

A produção de matéria seca remanescente, foi maior no ano de 2019, no tratamento ausência de plantas de cobertura aos 0, 30, 60, 90 e 120 dias após a dessecação química (DAD), com exceção das plantas de cobertura (S) e (U) aos 60 DAD, das plantas de cobertura (P) e (U) aos 90 DAD e o milho (P) aos 120 DAD (Tabela 21).

Tabela 21 – Matéria seca remanescente em função da implantação de plantas de cobertura cultivadas no inverno em diferentes anos de cultivo. Corbélia-PR, 2021.

Tratamentos		Massa seca remanescente kg ha <sup>-1</sup>				
		Dias após a dessecação química				
		0	30	60	90	120
(CU)	2018	12050,00 Aa	9282,50 Aa	7827,50 Aa	7260,00 Aa	5902,50 Aa
	2019	9151,25 Ab	7316,25 Ab	6385,00 Ab	5807,75 Ab	4996,25 Ab
(CP)	2018	9126,25 Ba	7308,75 Ba	5746,25 Ba	5571,25 Ba	5416,25 Aa
	2019	8450,50 Ab	6096,50 Bb	4920,00 Bb	4178,50 Bb	3604,25 Bb
(P)	2018	10931,25 Aa	7470,00 Ba	5081,25 Ba	4631,25 Ca	4310,00 Ba
	2019	6417,50 Bb	5496,00 Cb	4667,25 Bb	4211,50 Ba	4034,75 Ba
(J)	2018	8958,75 Ba	6733,75 Ba	5578,75 Ba	5153,75 Ba	3710,00 Ca
	2019	5374,00 Cb	4493,25 Cb	4111,75 Bb	3257,25 Cb	2615,00 Cb
(S)	2018	4202,50 Da	3833,75 Ca	2945,00 Ca	2643,75 Da	1788,75 Eb
	2019	3390,00 Cb	3017,50 Db	2729,50 Ca	2109,75 Cb	2031,00 Ca
(O)	2018	4162,50 Da	3406,25 Ca	2858,75 Ca	2606,25 Da	2076,25 Da
	2019	3808,50 b	2707,25 Db	2123,50 Cb	1711,00 Db	1414,25 Db
(Z)	2018	6687,50 Ca	6265,00 Ba	5873,75 Ba	4897,50 Ca	4557,50 Ba
	2019	6229,25 Bb	4868,25 Cb	4241,25 Bb	3458,25 Cb	2952,75 Cb
(U)	2018	11910,00 Aa	9716,25 Aa	6981,25 Aa	6630,00 Aa	5936,25 Aa
	2019	10523,50 Ab	8617,75 Ab	6724,5 Aa	6405,75 Aa	5125,00 Ab
(A)	2018	0,00 Ea	0,00 Da	0,00 Da	0,00 Ea	0,00 Fa
	2019	0,00 Da	0,00 Ea	0,00 Ca	0,00 Ea	0,00 Ea

\*Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

(CU) *Crotalaria juncea* (L.) + *Urochloa ruziziensis*, – (CP) *Crotalaria juncea* (L.) + *Pennisetum glaucum* (L.) – (P) *Pennisetum glaucum* (L.) – (J) *Crotalaria juncea* (L.) – (S) *Crotalaria spectabilis* – (O) *Crotalaria ochroleuca* – (Z) *Zea mays* (L.) – (U) *Urochloa ruziziensis* – (A) Ausência de cobertura no Inverno.

A disponibilidade hídrica é o fator principal para o crescimento das culturas de cobertura, pois, favorece o aumento e acúmulo de biomassa vegetal e da biomassa microbiana, que por sua vez, interferem diretamente na produção de matéria seca das plantas de cobertura (FAGERIA 2012; COSTA et al., 2013; BATISTA et al., 2014).

A cobertura do solo, não foi maior no ano de 2018, para as plantas de cobertura (CU), (S), (Z), (U) aos 0 DAD, nas plantas de cobertura (CU) e (U), aos 30 DAD, nas plantas de cobertura (S), (Z) e (U) aos 60 DAD, nas plantas de cobertura (S), (U) e e ausência de plantas de cobertura (A) os 90 DAD e para braquiária (U) aos 120 DAD (Tabela 22).

Na ausência de cultivos (A) no ano de 2019, com a menor pluviometria, houve sobra dos resíduos culturais da cultura da soja, ao resultar em pequena taxa de cobertura do solo em comparação aos demais grupos avaliados no experimento.

Tabela 22 – Matéria seca remanescente em função da implantação de plantas de cobertura cultivadas no inverno em diferentes anos de cultivo. Corbélia-PR, 2021.

Tratamentos		Cobertura de solo (%)				
		Dias após a dessecação química				
		0	30	60	90	120
(CU)	2018	97,50 Aa	95,00 Aa	95,00 Aa	90,00 Aa	90,00 Aa
	2019	98,75 Aa	96,25 Aa	87,50 Bb	83,75 Bb	78,75 Bb
(CP)	2018	100,00 Aa	93,75 Aa	90,00 Aa	83,75 Aa	81,25 Ba
	2019	88,75 Bb	83,75 Bb	78,75 Cb	72,50 Bb	68,75 Bb
(P)	2018	93,75 Aa	86,25 Ba	85,00 Ba	81,25 Aa	75,00 Ca
	2019	75,00 Bb	73,75 Bb	72,50 Cb	68,75 Cb	65,00 Bb
(J)	2018	93,75 Aa	81,25 Ba	81,25 Ba	71,25 Ba	70,00 Ca
	2019	77,50 Bb	72,50 Bb	67,50 Cb	62,50 Cb	55,00 Bb
(S)	2018	67,50 Ba	67,50 Ca	47,50 Ca	46,25 Ca	47,50 Da
	2019	65,00 Ca	58,75 Cb	50,00 Da	47,50 Da	38,75 Cb
(O)	2018	87,50 Ba	75,00 Ca	68,75 Ca	61,25 Ba	56,25 Da
	2019	58,75 Cb	51,25 Cb	47,50 Db	40,00 Db	40,00 Cb
(Z)	2018	95,00 Aa	81,25 Ba	65,00 Ca	65,00 Ba	65,00 Da
	2019	91,25 Aa	78,75 Bb	63,75 Ca	58,75 Db	51,25 Bb
(U)	2018	100,00 Aa	100,00 Aa	98,75 Aa	96,25 Aa	92,50 Aa
	2019	100,00 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa	97,50 Aa	92,50 Aa
(A)	2018	0,00 Cb	0,00 Db	0,00 Da	0,00 Da	0,00 Ea
	2019	12,50 Da	11,25 Da	7,5 Da	6,25 Ea	3,75 Da

\*Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

(CU) *Crotalaria juncea* (L.) + *Urochloa ruziziensis*, – (CP) *Crotalaria juncea* (L.) + *Pennisetum glaucum* (L.) – (P) *Pennisetum glaucum* (L.) – (J) *Crotalaria juncea* (L.) – (S) *Crotalaria spectabilis* – (O) *Crotalaria ochroleuca* – (Z) *Zea mays* (L.) – (U) *Urochloa ruziziensis* – (A) Ausência de cobertura no Inverno.

A produção de massa seca e plantas de cobertura são proteções contra erosão e escoamento superficial, sendo estes dois grandes benefícios na utilização das plantas de cobertura. Além da erosão e escoamento superficial, há ainda, a preocupação em conscientizar os agricultores da importância dos cuidados com os recursos naturais, devido ao uso de altas doses de fertilizantes nos cultivos (ALVES NETO et al., 2016). O excesso de fertilização mineral ou orgânica, podem atingir o lençol freático, e causar eutrofização, devido ao aumento do escoamento superficial dos nutrientes para os cursos de água (AITA; GIACOMINI, 2008).

O que ocorre no atual sistema de cultivo é a ausência do uso de tecnologias que garantam o acúmulo e disponibilidade de água, bem como melhoria da qualidade do solo (QS), que permita racionalizar o uso de insumos e promover uma agricultura sustentável (FRANCHINI et al., 2011).

#### 4.4 CONCLUSÕES

Houve aumento da produtividade da soja ao longo dos períodos de cultivo, com exceção da ausência das plantas de cobertura, sendo maior incremento obtido após cultivo de *Uroclhoa ruzizensis*.

Com o aumento nos anos de cultivo, somente o tratamento ausência de cultivos foi responsável por não aumentar a extração de N e K pela cultura da soja.

Para rendimento de grãos acumulados nos três anos de condução do experimento foi maior para o tratamento *Uroclhoa ruzizensis*.

A utilização do consórcio entre *Crotalaria juncea* + *Pennisetum glaucum* e *Crotalaria juncea* + *Uroclhoa ruzizensis* foram responsáveis pelos maiores teores foliares para nitrogênio e fósforo. Para os nutrientes potássio e enxofre, o tratamento *Uroclhoa ruzizensis* proporcionou maiores teores na cultura da soja. O cultivo de *Zea mays* L. e *Crotalaria spectabilis*, demonstraram maior aproveitamento do nutriente cálcio pela cultura da soja.

Houve aumento dos teores foliares para nitrogênio, fósforo, potássio e cálcio da cultura da soja ao longo de três anos de cultivo.

A aplicação do gesso proporcionou aumento da exportação de N do grão da cultura da soja após cultivo das plantas de cobertura *Crotalaria juncea* + *Uroclhoa ruzizensis* e *Crotalaria ochroleuca*.

A gessagem não influenciou na exportação de P no grão da cultura da soja, mas aumentou a exportação de K K após os cultivos das plantas de cobertura *Crotalaria spectabilis*, *Crotalaria ochroleuca*, *Uroclhoa ruzizensis* e ausência de cultivos.

Após 120 dias da dessecação química, as maiores massas seca remanescentes das plantas de cobertura foram produzidas pelo grupo das plantas de cobertura *Crotalaria juncea* + *Uroclhoa ruzizensis*, *Uroclhoa ruzizensis* e *Crotalaria juncea* + *Pennisetum glaucum* e as porcentagens de coberturas de solo, neste mesmo período foram alcançadas pelo grupo dos tratamentos *Crotalaria juncea* + *Uroclhoa ruzizensis* e *Uroclhoa ruzizensis*.

#### 4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES NETO, A.J.; LANA, M.C.; RAMPIM, L.; MENDONÇA COSTA, L.A.; COPPO, J.; ALVES, A.G. Água residuária de suinocultura sobre a produtividade de soja e milho segunda safra: uso e viabilidade econômica. **Scientia Agraria Paranaensis**, v.15, p. 350-357, 2016.

AITA, C. & GIACOMINI, S.J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p. 601-612, 2003.

ALVAREZ, V.H.; NOVAIS, R. F.; DIAS, L. E.; OLIVEIRA, J. A. **Determinação e uso do fósforo remanescente**. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 25, p. 27-32, 2000.

ALVIM, M.I.S.A.; OLIVEIRA JUNIOR, L.B. Análise da competitividade da produção de soja no sistema de plantio direto no Estado de Mato Grosso do Sul. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 43, n. 3, p. 505-528, 2005.

AMARAL, A.S.; ANGHINONI, I.; DESCHAMPS, F.C. Resíduos de plantas de cobertura e mobilidade dos produtos da dissolução do calcário aplicado na superfície do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 115-123, 2004.

ARAÚJO, L.S.; CUNHA, P.C.R.; SILVEIRA, P.M.; NETTO, M.S.; OLIVEIRA, F.C. Potencial de cobertura do solo e supressão de tiririca (*Cyperus rotundus*) por resíduos culturais de plantas de cobertura. **Revista Ceres**, v. 62, n. 5, p. 483-488, 2015.

BARDUCCI, R.S.; COSTA, C.; CRUSCIOL, C.A.C.; BORGHI, E.; PUTAROV, T.C.; SARTI, L.M.N.; Produção de *Brachiaria Brizantha* e *Panicum Maximum* com milho e adubação nitrogenada. **Revista Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v. 58, n. 222, p. 211-222, 2009.

BARRADAS, C.A.A. **Uso da adubação verde**. Niterói: Programa Rio Rural, 2010.

BENITES, V.M.; CORREA, J.C.; MENEZES, J.F.S.; POLIDORO, J.C. Produção de fertilizante organomineral granulado a partir de dejetos de suínos e aves do Brasil. **XXIX Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas**. Guarapari-ES, 2010.

BOGHOSSIAN, M.R.; PEIXOTO, P.V.; BRITO, M.F.; TOKARNIA, C.H. Aspectos clínicopatológicos da intoxicação experimental pelas sementes de *Crotalaria mucronata* (Fabaceae) em bovinos. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 27, n. 4, p. 149-156, 2007.

BURKE, R. H.; MOORE, K. J.; SHIPITALO, M. J.; MIGUEZ, F. E.; HEATON, E. A. All washed out? Foliar nutrient resorption and leaching in senescing switchgrass. **BioEnergy Research**, V.10, n.2, p. 305-316, 2017.

CAIRES, E.F. Manejo da acidez solo. In: PROCHOW, L.I.; CASARIN, V.; STIPP, S.R. (Eds.) **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: Contexto mundial e práticas de suporte**. IPNI, Piracicaba, 2014, p.281-338.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In.: NOVAIS, R.F.; ALVARES, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (EDS.) **Fertilidade do solo**. 1ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. P. 375-470.

CARDOSO, R.C.; BENTO, A.S.; MORESKI, H.M.; GASPAROTTO, F. Influência da adubação verde nas propriedades físicas e biológicas do solo e na produtividade da

cultura de soja. **Semina: Ciências Biológicas e da Saúde**, Londrina, v. 35, n. 2, p. 51-60, 2014.

CARVALHO, M.C.S.; NASCENTE, A.S. Calcário, gesso e efeito residual de fertilizantes na produção de biomassa e ciclagem de nutrientes de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Goiânia, v. 44, n. 4, p. 370-380, 2014.

CESSA, R.M.A.; VITORINO, A.C.T.; CELI, L.; NOVELINO, J.O.; BARBERIS, E. Adsorção de fósforo em frações argila na presença de ácido fúlvico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n.5, p. 1535-1542, 2010.

CRUSCIOL, C.A.C.; MATEUS, G.P.; NASCENTE, A.S.; MARTINS, P.O.; BORGHI, E.; PARIZ, C.M. An innovative crop-forage intercrop system: early cycle soybean cultivars and palisadegrass. **Agronomy Journal**, Madison, v. 104, n. 4, p. 1085-1095, 2012.

CRUSCIOL, C.A.C. & SORATTO, R.P. Sistemas de produção e eficiência agrônômica de fertilizantes. In: PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V. & STIPP, S.R., orgs. **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**. Piracicaba, IPNI, 2010. v.1. p.229-275.

CRUZ, J.C.; RAMON, C.A.; VIANA, J.H.M.; FILHO, I.A.P.; FILHO, M.R.A.; SANTANA, D. P. **Sistema de plantio direto no milho**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2019.

ECHER, F.R.; CASTRO, G.S.A.; BOGIANI, J.C.; ROSOLEM, C.A. Crescimento inicial e absorção de nutrientes pelo algodoeiro cultivado sobre a palhada de *Brachiaria ruziziensis*. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 30, n. 4, p. 783-790, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AROPECUÁRIA. **Tecnologia de Produção de Soja – Paraná 2007**. Londrina – PR, 2006b. 220p.

ERASMO, E.A.L.; AZEVEDO, W.R.; SARMENTO, R.A.; CUNHA, A.M.; GARCIA, S.L.R. Potencial de espécies utilizadas como adubo verde no manejo integrado de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 22, n. 3, p. 337-342, 2004.

FERRARI NETO, J.; CRUSCIOL, C.A.C.; SORATTO, R.P.; COSTA, C.H.M. Consórcio de guandu-anão com milho: persistência e liberação de macronutrientes e silício da fitomassa. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 2, p. 264-272, 2012.

FRANCHINI, J.C.; COSTA, J.M.; DEBIASI, H. TORRES, E. **Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná**. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 52 p.

GRANDO, D.L.; CAVALHEIRO, J.M.; RHODEN, A.C. **Importância da matéria orgânica para a qualidade do solo**. In: 4 Simpósio de agronomia e tecnologia de alimentos AGROTEC, Itapiranga-SC, 2017.

KOVAR, J. L.; C. A. GRANT. **Nutrient cycling in soils: Sulfur**. In: HATFIELD, J. L.; SAUER, T. J. eds. **Soil management: Building a stable base for agriculture**. Madison, WI: ASA, CSSA, and SSSA, 2011. p. 101–116.

LANA, M.C.; FEY, R.; FRANDOLOSO, J.F.; RICHART, A.; FONTANIVA, S. **Análise química de solo e tecido vegetal: práticas de laboratório**. 2ª ed. Marechal Cândido Rondon, Universidade Estadual do oeste de Paraná, 2016.153p.

MEURER, E.J. **Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas**. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V.H.V.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. eds. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.65-90.

NASCENTE, A.S.; CRUSCIOL, C.A.C. Cover crops and herbicide timing management on soybean yield under no-tillage system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 2, p. 187-192, 2012.

NZIGUHEBA, G.; PALM, C.A.; BURESH, R.J.; SMITHSON, P.C. Soil phosphorus fractions and adsorption as affected by organic and inorganic sources. **European Journal of Agronomy**, v.20, n. 1-2, p-3-16, 2003.

PACHECO, L.P.; LEANDRO, W.M.; MACHADO, P.L.O.A.; ASSIS, R.L.; COBUCCI, T.; MADARI, B.E.; PETTER, F.A. Produção de fitomassa e acúmulo e liberação de nutrientes por plantas de cobertura na safrinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 1, p. 17-25, 2011.

PEREIRA, F. C. B. L.; MELLO, L. M. M. D.; PARIZ, C. M.; MENDONÇA, V. Z. D.; YANO, É. H.; MIRANDA, E. E. V. D.; CRUSCIOL, C. A. C. Autumn maize intercropped with tropical forages: crop residues, nutrient cycling, subsequent soybean and soil quality. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, V. 40, 2016.

RAIJ, B. van; **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Internation Plant Nutrition Institute. IAC, Piracicaba, 2014. 420 p.

RAMPIM, L.; LANA, M.C.; FRANDOLOSO, J.F.; FONTANIVA, S. Atributos químicos de solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em sistema semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1687-1698, 2011.

REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. **Propriedades física do solo**. Centro de Ciências Rurais, UFSM, Santa Maria, 2006. 18 p.

ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S. Lixiviação de potássio da palha de espécies de cobertura de solo de acordo com a quantidade de chuva aplicada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 2, p. 355-362, 2003.

SANGOI, L.; SILVA, L.M.M.; MOTA, M.R.; PANISON, F.; SCHIMITT, A.; SOUZA, N.M.; GIORDANI, W.; SCHENATTO, D.E. Desempenho agrônômico do milho em razão do tratamento de sementes com *Azospirillum* sp. e da aplicação de doses de nitrogênio mineral. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39 p. 1141-1150, 2015.

SIQUEIRA, J. O.; FRANCO, A. A.; **Biotecnologia do solo: fundamentos e perspectivas**. Brasília, DF: MEC/ABEAS/ESAL/FAEPE, 1988.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio**

**Grande do Sul e de Santa Catarina.** 1. ED. Porto Alegre: SBCS – Núcleo Regional Sul, 2004. 107p.

SODRÉ FILHO, J.; CARDOSO, A.N.; CARMONA, R.; CARVALHO, A.M. de. Fitomassa e cobertura do solo de 166 W.P. de Carvalho et al. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.48, n.2, p.157-166, 2013.

TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A.A.; DIAS, O.S.; CAMPIDELLI, C.; BULISANI, E.A. Cultivo da soja após incorporação de adubo verde e orgânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 27, p. 1477-1483, 1992.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G.M.C.; RIBON, A.A. Physical properties of Distrophic Red Latossol (Oxisol) under diferente agricultural uses. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p. 925-933, 2010

TEIXEIRA, C.M.; CARVALHO, G.; SILVA, C.A.; ANDRADE, M.J.B.; PEREIRA, J.M. Liberação de macronutrientes das palhadas de milho solteiro e consorciado com feijão-de porco sob cultivo de feijão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 497-505, 2010.

VENTIMIGLIA, L.A.; COSTA, J.A.; THOMAS, A.L.; PIRES, J.L.F. Potencial de rendimento da soja em razão da disponibilidade de fósforo no solo e dos espaçamentos. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.34, p.195-199, 1999.

VITTI, G.C.; DOMENICONI, C.F. (Eds.) **Boas Práticas para Uso Eficiente de Fertilizantes: Contexto mundial e práticas de suporte.** IPNI, Piracicaba. 2014. p.143-199.

ZANÃO JÚNIOR, L.A.; LANA, R.M.Q.; GUIMARÃES, E.C.; PEREIRA, J.M.A. Variabilidade espacial dos teores de macronutrientes em Latossolos sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 389-400, 2010.

ZOCA, S. M.; PENN, C. An important tool with no instruction manual: a review of gypsum use in agriculture. **Advances in agronomy**, v. 144, p. 1-44, 2017.

## 5 CAPÍTULO 3 – ATRIBUTOS BIOLÓGICOS DO SOLO SOB CULTIVO DE PLANTAS DE COBERTURA E GESSAGEM

RESUMO: Os cultivos de plantas de cobertura em solo com atributos químicos ideais para o crescimento de plantas trazem efeitos positivos no rendimento de grãos, ao ambiente edáfico e se tornam mitigadores de gases termogênicos ao ambiente. Neste sentido, indicadores de qualidade biológica do solo devem ser avaliados pois são atributos simples e sensíveis as alterações de manejo, os quais, permitem orientar o planejamento e a avaliação do manejo utilizado na área. Desta forma, buscou-se avaliar alterações de atributos biológicos do solo, após três anos de uso de plantas de cobertura nos cultivos de inverno. O delineamento de blocos casualizados com quatro repetições. Foram alocados nas parcelas os cultivos de inverno T1 – (CU) *Crotalaria juncea* (L.) + *Urochloa ruziziensis*, T2 – (CP) *Crotalaria juncea* (L.) + *Pennisetum glaucum* (L.), T3 – (P) *Pennisetum glaucum* (L.), T4 – (J) *Crotalaria juncea* (L.), T5 – (S) *Crotalaria spectabilis* (R.), T6 – (O) *Crotalaria ochroleuca*, T7 – *Zea mays* (L.) (Z), T8 – *Urochloa ruziziensis* (U), T9 – (A) Ausência de cobertura no Inverno. Com o passar dos anos de cultivo houve aumento nos teores de carbono orgânico total para todos os tratamentos. Os maiores teores de carbono orgânico total foram alcançados após o cultivo de (U). Para o carbono da biomassa microbiana, com o passar dos anos de cultivo houve aumento nos teores para todos os tratamentos. Com a gessagem os teores deste atributo biológico aumentaram somente para os tratamentos (CU), (CP), (O), (Z) e (U). Os teores de coeficiente microbiano foram menores com o aumento dos anos de cultivo. A enzima beta glicosidade aumentou com o passar dos anos de cultivo somente para os tratamentos (P) e (U) alcançaram 199,91 e 199,36  $\mu\text{g PNG. g}^{-1}$  solo,  $\text{h}^{-1}$ , respectivamente. A enzima aril sulfatase não aumentou o passar dos anos de cultivos das plantas de cobertura e o tratamento (U) alcançou os maiores teores, seguido do tratamento (CU).

**Palavras-chave:** Qualidade do solo, Enzimas de solo, Beta-glicosidade, Aril-sulfatase, Fosfatase ácida.

**ABSTRACT:** Cover crops cultivation in soil with ideal chemical attributes for plant growth bring positive effects on grain yield, the edaphic environment and become thermogenic gas mimics for the environment. In this sense, indicators of the biological quality of the soil must be evaluated because they are simple attributes and sensitive to changes in management, which allow to guide the planning and evaluation of the management used in the area. Thus, we sought to evaluate changes in the biological attributes of the soil, after three years of use of cover crops in winter crops. A randomized block design with four replications. Winter crops T1 – (CU) *Crotalaria juncea* (L.) + *Urochloa ruziziensis*, T2 – (CP) *Crotalaria juncea* (L.) + *Pennisetum glaucum* (L.), T3 – (P) *Pennisetum glaucum* (L.), T4 – (J) *Crotalaria juncea* (L.), T5 – (S) *Crotalaria spectabilis* (R.), T6 – (O) *Crotalaria ochroleuca*, T7 – *Zea mays* (L.) (Z), T8 – *Urochloa ruziziensis* (U), T9 – (A) no cover in winter. Over the years of cultivation there was an increase in total organic carbon content for all treatments. The highest levels of total organic carbon were reached after the cultivation of (U). For carbon from microbial biomass, over the years of cultivation there was an increase in levels for all treatments. With plastering, the contents of this biological attribute increased only for treatments (CU), (CP), (O), (Z) and (U). The levels of microbial coefficient were lower with increasing years of cultivation. The enzyme beta glycosity increased over the years of cultivation only for treatments (P) and (U) reached 199,91 and 199,36  $\mu\text{g PNG} \cdot \text{g}^{-1} \text{ soil} \cdot \text{h}^{-1}$ , respectively. The aryl sulfatase enzyme did not increase over the years of cover crops cultivation and treatment (U) reached the highest levels, followed by treatment (CU).

**Keywords:** soil quality, soil enzymes, beta glycosity, aryl sulfatase, acid phosphatase.

## 5.1 INTRODUÇÃO

Para avaliarmos a qualidade do solo, utiliza-se indicadores que refletem o status do ambiente ou as condições da sustentabilidade do solo, para tais indicadores divididos em físicos, químicos e biológicos (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007).

Os processos biológicos são a base para uma boa saúde do solo (LEHMAN et al., 2015), a atividade biológica avaliada por atributos microbianos utilizados para monitorar as alterações do ambiente oriundas do sistema de manejo adotado, como: diversidade microbiana, atividade enzimática, taxa de respiração (respiração basal), biomassa microbiana (EPELDE et al., 2014; PAREDES JUNIOR; PORTILHO; MERCANTE, 2015; FRANZLUEBBERS, 2016; VASCONCELLOS et al., 2016; ZANINETTI; MOREIRA & MORAES, 2016).

Esses atributos biológicos promovem respostas rápidas às mudanças na qualidade do solo (CANEI et al., 2018) e permitem orientar o planejamento e a avaliação do manejo utilizado na área (FERREIRA et al., 2017).

As enzimas são biomoléculas proteicas que catalisam reações, aumentam sua velocidade, e podem modificar a qualidade do solo por serem sensíveis às mudanças ocorridas por fatores ambientais e manejo (TEJADA et al., 2006). Elas estão relacionadas com a biomassa microbiana, visto que os microrganismos presentes no solo incorporam várias enzimas importantes para formação de moléculas orgânicas (RESENDE et al., 2002). Solos quimicamente semelhantes podem apresentar desempenhos muito distintos, o que demonstra a importância do estudo dos bioindicadores (MENDES et al., 2020a).

Essas enzimas podem ser utilizadas na avaliação de impactos ambientais e cada enzima apresenta um grau de especificidade e catalisa uma ou mais reações, para estar associadas a vida de células ativas metabolicamente como vegetais, microrganismos e fauna, de forma a auxiliar no equilíbrio do sistema (BOWLES et al., 2014). Como exemplos de enzimas importantes relacionadas a ciclagem de nutrientes e qualidade do solo pode-se citar a fosfatase ácida, a Beta-glicosidase e a arilsulfatase.

A fosfatase ácida catalisa a hidrólise da ligação éster de fosfato, atua sobre a ligação fósforo-nitrogênio, que transforma fósforo orgânico em inorgânico, e favorece assim a absorção de P pelas plantas (ACOSTA-MARTÍNEZ; TABATABAI, 2000).

A enzima Beta-glicosidase está associado ao ciclo do carbono e do enxofre, participa da cadeia de hidrólise da celulose e é uma das mais importantes glicosidases de solo, que regula o suprimento de fontes de energia para microrganismos (LANDGRAF; KLOSE, 2002).

A arilsulfatase catalisa a hidrólise de sulfato de potássio, sulfato de potássio fenila, p-nitrofenil sulfato e sulfato de potássio nitrocatechol fenolftaleína. Sua atividade reduz de acordo com o aumento da camada do solo e apresenta relação com a quantidade de carbono orgânico, CTC e teor de nitrogênio (TABATABAI; BREMNER, 1970). Está associada ao ciclo do enxofre e do carbono, disponibiliza enxofre para as plantas visto que a maior parte deste nutriente é encontrado na forma de sulfatos orgânicos (MENDES et al., 2020b).

As plantas de cobertura podem apresentar efeito positivo na atividade enzimática pelo fato de produzirem biomassa microbiana, o que reflete na matéria orgânica e na decomposição. Em trabalho realizado por Ferreira et al. (2017), foram encontrados valores elevados da enzima Beta-glicosidase ( $A\beta$ -G) em sistema de semeadura direta, sistema que prega a utilização da rotação de cultura e permanência da cobertura do solo. Mendes et al. (2017 e 2020a) avaliaram monocultivo, sucessão e rotação, e verificaram diferenças produtivas para a cultura da soja, ao obter os melhores resultados em solos biologicamente ativos recorrentes da inserção de plantas de cobertura, onde os solos mostraram-se mais tamponantes, estáveis e resilientes, de forma a suportar melhor as condições de estresse comparado ao monocultivo, e elevar os teores de flavonoides e proteínas da soja, além do aumento da produtividade. Mendes et al. (2017 e 2020a) ainda concluíram que essas enzimas apresentam capacidade de acessar a memória do solo, demonstrar sua saúde.

Outras variáveis utilizadas para mensurar a qualidade do solo são: carbono orgânico total (COT), biomassa microbiana (BMS), quociente microbiano ( $qMIC$ ), respiração basal do solo (RBS) e quociente metabólico ( $qCO_2$ ) (KLUMP et al., 2003; ISLAM; WEIL (2000).

O carbono orgânico total (COT) é toda a matéria orgânica presente, ser utilizado para mensurar a presença de compostos contaminantes orgânicos à base de carbono em um sistema (BISUTTI et al., 2004). Os vegetais são os responsáveis por adicionar carbono orgânico ao solo por meio da fotossíntese, principalmente ao ser utilizado plantas de cobertura.

A biomassa microbiana é a avaliação da massa de microorganismos presentes no solo para ser expressa em mg de carbono, nitrogênio, e/ou fósforo nos microrganismos por kg de solo. É considerada a parte viva da matéria orgânica do solo, formada por fungos, actinomicetos e bactérias. O carbono e o nitrogênio da biomassa microbiana podem ser indicadores de diferentes manejos do solo (SOUZA et al., 2014).

O quociente microbiano ( $qMIC$ ) indica a qualidade da matéria orgânica, sua expressão se dá pela relação entre o carbono da biomassa microbiana do solo (BMS) e o carbono orgânico total (COT). Quando os microrganismos se encontram em situações de estresse, cai a capacidade de utilização do carbono, isso leva a uma diminuição do quociente microbiano, enquanto que, com matéria orgânica de boa qualidade, ocorre aumento da biomassa microbiana e do quociente microbiano (REIS JÚNIOR; MENDES, 2007).

A respiração basal do solo (RBS) é um bioindicador influenciado pelo incremento de material carbonado ao solo utilizado para medir a atividade microbiológica, onde os microrganismos degradam os compostos orgânicos à  $CO_2$  (SILVA et al., 2013). Tal variável é influenciada por inúmeros fatores como: estado fisiológico das células microbianas, umidade, estrutura do solo, temperatura, textura e teor de matéria orgânica (SILVA et al., 2010).

O quociente metabólico ( $qCO_2$ ) corresponde a razão existente entre a respiração basal do solo por unidade de carbono da biomassa microbiana do solo (BMS) e tempo. É utilizado para estimar a eficiência do uso de substrato pelos microrganismos do solo (ANDERSON; DOMSCH, 1993) e como indicador de estresse que pode afetar a biomassa microbiana do solo. Este atributo demonstra a eficiência da biomassa microbiana na utilização do carbono disponível para biossíntese, de forma a poder estimar a atividade biológica e a qualidade do solo (SAVIOZZI et al., 2002), visto que o aumento da respiração pode ser um sinal inicial de estresse, onde a biomassa microbiana direciona energia para a manutenção celular, e não para crescimento, assim, parte do carbono da biomassa é perdido como  $CO_2$  (ALVES et al., 2011).

Assim, a forma de preparo do solo e o estabelecimento de nova cultura, forçam ao sistema solo/microrganismos, uma condição que influencia diretamente a disponibilidade, qualidade e quantidade dos nutrientes no solo (LISBOA et al., 2012)

e esses indicadores apresentados, auxiliam no processo de diagnose de um solo ao visar sua melhora.

Diante disso, este estudo teve como objetivo avaliar os atributos biológicos do solo com plantas de cobertura, cultivo de milho segunda safra e solo sem cultivo na região oeste do Paraná.

## 5.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.2.1 Caracterização da Área Experimental

A caracterização da área experimental encontra-se descrita no item 3.2.1, no Capítulo 1.

### 5.2.2 Delineamento Experimental

O delineamento experimental encontra-se descrito no item 3.2.2, no Capítulo 1.

### 5.2.3 Condução do Experimento

A condução do experimento encontra-se descritos no item 3.2.3, no Capítulo 1 e no item 4.2.3, no Capítulo 2.

### 5.2.4 Amostras de solo para atributos biológicos e microbiológicos

Após a colheita da cultura da soja do segundo e do terceiro cultivo foram coletadas amostras de solo sendo que em cada subparcela foi realizada através da coleta de dez subamostras ao acaso. As amostras foram coletadas com auxílio de pá de corte. Essa forma de amostragem foi realizada para as determinações de carbono orgânico total (COT), biomassa microbiana e respiração basal do solo.

Para as avaliações biológicas das enzimas beta-glicosidase, aril-sulfatase e fosfatase ácida, as mesmas foram realizadas através da coleta de dez amostras simples somente nas subparcelas para compor a amostra composta. Não se realizou amostras nas parcelas com presença de gessagem. Como o custo das análises de

enzimas para o experimento são caras, procurou-se realizar nas parcelas com ausência de gessagem, devido retratar melhor as áreas do oeste do Paraná, que possui pouca adoção de gessagem por parte dos produtores. Foram realizadas amostragens de solo na camada de 0-0,10 m. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, em caixa de isopor identificadas, e encaminhadas ao laboratório de análises biológicas de solo ESALQ USP, localizado em Piracicaba-SP. No mês de outubro de 2019 (Figura 18).



Figura 18. Realização das análises biológicas do solo com os técnicos de laboratório responsáveis Denise Mesolocotti e Fernando Baldesin. Piracicaba, SP 2019.

As análises realizadas foram carbono orgânico total (COT), biomassa microbiana (CBM), respiração basal do solo (RBS). A biomassa microbiana foi realizada pelo método de fumigação e extração (VANCE et al., 1987); a respiração basal foi analisada por meio da captura de dióxido de carbono em solo incubado por 48 horas (HUNGRIA; ARAÚJO, 1994). A relação entre a respiração basal do solo e o carbono da biomassa microbiana é denominada quociente metabólico ( $qCO_2$ ) e a relação do C da biomassa microbiana e C orgânico do solo é denominado ( $qMIC$ ) (ANDERSON; DOMSCH, 1993).

### 5.2.5 Determinação da atividade da enzima beta-glicosidase

O princípio da análise baseia-se na determinação colorimétrica do p-nitrofenol liberado pelas beta-glicosidases do solo, quando o solo é incubado com uma solução tamponada de p-nitrofenil- $\beta$ -D-glicopiranosídeo.

- Substrato: p-nitrofenil-  $\beta$  -D-glicopiranosídeo (PNG)
- Produto: p-nitrofenol
- Coloração: amarela

#### 5.2.5.1 Preparo da amostra

O solo deve ser peneirado e usar peneira de 4 mm e deve-se retirar com pinças todos os pedaços de raízes, tecidos de plantas e outros materiais orgânicos grosseiros que possam interferir na determinação da análise.

É realizada a pesagem de  $1,00\text{g} \pm 0,005\text{ g}$  de solo (livre de resíduos orgânicos) para ser colocado num frasco Erlenmeyer de 50 mL.

#### 5.2.5.2 Procedimento

- Adicionar 0,25 mL de tolueno (opcional: Se puder não usar é melhor pois é muito tóxico).
- Adicionar 4 mL de MUB pH 6.0
- Adicionar 1 mL de PNG  $0,025\text{ mol L}^{-1}$  a todos os frascos menos os controles (testemunha, branco).
- Incubar por uma hora a  $37^{\circ}\text{C}$  com rolhas de borracha (para evitar evaporação).
- Adicionar 1mL de  $0,5\text{ mol L}^{-1}\text{ CaCl}_2$ .
- Adicionar 4mL de THAM (Tris-Hydroxymethyl-Amino-Metano) pH 12.
- Adicionar 1mL de PNG nos controles.
- Filtrar através de um papel de filtro Whatman nº. 2.
- Realizar a leitura da coloração amarela num espectrofotômetro a 420 nm.

Se for necessário, fazer diluição das amostras em água destilada.

A literatura de Tabatabai sugere para cada amostra fazer 3 ou 4 repetições analíticas mais o controle. Como a variação é baixa foi adotado apenas duas repetições analíticas mais o controle.

A manipulação das amostras e vidrarias deve ser realizada com luvas cirúrgicas.

Todas as vidrarias devem ser lavadas com água de torneira, depois com solução de ácido clorídrico a 10% (ficar de molho por 30 minutos), lavar em seguida por no mínimo cinco vezes em água de torneira e enxaguar por três vezes com água destilada.

#### 5.2.5.3 Preparo dos reagentes

Os reagentes para determinação da  $\beta$ -Glicosidase são descritos abaixo:

1° Para Cloreto de cálcio  $\text{CaCl}_2$  ( $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ ), deve-se dissolver 73,5g de  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  em 700 mL de  $\text{H}_2\text{O}$  e completar o volume para 1L com  $\text{H}_2\text{O}$  destilada.

2° Para THAM - Solução extratora de Hidróxido de sódio (0.1M THAM pH 12), dissolver 12,2 g de THAM (Tris-Hydroxymethyl-Amino-Metano) em 700 mL de  $\text{H}_2\text{O}$  destilada.

3° Para solução estoque MUB, misturar 12,1 g de THAM com 11,6 g de ácido maleico, 14,0 g de ácido cítrico, 6,3 g de ácido bórico, 488 mL de  $\text{NaOH } 1 \text{ mol L}^{-1}$ , completar para 1 L com  $\text{H}_2\text{O}$  destilada, manter a solução na geladeira.

4° Para MUB pH 6,0, usar 200 mL da solução estoque de MUB, ajustar o pH para 6.0 usar  $\text{HCl } 0,1 \text{ mol L}^{-1}$  (aproximadamente 500 mL), completar o volume para 1L usar  $\text{H}_2\text{O}$  destilada.

5°  $\text{HCl}$  – solução a 10% - medir 900 mL de água destilada e adicionar vagorosamente 100 mL de  $\text{HCl}$ , usar a capela de exaustão;

6° Para  $\text{NaOH } 0,5 \text{ mol L}^{-1}$  (preparar o mais próximo possível do momento em que for utilizado), dissolver 20 g de  $\text{NaOH}$  em 700 mL de  $\text{H}_2\text{O}$  destilada e completar para 1 L com água destilada.

Dissolver 0,377g de p-nitrophenyl- $\beta$ -D-Glicopyranoside (Sigma N-7006) em 40 mL de MUB pH 6,0.

Ajustar o volume para 50 mL com MUB pH 6,0.

Preparar essa solução antes de realizar o ensaio. Demora mais ou menos 30 minutos para dissolver.

Observar a fórmula do reagente e as moléculas de água nele contidas.

Para preparar, seguir essa mistura de 50 mL, (0,377 g de PNG em 50 mL de MUB pH 6,0) 100 mL (0,754 g de PNG em 100 mL de MUB pH 6,0) 150 mL (1,131 g de PNG em 150 mL de MUB pH 6,0).

7º PNG ( $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ ) observação, na metodologia original é recomendado a concentração de  $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ ;

#### 5.2.5.4 Preparo da curva padrão

Ajustar o pH para 12, adicionar NaOH 0.5M (aproximadamente 15 mL). Complete para 1L com H<sub>2</sub>O destilada e guarde na geladeira.

Para preparar a curva padrão do ensaio  $\beta$ -Glicosidase, usar a solução estoque de p-nitrofenol (para-nitrofenol), dissolver 1,0 g de p-nitrofenol (Sigma 104-8) em 700 mL de H<sub>2</sub>O destilada e completar o volume para 1L e guardar em geladeira.

É necessário atentar para preparar a sua curva, deve-se diluir 1 mL desse padrão em 100 mL de água destilada num balão volumétrico. (“Solução padrão diluída”).

Pipetar alíquotas de 0, 1, 2, 3, 4 e 5 mL da “solução padrão diluída” em erlenmeyers de 50 mL, complete para 5 mL e proceda como se fosse uma amostra de solo (adicionar 1 mL de CaCl<sub>2</sub>  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ ; 4 mL de NaOH  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ , misture e filtrar).

Essas alíquotas representarão 0, 10, 20, 30 40 e 50  $\mu\text{g}$  de p-nitrofenol.

Para melhor a preparação da curva há a representação da tabela 21.

Tabela 21 – Reagentes para preparação da curva padrão do ensaio  $\beta$ -Glicosidase, ESALQ, Piracicaba SP, (2019).

Concentração mL <sup>-1</sup> de p-nitrofenol	$\mu\text{g}$ mL de água	mL de solução padrão diluída	CaCl <sub>2</sub>	NaOH mL
0	5	0	1	4
10	4	1	1	4
20	3	2	1	4
30	2	3	1	4
40	1	4	1	4
50	0	5	1	4

A solução de PNG é estável por vários dias se armazenada na geladeira a 4°C. O THAM é quem confere a coloração amarela a solução, ou seja, a cor amarela só se forma após sua adição (este reagente libera o p-nitrofenol formado). É necessário adicionar CaCl<sub>2</sub> para prevenir a dispersão da argila e extração de matéria orgânica do solo, para a da adição do tampão THAM, para a liberação da p-nitrofenol liberado.

Valores de atividade de  $\beta$ -glucosidase descritos na literatura:

Amostra úmida: 38 a 720, média 148 mg p-nitrofenol. kg<sup>-1</sup> solo.h<sup>-1</sup>;

Amostra seca: 48 a 169, média 112 mg p-nitrofenol. kg<sup>-1</sup> solo.h<sup>-1</sup>;

**OBSERVAÇÃO IMPORTANTE:** Se as suas amostras excederem o ponto da curva padrão referente a 50 ppm ( $\mu\text{g/l}$ ), as amostras devem ser diluídas preferencialmente com THAM 0,1 mol L<sup>-1</sup>, pH=12 ou com água destilada, até que a leitura caia dentro dos limites da curva de calibração;

#### 5.2.6 Determinação da atividade da enzima fosfatase ácida

O princípio da análise baseia-se na determinação colorimétrica do p-nitrofenol liberado pelas fosfatases do solo, quando o solo é incubado com uma solução tamponada de p- nitrofenil fosfato;

- Substrato: p-nitrofenyl fosfato (PNF);
- Produto: p-nitrofenol;
- Coloração: amarela;

### 5.2.6.1 Preparo da amostra

Proceder como descrito no item 5.2.5.1;

### 5.2.6.2 Procedimento

- Adicionar 4 mL de MUB pH 6,5 (para determinação da fosfatase alcalina o pH deve ser 11);
- Adicionar 1 mL de PNF  $0,025 \text{ mol L}^{-1}$  a todos os frascos menos os controles (testemunha, branco);
- Agitar os frascos, coloque a rolha de borracha e incube a  $37^{\circ}\text{C}$  por uma hora;
- Adicionar 1 mL de  $0,5 \text{ mol L}^{-1} \text{ CaCl}_2$ ;
- Adicionar 4 mL de NaOH  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ . Adicione 1 mL de PNF aos controles;
- Agitar o frasco para misturar e filtrar através de um papel de filtro Whatman n°. 2;
- Determinar a intensidade da colocação amarela num espectrofotômetro a 410 nm;
- Adotar os mesmos cuidados descritos no item 5.2.5.2;

### 5.2.6.3 Preparo dos reagentes

Para Cloreto de cálcio  $\text{CaCl}_2$  ( $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ ) - Proceder como descrito no item 5.2.5.3;

Para NaOH  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  - Proceder como descrito no item 5.2.5.3;

HCl – solução a 10% - Proceder como descrito no item 5.2.5.3;

PNF (para-nitrofenil fosfato  $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ ) - Dissolver 0,928 g de disódico-fosfato hexahidratado (Sigma N-104) em 40 mL de MUB pH 6,5;

Ajustar o volume para 50 mL com MUB pH 6,5 (1,856 do Sigma-104 em 100 mL de MUB ou 2,784 em 150 mL);

Conservar na geladeira;

Observar a fórmula do reagente e as moléculas de água nele contidas;

Para solução estoque MUB - Proceder como descrito no item 5.2.5.3;

Para MUB pH 6.5 - Proceder como descrito no item 5.2.5.3;

#### 5.2.6.4 Preparo da curva padrão

Para preparar a curva padrão do ensaio Fosfatase ácida, usar a solução estoque de p-nitrofenol (para-nitrofenol), dissolver 1.0 g de p-nitrofenol (Sigma 104-8) em 700 mL de H<sub>2</sub>O destilada e completar o volume para 1L e guardar em geladeira.

É necessário atentar para preparar a sua curva, deve-se diluir 1 mL desse padrão em 100 mL de água destilada num balão volumétrico. (“Solução padrão diluída”).

Pipetar alíquotas de 0, 1, 2, 3, 4 e 5 mL da “solução padrão diluída” em erlenmeyers de 50 mL, complete para 5 mL e proceda como se fosse uma amostra de solo (adicionar 1 mL de CaCl<sub>2</sub> 0,5 mol L<sup>-1</sup>; 4 mL de NaOH 0,5 mol L<sup>-1</sup>, misture e filtrar).

Essas alíquotas representarão 0, 10, 20, 30, 40 e 50 µg mL<sup>-1</sup> de p-nitrofenol.

Para facilitar a preparação da curva há a representação da tabela 26.

Se a coloração amarela das suas amostras exceder a do padrão de 50 µg mL<sup>-1</sup>, dilua com água até que a leitura do espectrofotometro caia no limite da sua curva de calibração.

Valores de atividade de Fosfatase ácida descritos na literatura:

Amostra úmida: 23 a 2100, média 617 mg p-nitrofenol. kg<sup>-1</sup> solo.h<sup>-1</sup>.

Amostra seca: 80 a 1112, média 284 mg p-nitrofenol. kg<sup>-1</sup> solo.h<sup>-1</sup>.

#### 5.2.7 Determinação da atividade da enzima aril sulfatase

O princípio da análise baseia-se na determinação colorimétrica do p-nitrofenol liberado pelas sulfatases do solo, quando o solo é incubado com uma solução tamponada de p- nitrofenil sulfato.

- Substrato: p-nitrofenyl sulfato (PNS)
- Produto: p-nitrofenol
- Coloração: amarela

### 5.2.7.1 Preparo da amostra

Proceder como descrito no item 5.2.5.1;

### 5.2.7.2 Procedimento

- O solo deve ser peneirado usar peneira de 4 mm e deve-se retirar com pinças todos os pedaços de raízes, tecidos de plantas e outros materiais orgânicos grosseiros que possam interferir na determinação da análise.
- É realizada a pesagem de  $1,00\text{g} \pm 0,005\text{ g}$  de solo (livre de resíduos orgânicos) para ser colocado num frasco Erlenmeyer de 50 mL.
- Adicionar 0,25 mL de tolueno (opcional: Se puder não usar é melhor pois é muito tóxico).
- Adicionar 4 mL de MUB pH 5,8 (para determinação da fosfatase alcalina o pH deve ser 11).
- Adicionar 1 mL de PNF  $0,025\text{ mol L}^{-1}$  a todos os frascos menos os controles (testemunha, branco).
- Agitar os frascos, coloque a rolha de borracha e incube a  $37^{\circ}\text{C}$  por uma hora.
- Adicionar 1 mL de  $0,5\text{ mol L}^{-1}\text{ CaCl}_2$
- Adicionar 4 mL de  $\text{NaOH } 0,5\text{ mol L}^{-1}$ . Adicione 1 mL de PNF aos controles.
- Agitar o frasco para misturar e filtrar através de um papel de filtro Whatman n°. 2.
- Determinar a intensidade da colocação amarela num espectrofotômetro a 410 nm.
- Adotar os mesmos cuidados descritos no item 5.2.5.2;

### 5.2.6.3 Preparo dos reagentes

Para Cloreto de cálcio  $\text{CaCl}_2$  ( $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ ) - Proceder como descrito no item 5.2.5.3;

Para NaOH  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  - Proceder como descrito no item 5.2.5.3;

HCl – solução a 10% - Proceder como descrito no item 5.2.5.3;

Os reagentes para determinação da Aril Sulfatase são descritos abaixo:

HCl – solução a 10%;

Para solução tampão acetato, dissolver 68 g de acetato de sódio trihidratado (observar a quantidade de moléculas de água) ou 41,015g de acetato de sódio ( $\text{C}_2\text{H}_3\text{N}_3\text{O}_2$ ) sem água em 700 mL de água destilada; adicione gotas de ácido acético glacial (99%) até atingir o pH 12 e complete o volume para 1L em água destilada.

PNF (para-nitrofenil sulfato  $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ );

### 5.2.7.4 Preparo da curva padrão

Para preparar a curva padrão do ensaio Aril Sulfatase, usar a solução estoque de p-nitrofenol (para-nitrofenol), dissolver 1,0 g de p-nitrofenol (Sigma 104-8) em 700 mL de  $\text{H}_2\text{O}$  destilada e completar o volume para 1L e guardar em geladeira.

É necessário atentar para preparar a sua curva, deve-se diluir 1 mL desse padrão em 100 mL de água destilada num balão volumétrico. (“Solução padrão diluída”).

Pipetar alíquotas de 0, 1, 2, 3, 4 e 5 mL da “solução padrão diluída” em erlenmeyers de 50 mL, complete para 5mL e proceda como se fosse uma amostra de solo (adicionar 1 mL de  $\text{CaCl}_2$   $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ ; 4 mL de NaOH, misture e filtrar).

Essas alíquotas representarão 0, 10, 20, 30 40 e 50  $\mu\text{g}$  de p-nitrofenol.

Para melhor a preparação da curva há a representação da tabela 26.

Valores de atividade de Aril Sulfatase descritos na literatura:

Amostra úmida: 7 a 340, média  $80 \text{ mg p-nitrofenol. kg}^{-1} \text{ solo.h}^{-1}$ ;

Amostra seca: 2 a 361, média  $85 \text{ mg p-nitrofenol. kg}^{-1} \text{ solo.h}^{-1}$ ;

### 5.2.7.5 Cálculos da concentração

Primeiro fazer a equação de regressão da curva padrão:

Ex: Valores da curva:

$\mu\text{g mL}^{-1}$ de p-nitrofenol (Y)	Absorbância (X)
0	0,011
10	0,144
20	0,281
30	0,402
40	0,561
50	0,729

Equação de regressão:  $y = 70,313x + 0,0625 - R^2 = 0,9968$ .

Onde Y= valor em  $\mu\text{g}$  de p-nitrofenol por grama de solo úmido e X= valor da leitura de absorbância feita no espectrofotômetro.

Para valores em g de solo seco:  $y = ((70,313x + 0,0625) / \text{peso do solo seco})$ .

Exemplo: peso do solo seco = 0,71 g.

Amostra = leitura de 0,331 no espectrofotômetro =  $((70,313 (0,331) + 0,0625) / 0,71) = 32,86$ .

Controle = leitura de 0,046 no espectrofotômetro =  $(70,313 (0,046) + 0,0625) / 0,71) = 4,48$ .

Subtrair o controle da amostra:

$32,86 - 4,48 = 28,38 \mu\text{g}$  de p-nitrofenol por grama de solo seco por hora de incubação ou simplesmente  $28,4 \mu\text{g}$  p-nitrofenol / g solo seco/ hora.

Se por acaso, na hora de fazer a leitura no espectrofotômetro a amostra tivesse sido diluída 5 vezes (1 mL de amostra em 4 mL de água) era só multiplicar pelo fator de diluição 5, de forma que o valor seria  $5 \times 28,4 = 141,9 \mu\text{g}$  p-nitrofenol / g solo seco/ hora.

### 5.2.8 Análises Estatísticas

Para os dados: carbono da biomassa microbiana, carbono orgânico total (COT), carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal do solo (RBS), quociente metabólico ( $q\text{CO}_2$ ) e quociente microbiano ( $q\text{MIC}$ ) realizadas da mesma maneira como encontra-se descrito no item 4.2.2, no Capítulo 1.

### 5.2.8.1 Análises Estatísticas após os três anos de condução do experimento

Para os atributos biológicos do solo: beta-glicosidade, aril-sulfatase e fosfatase ácida, os dados obtidos foram submetidos à análise de variância. Com constatação de efeito significativo da adubação mineral para determinada variável, as médias foram submetidas ao teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade. Os dados foram processados em delineamento de blocos casualizados (DBC) com parcelas subdivididas. Nas parcelas principais foram alocadas Plantas de Cobertura, e nas subparcelas foi alocado o fator gessagem (ausência e presença). Na análise estatística foi utilizado o programa estatístico Sisvar 5.1 (FERREIRA, 2011).

## 5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 22 mostra o COT em função da implantação de plantas de cobertura cultivadas no inverno sob aplicação de gesso agrícola e em anos de cultivo.

Tabela 22 – Carbono orgânico total em função da implantação de plantas de cobertura cultivadas no inverno sob aplicação de gesso agrícola e em diferentes anos de cultivo. Corbélia-PR, 2021.

COT					
Camada (m)		0-0,10			
g dm <sup>-3</sup>					
Tratamentos	Ano		Gessagem		Média
	2018	2019	Ausência	Presença	
(CU)	17,90 Bb	19,90 Aa	18,61	18,33	18,47 C
(CP)	18,43 Ab	19,42 Aa	18,83	19,01	18,92 B
(P)	18,51 Ab	19,64 Aa	19,19	18,96	19,08 B
(J)	18,31 Ab	19,43 Aa	19,09	18,65	18,87 B
(S)	15,92 Cb	17,03 Ca	16,36	16,58	16,47 F
(O)	16,52 Cb	17,97 Ca	16,80	17,69	17,24 E
(Z)	17,27 Bb	18,36 Ba	17,62	18,01	17,82 D
(U)	18,81 Ab	19,87 Aa	19,22	19,46	19,34 A
(A)	15,34 Db	16,32 Da	15,91	15,75	15,83 G
Média	17,44	18,66	17,95	18,04	18,00

\*Média seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

(CU) *Crotalaria juncea* (L.) + *Urochloa ruziziensis*, – (CP) *Crotalaria juncea* (L.) + *Pennisetum glaucum* (L.) – (P) *Pennisetum glaucum* (L.) – (J) *Crotalaria juncea* (L.) – (S) *Crotalaria spectabilis* – (O) *Crotalaria ochroleuca* – (Z) *Zea mays* (L.) – (U) *Urochloa ruziziensis* – (A) Ausência de cobertura no Inverno.

O carbono orgânico total aumentou entre os anos de cultivo, pois as plantas proporcionaram a formação de massa seca no solo. Desse modo, de 2018 para 2019 todos os tratamentos proporcionaram aumentos no conteúdo de COT no solo.

Para os anos de 2018 e 2019 o COT demonstrou comportamento diferenciado no solo. No ano de 2018 todos os anos demonstraram menores quantidade de COT ao comparado à 2019. O aumento do tempo de cultivo com plantas de cobertura, as quais atuam em diversos compartimentos que influenciam na compactação do solo.

A matéria orgânica do solo (MOS) é considerada um componente fundamental do solo para sustentabilidade dos sistemas, ao propiciar a mineralização e ciclagem de nutrientes.

A tabela 23 mostra o C BMS em função da implantação de plantas de cobertura cultivadas no inverno sob aplicação de gesso agrícola e em anos de cultivo.

Tabela 23 – Carbono da biomassa microbiana em função da implantação de plantas de cobertura cultivadas no inverno sob aplicação de gesso agrícola e em diferentes anos de cultivo. Corbélia-PR, 2021.

C BMS					
Camada (m)		0-0,10			
$\mu\text{g kg}^{-1} \text{h}^{-1} \text{C-CO}_2$					
Tratamentos	Ano		Gessagem		Média
	2018	2019	Ausência	Presença	
(CU)	307,56 Ab	355,13 Aa	322,30 Bb	340,38 Ba	331,34
(CP)	266,35 Bb	314,77 Ba	289,66 Da	291,46 Ca	290,56
(P)	301,63 Ab	346,32 Aa	312,23 Cb	335,72 Ba	323,97
(J)	254,65 Bb	300,47 Ba	280,05 Ea	275,07 Da	277,56
(S)	214,31 Cb	263,48 Ca	242,65 Fa	235,14 Fa	238,90
(O)	208,26 Cb	254,20 Ca	217,34 Gb	245,11 Ea	231,23
(Z)	173,62 Db	217,11 Da	183,79 Hb	206,94 Ga	195,37
(U)	331,03 Ab	377,45 Aa	347,57 Ab	360,91 Aa	354,24
(A)	146,50 Eb	192,89 Ea	169,63 Ia	169,76 Ha	169,69
Média	244,87	291,31	262,80	273,38	265,55

\*Média seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

(CU) *Crotalaria juncea* (L.) + *Urochloa ruziziensis*, – (CP) *Crotalaria juncea* (L.) + *Pennisetum glaucum* (L.) – (P) *Pennisetum glaucum* (L.) – (J) *Crotalaria juncea* (L.) – (S) *Crotalaria spectabilis* – (O) *Crotalaria ochroleuca* – (Z) *Zea mays* (L.) – (U) *Urochloa ruziziensis* – (A) Ausência de cobertura no Inverno.

O carbono da biomassa do solo em 2019 aumentou e foi significativamente superior a 2018 na avaliação entre os anos. Entre os tratamentos, nos anos de 2018 e 2019, o C BMS com as plantas de cobertura (CU), (P) e (U) superou os tratamentos (CP), (J), (S), (O), (Z) e (A). Na ausência de gesso, os tratamentos (CP), (J), (S) e (A) foram similares a aplicação de gesso. Em contrapartida, os tratamentos (CU), (P), (O), (Z) e (U) com gessagem expresarram melhor o C BMS no solo. Na média entre os tratamentos, a planta de cobertura U demonstrou maior incremento de C BMS no solo.

A tabela 24 mostra o quociente metabólico de CO<sub>2</sub> em função da implantação de plantas de cobertura cultivadas no inverno sob aplicação de gesso agrícola e em anos de cultivo.

Tabela 24 – Quociente metabólico de CO<sub>2</sub> em função da implantação de plantas de cobertura cultivadas no inverno sob aplicação de gesso agrícola e em diferentes anos de cultivo. Corbélia-PR, 2021.

qCO <sub>2</sub>					
Camada (m) 0-0,10					
µg g <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> de C-CO <sub>2</sub>					
Tratamentos	Ano		Gessagem		Média
	2018	2019	Ausência	Presença	
(CU)	3,43 Da	2,70 Eb	3,14 Ha	2,98 Hb	3,06
(CP)	3,82 Da	3,05 Cb	3,42 Fa	3,45 Fa	3,44
(P)	3,38 Da	2,97 Db	3,27 Ga	3,08 Gb	3,18
(J)	4,07 Ca	3,52 Cb	3,81 Ea	3,78 Eb	3,80
(S)	4,43 Ca	3,74 Bb	4,00 Db	4,17 Da	4,09
(O)	4,83 Ca	4,12 Bb	4,63 Ca	4,33 Cb	4,48
(Z)	5,41 Ba	4,51 Ab	5,35 Ba	4,57 Bb	4,96
(U)	3,12 Ea	2,59 Eb	2,91 Ia	2,80 Ib	2,85
(A)	6,32 Aa	4,82 Aa	5,59 Aa	5,55 Aa	5,57
<b>Média</b>	<b>4,31</b>	<b>3,55</b>	<b>4,01</b>	<b>3,85</b>	<b>3,93</b>

\*Média seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

(CU) *Crotalaria juncea* (L.) + *Urochloa ruziziensis*, – (CP) *Crotalaria juncea* (L.) + *Pennisetum glaucum* (L.) – (P) *Pennisetum glaucum* (L.) – (J) *Crotalaria juncea* (L.) – (S) *Crotalaria spectabilis* – (O) *Crotalaria ochroleuca* – (Z) *Zea mays* (L.) – (U) *Urochloa ruziziensis* – (A) Ausência de cobertura no Inverno.

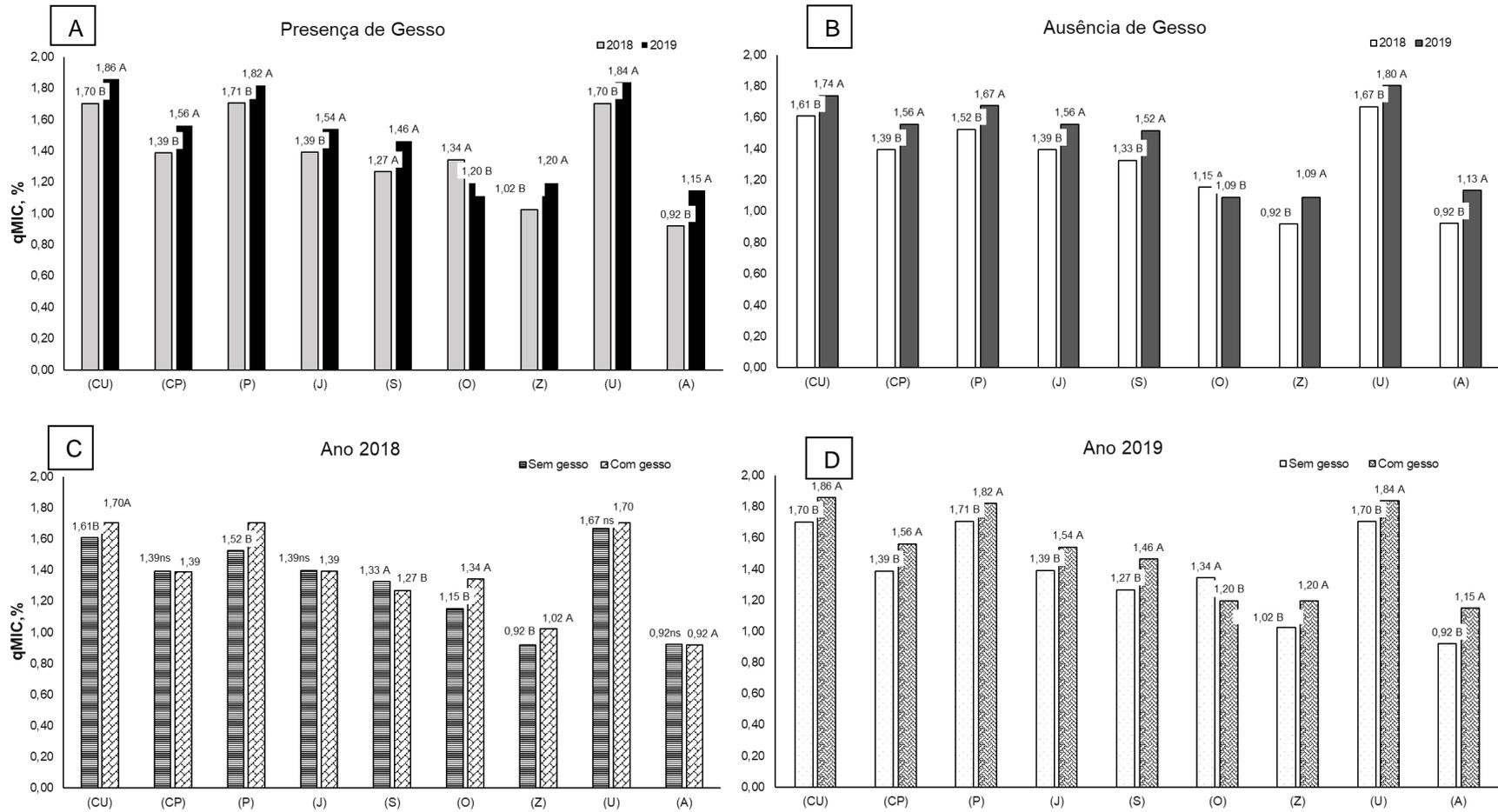
Foi observado, na avaliação dos anos, em 2018, os tratamentos (CU), (CP), (P), (J), (S), (O), (Z) e (U) obtiveram melhor  $q\text{CO}_2$  que 2019. O tratamento (A) não demonstrou diferença entre os anos. Entre os tratamentos, em 2018,  $q\text{CO}_2$  em (A) foi superior em relação aos demais tratamentos. Em 2019, os tratamentos (A) e (Z) apresentaram incrementos no  $q\text{CO}_2$ , enquanto os demais tratamentos foram inferiores. Este atributo demonstra a eficiência da biomassa microbiana na utilização do carbono disponível para biossíntese, de forma a poder estimar a atividade biológica e a qualidade do solo (SAVIOZZI et al., 2002), visto que o aumento da respiração pode ser um sinal inicial de estresse, onde a biomassa microbiana direciona energia para a manutenção celular, e não para crescimento, assim, parte do carbono da biomassa é perdido como  $\text{CO}_2$  (ALVES et al., 2011).

Na ausência de gesso, os tratamentos (CU), (P), (J), (O), (Z), (U) aumentaram o  $q\text{CO}_2$  do solo em comparação com a gessagem. O tratamento (CP) mostrou similaridade no  $q\text{CO}_2$  para ausência ou presença de gesso. Os tratamentos (S) e (A) promoveram alterações no  $q\text{CO}_2$  na presença de gesso.

Entre os tratamentos com ausência de gesso e gessagem, o cultivo em (A) favoreceu mais a liberação de  $\text{CO}_2$  por unidade de biomassa no tempo em comparação aos outros tratamentos. Na média, o tratamento (A) promoveu a maior liberação de  $\text{CO}_2$  por unidade de biomassa por certo tempo entre todos os tratamentos.

Para Silva et al. (2011) a maioria dos estudos concentra-se no carbono orgânico, e alertam que dificilmente alterações causadas pelas culturas utilizadas são detectáveis à curto prazo, devido à alta variabilidade do solo. Os autores recomendam estudos mais aprofundados, como a determinação da matéria orgânica lábil, e outros fatores sensíveis aos manejos, que tenham correlação com a atividade microbiana.

A figura 19 mostra o quociente microbiano de  $\text{CO}_2$  em função da implantação de plantas de cobertura cultivadas no inverno sob aplicação de gesso agrícola e em anos de cultivo. O quociente microbiano ( $q\text{ Mic}$ ) indica o percentual de reserva do carbono orgânico total no solo.



\*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

Figura 19 – Quociente microbiano após cultivo de plantas de cobertura nos anos na presença (A) na ausência (B) de gessagem e efeito do gesso no ano de 2018 (C) e no ano 2019 (D), na camada de 0-0,10 m. Corbélia-PR, 2021.

(CU) *Crotalaria juncea* (L.) + *Urochloa ruziziensis*, – (CP) *Crotalaria juncea* (L.) + *Pennisetum glaucum* (L.) – (P) *Pennisetum glaucum* (L.) – (J) *Crotalaria juncea* (L.) – (S) *Crotalaria spectabilis* – (O) *Crotalaria ochroleuca* – (Z) *Zea mays* (L.) – (U) *Urochloa ruziziensis* – (A) Ausência de cobertura no Inverno.

Houve aumento nos teores de qMIC na presença de gessagem em todos os na camada de 0-0,10 m de profundidade. No ano de 2019, todos os tratamentos apresentaram níveis superiores de q MIC em relação a 2018. Isso representa uma matéria orgânica ativa e susceptível a decomposição.

Na ausência de gesso e entre os tratamentos, o solo após o cultivo da planta de cobertura (O) não obteve aumento nos teores de atividade microbiana quando comparado o ano de 2018 a 2019.

No ano de 2018, os teores de qMIC não demonstraram diferenças significativas após o cultivo de (CU), (J), (U) e (A) quanto a presença ou ausência de gessagem.

Entretanto no ano de 2019 houve aumento nos teores de qMIC na presença de gessagem em todos os na camada de 0-0,10 m de profundidade

A tabela 25 mostra a respiração basal do solo em função da implantação de plantas de cobertura cultivadas no inverno sob aplicação de gesso agrícola e em anos de cultivo.

Tabela 25 – Respiração basal do solo em função da implantação de plantas de cobertura cultivadas no inverno sob aplicação de gesso agrícola e em diferentes anos de cultivo. Corbélia-PR, 2021.

RBS					
Camada (m)	0-0,10				
%					
Tratamentos	Ano		Gessagem		Média
	2018	2019	Ausência	Presença	
(CU)	0,99 Bb	1,09 Aa	1,67	1,78	1,04
(CP)	1,00 Bb	1,05 Ba	1,47	1,47	1,02
(P)	1,03 Ba	1,04 Ba	1,59	1,76	1,03
(J)	1,03 Ba	1,05 Ba	1,47	1,46	1,04
(S)	0,98 Ca	1,02 Ba	1,42	1,36	1,00
(O)	1,01 Bb	1,05 Ba	1,25	1,38	1,03
(Z)	0,96 Cb	1,01 Ba	1,00	1,10	0,98
(U)	1,07 Aa	1,02 Bb	1,73	1,77	1,04
(A)	0,96 Ca	0,96 Ca	1,02	1,03	0,96
<b>Média</b>	<b>1,01</b>	<b>1,03</b>	<b>1,40</b>	<b>1,45</b>	<b>1,02</b>

\*Média seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

(CU) *Crotalaria juncea* (L.) + *Urochloa ruziziensis*, – (CP) *Crotalaria juncea* (L.) + *Pennisetum glaucum* (L.) – (P) *Pennisetum glaucum* (L.) – (J) *Crotalaria juncea* (L.) – (S) *Crotalaria spectabilis* – (O) *Crotalaria ochroleuca* – (Z) *Zea mays* (L.) – (U) *Urochloa ruziziensis* – (A) Ausência de cobertura no Inverno.

A respiração basal do solo e a soma de todas as funções metabólicas nas quais o CO<sub>2</sub> é produzido. É um indicativo de melhoria da qualidade e a mineralização de nutrientes do solo.

Nos sistemas de cultivos, a degradação do solo ocorre pelo maior contato entre os resíduos vegetais e o solo, em que a microbiota degrada a MOS, e, um dos fatores sensíveis a este manejo é a respiração basal do solo (RBS), a qual, mede a atividade biológica do solo com a degradação de compostos orgânicos a CO<sub>2</sub> (LISBOA et al., 2012).

A RBS reflete a atividade da microbiota do solo responsável pela degradação de compostos orgânicos, através da medida da taxa de liberação CO<sub>2</sub> (HAYNES, 2005) e é correlacionada com a atividade enzimática do solo.

A atividade enzimática do solo, apresenta-se como resultado do somatório de atividades enzimáticas dos seres vivos, principalmente fungos e bactérias, e atuam como catalisadoras de várias reações que resultam na ciclagem de nutrientes e decomposição de resíduos orgânicos (COELHO et al., 2008).

Por exemplo a enzima urease catalisa a hidrólise da molécula de ureia em amônia e gás carbônico, atua como reguladora de volatilização de amônia, tem origem vegetal e microbiana, e pode ser encontrada em ambiente intra e extracelular, com permanência estável por longo ano quando associada ao complexo húmico e a argilas (MELO et al., 2010).

A tabela 26 mostra a Beta-glicosidase do solo em função da implantação de plantas de cobertura cultivadas no inverno sob aplicação de gesso agrícola e em anos de cultivo.

Tabela 26 – Beta-glicosidase em função da implantação de plantas de cobertura cultivadas no inverno em diferentes anos de cultivo. Corbélia-PR, 2021.

Beta-glicosidase			
Camada	0-0,10 m		
$\mu\text{g PNG. g}^{-1} \text{ solo, h}^{-1}$			
Tratamentos	2018	2019	Média
(CU)	177,05 Ba	173,08 Ca	175,06
(CP)	169,10 Ca	131,91 Eb	150,51
(P)	166,43 Db	227,39 Aa	196,91
(J)	177,73 Ba	158,68 Db	168,05
(S)	147,92 Ea	98,64 Gb	123,28
(O)	146,23 Fa	117,38 Fb	131,80
(Z)	138,08 Ga	87,38 Hb	112,73
(U)	194,21 Aa	204,50 Ba	199,36
(A)	126,78 Ha	82,45 Ib	104,61
Média	160,39	142,37	151,36

\*Média seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

(CU) *Crotalaria juncea* (L.) + *Urochloa ruziziensis*, – (CP) *Crotalaria juncea* (L.) + *Pennisetum glaucum* (L.) – (P) *Pennisetum glaucum* (L.) – (J) *Crotalaria juncea* (L.) – (S) *Crotalaria spectabilis* – (O) *Crotalaria ochroleuca* – (Z) *Zea mays* (L.) – (U) *Urochloa ruziziensis* – (A) Ausência de cobertura no Inverno.

As enzimas atuam para acelerar as reações em um substrato. São importantes porque após morte microbiana e depois de extravazar o conteúdo celular, as enzimas continuam as reações no solo. A Beta-glicosidase atua no ciclo do carbono.

Na observação dos anos, em 2018, os tratamentos (CP), (J), (S), (O), (Z) e (A) proporcionaram o aumento superior da enzima Beta-glicosidase em relação a 2019 na camada 0-0,10 m do solo. Os resultados alcançados com (CU) e (U) em 2018 correspondem aos obtidos em 2019. Em 2019, a planta de cobertura (P) obteve maior atividade da enzima Beta-glicosidase em comparação a 2018. Na média, os tratamentos (P) e (U) demonstraram maior capacidade de atividade da Beta-glicosidase dentre as plantas avaliadas.

A tabela mostra a Aril - sulfatase do solo em função da implantação de plantas de cobertura cultivadas no inverno sob aplicação de gesso agrícola e em anos de cultivo. A Aril - sulfatase atua na ciclagem do enxofre.

Constituída por um grupo de enzimas que catalisam a hidrólise de ésteres de aril sulfatos orgânicos, a arilsulfatase, tem origem em plantas, microrganismos e animais, considerada responsável por ciclar S no solo e mineralizar S orgânico para  $\text{SO}_4^{2-}$  (TABATABAI, 1994).

Tabela 27 – Arilsulfatase em função da implantação de plantas de cobertura cultivadas no inverno em diferentes anos de cultivo. Corbélia-PR, 2021.

Aril - sulfatase			
Camada	0-0,10 m		
$\mu\text{g PNS. g}^{-1} \text{ solo, h}^{-1}$			
Tratamentos	2018	2019	Média
(CU)	204,14 Ba	150,05 Bb	177,10
(CP)	171,02 Ca	152,96 Ab	161,99
(P)	162,49 Da	142,99Db	152,74
(J)	154,24 Ea	152,33 Aa	153,28
(S)	132,55 Ga	138,31 Ea	135,43
(O)	137,46 Fa	140,29 Ca	138,87
(Z)	131,32 Ha	116,16 Fb	123,74
(U)	231,71 Aa	140,66 Cb	186,18
(A)	92,90 Ia	82,45 Ga	87,68
<b>Média</b>	<b>157,53</b>	<b>135,13</b>	<b>146,33</b>

\*Média seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

(CU) *Crotalaria juncea* (L.) + *Urochloa ruziziensis*, – (CP) *Crotalaria juncea* (L.) + *Pennisetum glaucum* (L.) – (P) *Pennisetum glaucum* (L.) – (J) *Crotalaria juncea* (L.) – (S) *Crotalaria spectabilis* – (O) *Crotalaria ochroleuca* – (Z) *Zea mays* (L.) – (U) *Urochloa ruziziensis* – (A) Ausência de cobertura no Inverno.

Entre os anos, é verificado em 2018 para os tratamentos (CU), (CP), (P), (Z) e (U) maior atividade da aril-sulfatase comparada a 2019 (Figura 20).

No caso dos tratamentos (J), (S), (O) e (A) os resultados de 2018 são semelhantes aos observados em 2019. Entre os tratamentos, em 2018, a planta de cobertura (U) proporcionou maior atividade da aril- sulfatase. Por outro lado, em 2019, a atividade da aril-sulfatase foi incrementada com as plantas de cobertura (CP) e (J).



Figura 20. Aspecto das amostras realizadas para leitura de arilsulfatase, de *Crotalaria juncea* + *Urochloa ruziziensis*, (CU) – A e ausência de cultivos (A) – B, no experimento de campo. Paracicaba-SP, 2019.

A tabela 28 mostra a fosfatase ácida do solo em função da implantação de plantas de cobertura cultivadas no inverno sob aplicação de gesso agrícola e em anos de cultivo. Uma forma das plantas obterem nutrientes é por meio da transformação enzimática dos substratos no solo. Assim, a fosfatase ácida atua no ciclo do fósforo para posterior disponibilidade do nutriente aos vegetais.

Tabela 28 – Fosfatase ácida em função da implantação de plantas de cobertura cultivadas no inverno em diferentes anos de cultivo. Corbélia-PR, 2021.

Fosfatase ácida			
Camada	0-0,10 m		
$\mu\text{g PNF. g}^{-1}$ solo, $\text{h}^{-1}$			
Tratamentos	2018	2019	Média
(CU)	1146,48 Aa	777,77 Cb	962,13
(CP)	1116,45 Ba	1034,69 Ab	1075,57
(P)	1093,12 Da	774,24 Db	933,68
(J)	1075,69 Ea	666,18 Eb	870,94
(S)	857,77 Ga	605,33 Gb	731,55
(O)	871,58 Fa	649,39 Fb	760,49
(Z)	838,14 Ha	581,74 Hb	709,94
(U)	1101,85 Ca	925,03 Bb	1013,44
(A)	389,05 Ia	292,41 Ib	340,73
Média	943,34	700,75	822,05

\*Média seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

(CU) *Crotalaria juncea* (L.) + *Urochloa ruziziensis*, – (CP) *Crotalaria juncea* (L.) + *Pennisetum glaucum* (L.) – (P) *Pennisetum glaucum* (L.) – (J) *Crotalaria juncea* (L.) – (S) *Crotalaria spectabilis* – (O) *Crotalaria ochroleuca* – (Z) *Zea mays* (L.) – (U) *Urochloa ruziziensis* – (A) Ausência de cobertura no Inverno.

A enzima fosfatase ácida, em 2018, apresentou melhor atividade em comparação a 2019. Entre os tratamentos, as plantas de cobertura (CU) foram as que melhor apresentaram atividade da fosfatase ácida em comparação aos outros tratamentos. No ano seguinte, em 2019, o predomínio de atividade da enzimática da fosfatase foi com o tratamento (CP), enquanto os outros tratamentos demonstraram resultados inferiores.

Fosfatases catalisam a hidrólise do éster e anidridos de fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), sendo classificadas em diversos grupos de acordo com os compostos que hidrolisam (fosfomonoesterases, fosfodiesterases, fosfotriesterases, metafosfatases e pirofosfatases), com a liberação de álcool e ácido fosfórico (BALOTA et al., 2013).

As enzimas classificadas como fosfatase ácida e alcalina apresentam maior atividade em condições de acidez e de alcalinidade, respectivamente, onde as raízes de plantas são as maiores fontes de fosfatase ácida, e, fungos e bactérias como fonte

da fosfatase alcalina e está ausente na rizosfera das plantas cultivadas na ausência dos hospedeiros (SANTOS; MAIA, 2013).

#### 5.4 CONCLUSÕES

Com o passar dos anos de cultivo houve aumento nos teores de carbono orgânico total para todos os tratamentos. Os maiores teores de carbono orgânico total foram alcançados após o cultivo de *Urochloa ruziziensis* e foi seguido pelo agrupamento com os tratamentos *Crotalaria juncea* + *Urochloa ruziziensis*, *Pennisetum glaucum* L. e *Crotalaria juncea*.

Os maiores teores de carbono orgânico foram encontrados no tratamento (U), seguidos dos tratamentos *Crotalaria juncea* + *Pennisetum glaucum* L. e *Pennisetum glaucum* L.

Para o carbono da biomassa microbiana, com o passar dos anos de cultivo houve aumento nos teores para todos os tratamentos. Com a gessagem os teores deste atributo biológico aumentaram somente para os tratamentos *Crotalaria juncea* + *Urochloa ruziziensis*, *Crotalaria juncea* + *Pennisetum glaucum* L., *Crotalaria ochroleuca*, *Zea mays* L. e *Urochloa ruziziensis*.

Os teores de coeficiente microbiano foram menores com o aumento dos anos de cultivo. Com a gessagem após três anos do solo cultivado com os tratamentos testados proporcionou aumento no coeficiente microbiano.

Para a respiração basal do solo, não houve efeito da gessagem. Apenas para o tratamento *Urochloa ruziziensis*, não ocorreu aumento com os anos de cultivo.

A enzima beta glicosidade aumentou com o passar dos anos de cultivo somente para os tratamentos *Pennisetum glaucum* L. e *Urochloa ruziziensis*. O mesmo comportamento ocorreu para os maiores teores desta enzima onde o tratamento *Pennisetum glaucum* L. e *Urochloa ruziziensis* alcançaram 199,91 e 199,36  $\mu\text{g PNG. g}^{-1}$  solo,  $\text{h}^{-1}$ , respectivamente.

A enzima aril sulfatase não aumentou o passar dos anos de cultivos das plantas de cobertura e o tratamento *Urochloa ruziziensis* alcançou os maiores teores, seguido do tratamento *Crotalaria juncea* + *Urochloa ruziziensis*.

A atividade da enzima fosfatase ácida não aumento com o passar dos períodos de cultivo e os maiores teores foram encontrados para o tratamento *Urochloa ruziziensis*.

Os indicativos dos atributos biológicos testados no experimento, demonstram que o tratamento ausência de cultivos, seguido do tratamento *Zea mays* L. possuem os maiores efeitos deletérios para a qualidade biológica do solo.

## 5.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA-MARTÍNEZ, V., TABATABAI, M. A. Enzyme activities in a limed agricultural soil. **Biology and Fertility of Soils**, v. 31, 85–91, 2000.

ALVES, T. D. S.; CAMPOS, L. L.; ELIAS NETO, N.; MATSUOKA, M.; LOUREIRO, M. F. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 2, 2011.

ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient of CO<sub>2</sub> ( $q$  CO<sub>2</sub>) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental condition, such as pH, on the microbial of forest soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, n. 3, p. 393-395, 1993.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, v. 23, n. 3, p. 66-75, 2007.

BISUTTI, I.; HILKE, I.; RAESSLER, M. Determination of total organic carbon – naoverview of current methods. **Trends in Analytical Chemistry**, Amsterdam, v.23, n. 10-11, p. 716-726, 2004.

BOWLES, T.; ACOSTA-MARTÍNEZ, V.; CALDERÓN, F. Soil enzyme activities, microbial communities, and carbon and nitrogen availability in organic agroecosystems across an intensively-managed agricultural landscape. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 68, p. 252- 262, 2014.

BURKE, R. H.; MOORE, K. J.; SHIPITALO, M. J.; MIGUEZ, F. E.; HEATON, E. A. All washed out? Foliar nutrient resorption and leaching in senescing switchgrass. **BioEnergy Research**, V.10, n.2, p. 305-316, 2017.

CANEI, A. D.; HERNÁNDEZ, A. G.; MORALES, D. M. L; SILVA, E. P.; SOUZA, L. F.; LOSS, A.; LOURENZI, C, R.; REIS, M. S.; SOARES, C. R. F. S. Atributos microbiológicos e estrutura de comunidades bacterianas como indicadores da

qualidade do solo em plantios florestais na mata atlântica. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 4, p. 1405-1417, out.- dez., 2018.

EPELDE, L.; BURGESS, A.; MIJANGOS, I.; GARBISU, C. Microbial properties and attributes of ecological relevance for soil quality monitoring during a chemical stabilization field study. **Applied Soil Ecology**, v. 75, p. 1-12, 2014.

ESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 4 ed. Viçosa: NEPUT, 2002. 338 p.

FERREIRA, E. P. B.; STONE, L. F.; MARTIN-DIDONET, C. C. População e atividade microbiana do solo em sistema agroecológico de produção. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 1, p. 22-31, 2017.

FRANZLUEBBERS, A. J. Should soil testing services measure soil biological activity? **Agricultural & Environmental Letters**, Madison, v. 1, n. 1, 2016.

HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R. S.; **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão, Centro Nacional de Pesquisa de Soja – Brasília: Embrapa - SPI, 1994. 542p.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agriculture Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 79, n. 1, p. 9-16, 2000.

LANDGRAF, D.; KLOSE, S. Mobile and readily available C and N fractions and their relationship to microbial biomass and selected enzyme activities in a sandy soil under different management systems. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 165, p. 9-16, 2002.

LEHMAN, R. M.; CAMBARDELLA, C. A.; STOTT, D. E.; ACOSTA-MARTINEZ, V.; MANTER, D. K.; BUYER, J. S.; MAUL, J. E.; SMITH, J. L.; COLLINS, H. P.; HALVORSON, J. J.; KREMER, R. J.; LUNDGREN, J. G.; DUCEY, T. F.; JIN, V. L.;

KARLEN, D. L. Understanding and enhancing soil biological health: The solution for reversing soil degradation. **Sustainability**, v. 7, n. 1, p. 988-1027, 2015.

LISBOA, B. B.; VARGAS, L. K.; SILVEIRA, A. O. D.; MARTINS, A. F.; SELBACH, P. A. Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 33-43, 2012.

MENDES, I. C.; CHAER, G. M.; SOUSA, D. M. G.; JÚNIOR, F. B. R.; DANTAS, O. D.; OLIVEIRA, M. I. L.; LOPES, A. A. C.; SOUZA, L. M. **Bioanálise de solo: A mais nova aliada para a sustentabilidade agrícola**. NPCT - Nutrição de plantas Ciência e Tecnologia, informações agronômicas NPCT nº 8, 2020b, 11 p.

MENDES, I. C.; ONO, F. B.; OLIVEIRA, M. I.; SILVA, R. G.; KAPPES, C.; REIS JUNIOR, F. B.; ZANCANARO, L. **Rotação de culturas, bioindicadores e saúde do solo**. In: SILVA, P. A. da; OLIVEIRA, L. C. de (Org.). Boletim de Pesquisa 2019/2020. 19.ed. Rondonópolis: Fundação MT, p.102-110. 2020a.

PAREDES JUNIOR, F. P. P.; PORTILHO, I. I. R.; MERCANTE, F. M. Microbiological attributes of the soil under cultivation of sugarcane with and without burning straw. *Semina: Ciências Agrárias, Londrina*, v. 36, n. 1, p. 151-164, jan. 2015.

REIS JÚNIOR, F. B. dos; MENDES, I. de C. **Biomassa microbiana do solo**. Planaltina: Embrapa Cerrados, (Embrapa Cerrados. Documentos, 205). 2007. 40 p.

SAVIOZZI, A.; BUFALINO, P.; LEVI-MINZI, R.; RIFFALD, R. Biochemical activities in a degraded soil restored by two amendments: a laboratory study. **Biology & Fertility of Soils**, Berlin, v. 35, p. 96-101, 2002.

SILVA, R. R. D.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; MOREIRA, F. M. D. S.; CURI, N.; ALIVISI, A. M. T. Biomassa e atividade microbiana em solos sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica campos das vertentes - MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1585-1592, 2010.

SILVA, E.F.; LOURENTE, E.P.R.; MARCHETTI, M.E.; MERCANTE, F.M.; FERREIRA, A.K.T.; FUJI, G.C. Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1321-1331, 2011.

SILVA, J. M.; ALBURQUERQUE, L. S. D.; SANTOS, T. M. C. D.; OLIVEIRA, J. U. L. D.; GUEDES, E. L. F. Mineralização de vermicompostos estimada pela respiração microbiana. **Revista Verde**, Pombal, v. 8, n. 4, p. 132-135, 2013.

SOUZA, E. D.; COSTA, S. E. V. G. A.; ANGHINONI, I.; CARNEIRO, M. A. C.; MARTINS, A. P.; BAYER, C. Soil quality indicators in a Rhodic Paleudult under long term tillage systems. **Soil & Tillage Research**, New York, v. 139, p. 28-36, 2014.

TABATABAI, M. A.; BREMNER, J. M. Arylsulfatase activity of soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 34, p. 225-229, 1970.

TEJADA, M.; HERNANDEZ, M.T.; GARCIA, C. Application of Two Organic Amendments on Soil Restoration: Effects on the Soil Biological Properties. **Journal of Environmental Quality**, v. 35, p. 1010 – 1017. 2006.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C. & JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass. **Soil Biology Biochemistry**, v.19, p.703-707, 1987.

VASCONCELLOS, R. L. F.; BONFIM, J. A.; BARETTA, D.; CARDOSO, E. J. B. N. Arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin-related soil protein as potential indicators of soil quality in a recuperation gradient of the Atlantic Forest in Brazil. **Land Degradation & Development**, Chichester, v. 27, n. 2, p. 325-334, 2016.

ZANINETTI, R. A.; MOREIRA, A.; MORAES, L. A. C. Physical, chemical, and biological attributes of a Xanthic Oxisol after forest conversion to rubber tree plantation in the Amazon. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1061-1

## APÊNDICE A - ANOVAS

Tabela 29 – Quadro de análise de variância com os quadrados médios e média apresentada dos atributos físicos do solo, em função da implantação de plantas de cobertura cultivadas no inverno nas camadas de solo amostradas. Corbélia-PR, 2021.

Fontes de variação	GL	kPa10	kPa20	kPa30	kPa40	den 0-0,20 m	den 0,20-0,40	dia<0,053	dia>0,053	dia 0,105	dia 0,250	dia 0,500	dia 1,000
F Rep	3	0,715 <sup>ns</sup>	0,4450 <sup>ns</sup>	0,2560 <sup>ns</sup>	0,9660 <sup>ns</sup>	0,00058 <sup>ns</sup>	0,001135 <sup>ns</sup>	9,4891 <sup>ns</sup>	2,4909 <sup>ns</sup>	1,2889 <sup>ns</sup>	7,0006 <sup>ns</sup>	0,0834 <sup>ns</sup>	4,8876 <sup>ns</sup>
F Rep * Anos	3	0,521 <sup>ns</sup>	2,8930*	0,2670 <sup>ns</sup>	0,8570 <sup>ns</sup>	0,000975 <sup>ns</sup>	0,000317 <sup>ns</sup>	9,6738 <sup>ns</sup>	2,0605 <sup>ns</sup>	0,7164 <sup>ns</sup>	2,0331 <sup>ns</sup>	1,0121 <sup>ns</sup>	6,4436 <sup>ns</sup>
F Anos	1	468,7800**	23,9510**	2469,2970**	101,8620**	0,000625 <sup>ns</sup>	0,001344 <sup>ns</sup>	207,4080**	80,4310**	240,5342**	196,2100**	201,3797**	7,2540 <sup>ns</sup>
F Plantas de Cobertura	8	625,1320**	1348,3970**	6700,3500**	2875,4120**	0,12966**	0,17813**	72,6629**	30,5851**	1422,6790**	89,2922**	55,6036**	80,7906**
F Plantas de Cobertura * Anos	8	121,1720**	93,3460**	221,7530**	374,8180**	0,00555**	0,004369**	16,9769**	1,3895 <sup>ns</sup>	76,5562**	2,0265 <sup>ns</sup>	16,8802**	15,8755**
erro 1	48	2926,1650	4780,5664	1146,2540	1250,6140	0,005430	0,000571	5,0101	2,3489	3,1803	7,5576	9,3937	4,0506
F Gessagem	1	4,3760*	0,0130 <sup>ns</sup>	0,5140 <sup>ns</sup>	0,1230 <sup>ns</sup>	0,0009 <sup>ns</sup>	0,001111 <sup>ns</sup>	5,1984 <sup>ns</sup>	0,0576 <sup>ns</sup>	3,4317 <sup>ns</sup>	2,1340 <sup>ns</sup>	3,4717 <sup>ns</sup>	2,5440 <sup>ns</sup>
F Gessagem * Plantas de Cobertura	8	2,6840*	0,0110 <sup>ns</sup>	0,0028 <sup>ns</sup>	0,0250 <sup>ns</sup>	0,000619 <sup>ns</sup>	0,000817 <sup>ns</sup>	1,6301 <sup>ns</sup>	0,3858 <sup>ns</sup>	2,9932 <sup>ns</sup>	7,4430 <sup>ns</sup>	0,5127 <sup>ns</sup>	0,3264 <sup>ns</sup>
F Gessagem * Anos	1	3,3330 <sup>ns</sup>	0,0180 <sup>ns</sup>	0,0790 <sup>ns</sup>	0,0270 <sup>ns</sup>	0,000025 <sup>ns</sup>	0,000032 <sup>ns</sup>	3,8743 <sup>ns</sup>	0,1013 <sup>ns</sup>	4,0166 <sup>ns</sup>	1,1077 <sup>ns</sup>	0,2392 <sup>ns</sup>	0,3741 <sup>ns</sup>
F Gessagem * Pl. de Cobertura * Anos	8	2,684*	0,0110 <sup>ns</sup>	0,0280 <sup>ns</sup>	0,0250 <sup>ns</sup>	0,001278 <sup>ns</sup>	0,00073 <sup>ns</sup>	1,4904 <sup>ns</sup>	0,3149 <sup>ns</sup>	4,8241 <sup>ns</sup>	1,7786 <sup>ns</sup>	0,6430 <sup>ns</sup>	0,7032 <sup>ns</sup>
erro 2	54	1341,6672	1569,8177	230,0079	1218,5578	0,000485	0,000547	1,3241	0,5374	5,1586	3,4123	1,1711	0,6091
Total													
C.V. 1 (%)		3,51	2,16	1,17	1,45	2,23	2,27	23,22	29,98	7,25	15,56	34,43	25,26
C.V. 2 (%)		2,38	1,24	0,52	1,43	2,10	2,29	11,94	14,34	9,24	10,45	12,16	9,79
Média		1.539,46	3.203,78	2.892,23	2.441,03	1,04	1,05	9,63	5,1113	24,5886	17,6728	8,9013	7,9688

Fontes de variação	GL	dia 2,000	dia >4,760	Ksat0-0,20	Ksat0,20-0,40	PT	Micro	Macro	Floculação	Dispersão
F Rep	3	2,9884 <sup>ns</sup>	4,7164 <sup>ns</sup>	710,5121 <sup>ns</sup>	668,2364 <sup>ns</sup>	1,7617 <sup>ns</sup>	4,9810 <sup>ns</sup>	3,5395 <sup>ns</sup>	1,893 <sup>ns</sup>	1,893 <sup>ns</sup>
F Rep * Anos	3	1,7660 <sup>ns</sup>	1,0616 <sup>ns</sup>	246,4584 <sup>ns</sup>	315,9334 <sup>ns</sup>	6,1334 <sup>ns</sup>	15,6683 <sup>ns</sup>	4,4706 <sup>ns</sup>	4,5832 <sup>ns</sup>	4,5832 <sup>ns</sup>
F Anos	1	23,6844 <sup>ns</sup>	1479,1716**	136561,0434 <sup>ns</sup>	144173,9885 <sup>ns</sup>	317,3148**	246,9413	98,2340**	192,1749**	192,1749**
F Plantas de Cobertura	8	79,5765**	1124,6342**	17483,8636**	60984,7998**	276,5502**	123,3697**	65,5651**	334,8880**	334,8880**
F Plantas de Cobertura * Anos	8	15,6334**	117,1498**	7391,6676**	6395,5002**	6,9319 <sup>ns</sup>	27,8867**	22,1008**	391,9275**	391,9275**
erro 1	48	4,2744	3,4869	143,1174	796,3766	4,1818	5,7699	3,1517	5,9524	5,9524
F Gessagem	1	5,53,03 <sup>ns</sup>	6,0106 <sup>ns</sup>	81,1801 <sup>ns</sup>	70,0429 <sup>ns</sup>	7,5156 <sup>ns</sup>	4,8348 <sup>ns</sup>	5,4999 <sup>ns</sup>	13,7893 <sup>ns</sup>	13,7893 <sup>ns</sup>
F Gessagem * Plantas de Cobertura	8	1,6160 <sup>ns</sup>	2,6073 <sup>ns</sup>	37,5083 <sup>ns</sup>	80,8869 <sup>ns</sup>	4,0527 <sup>ns</sup>	3,8467 <sup>ns</sup>	1,4857 <sup>ns</sup>	4,0708 <sup>ns</sup>	4,0708 <sup>ns</sup>
F Gessagem * Anos	1	0,0002 <sup>ns</sup>	1,3110 <sup>ns</sup>	61,7534 <sup>ns</sup>	47,8929 <sup>ns</sup>	3,2163 <sup>ns</sup>	2,8927 <sup>ns</sup>	4,7985 <sup>ns</sup>	16,3763 <sup>ns</sup>	16,3763 <sup>ns</sup>
F Gessagem * Pl. de Cobertura * Anos	8	1,1318 <sup>ns</sup>	4,6484 <sup>ns</sup>	71,5456 <sup>ns</sup>	59,8577 <sup>ns</sup>	13,4376 <sup>ns</sup>	3,1644 <sup>ns</sup>	1,6619 <sup>ns</sup>	7,5008 <sup>ns</sup>	7,5008 <sup>ns</sup>
erro 2	54	0,7584	3,3755	99,1845	94,749549	4,5917	4,0854	2,4469	6,0345	6,0345
Total										
C.V. 1 (%)		26,26	10,21	8,74	19,64	3,40	7,07	7,45	3,70	7,18
C.V. 2 (%)		11,06	10,04	7,27	6,77	3,56	5,84	5,49	3,72	7,23
Média		7,87	18,29	136,94	143,67	60,22	34,18	23,74	66,02	33,97

<sup>ns</sup>não significativo, \*significativo (p<0,05) e \*\*significativo (p<0,01). GL – grau de liberdade, kPa 10 – Resistência do solo à penetração camada de 0-0,10 m, kPa 20 – Resistência do solo à penetração camada de 0,10-0,20 m, kPa 30 – Resistência do solo à penetração camada de 0,20-0,30 m, kPa 40 – Resistência do solo à penetração camada de 0,30-0,40 m, den0-0,20 – densidade de 0-0,20m, den 0,20-0,40 – densidade de 0,20-0,40m, dia<0,053 – dmp menor que 0,053 mm, dia>0,053 – dmp maior que 0,053 mm, dia 0,105 – dmp 0,105 mm, dia 0,250 – dmp 0,250 mm, dia 0,500 – dmp

0,500 mm, dia 1,000 – dmp 1,000 mm, dia 2,000 – dmp 2,000 mm, dia>4,760 – dmp 4,760 mm, Ksat0-0,20 – condutividade hidráulica em solo saturado de 0-0,20 m, Ksat0,20-0,40 – condutividade hidráulica em solo saturado de 0,20-0,40 m, PT – porosidade total, Micro – microporosidade, Macro – macroporosidade, Flocculação – grau de flocculação, Dispersão – grau de dispersão.

Tabela 30 – Quadro de análise de variância com os quadrados médios e média apresentada dos atributos químcos da planta e parâmetros biométricos da cultura da soja, em função da implantação de plantas de cobertura cultivadas no inverno nas camadas de solo amostradas. Corbélia-PR, 2021.

Fontes de variação	GL	TNF	TPF	TKF	TCAF	TSF	NGR	PGR	KGR	CAGR	SGR	Nexp	Pexp	Kexp	Prod
F Rep	3	11,178 <sup>ns</sup>	0,353**	85,2291**	1,1601 <sup>ns</sup>	0,0382 <sup>ns</sup>	7,6355 <sup>ns</sup>	0,0185 <sup>ns</sup>	0,1286 <sup>ns</sup>	0,1899*	0,0046 <sup>ns</sup>	50,5527 <sup>ns</sup>	0,5826 <sup>ns</sup>	10,1127 <sup>ns</sup>	18437,1846 <sup>ns</sup>
F Rep * Anos	6	10,002 <sup>ns</sup>	0,0083 <sup>ns</sup>	2,9102 <sup>ns</sup>	1,2400 <sup>ns</sup>	0,0195 <sup>ns</sup>	2,1442 <sup>ns</sup>	0,0394 <sup>ns</sup>	0,3732 <sup>ns</sup>	0,0082 <sup>ns</sup>	0,0068 <sup>ns</sup>	0,4769 <sup>ns</sup>	0,0036**	0,1144**	467,6461 <sup>ns</sup>
F Anos	2	388,6374**	0,742**	340,1220**	908,7848**	9,2492**	389,1300**	5,7925**	27,2976**	16,2791**	6,2211**	111107,49**	1115,9897**	23918,8672**	17033033,15**
F Plantas de Cobertura	8	96,222**	0,4428**	156,3838**	30,2046**	0,6722**	86,9503**	1,7839**	119,7937**	2,3013**	0,0403**	9004,9079**	116,3317**	1522,7308**	662201,5562**
F Plantas de Cobertura * Períodos	16	37,2637**	0,5768**	39,4916**	32,6867**	0,6708**	30,9138**	0,7916**	216,5371**	2,6461**	0,0040 <sup>ns</sup>	3922,9245**	58,5373**	847,1407**	456931,3253**
erro 1	72	8,3774	0,0242	12,4892	0,7139	0,0341	5,9656	0,0526	0,7420	0,0064	0,0108	38,0250	0,3253	5,5508	10646,7026
F Gessagem	1	0,0199 <sup>ns</sup>	0,0491 <sup>ns</sup>	4,4082 <sup>ns</sup>	0,5307 <sup>ns</sup>	11,1785**	1,4342**	0,0328 <sup>ns</sup>	8,7945**	2,5356**	2,5899**	58,9636 <sup>ns</sup>	2,7011**	103,5581**	29927,2425 <sup>ns</sup>
F Gessagem * Plantas de Cobertura	8	5,0221 <sup>ns</sup>	0,0142 <sup>ns</sup>	7,9972 <sup>ns</sup>	1,0586 <sup>ns</sup>	0,0693**	4,1283 <sup>ns</sup>	0,0715 <sup>ns</sup>	2,4414**	2,4320**	0,0020 <sup>ns</sup>	318,2284**	3,3200**	81,9523**	89508,0483**
F Gessagem * Anos	2	1,2154 <sup>ns</sup>	0,014 <sup>ns</sup>	1,7207 <sup>ns</sup>	1,9119 <sup>ns</sup>	4,9257**	2,2117 <sup>ns</sup>	0,0234 <sup>ns</sup>	0,3488 <sup>ns</sup>	2,6691**	0,0697 <sup>ns</sup>	50,2489 <sup>ns</sup>	4,8430**	97,3575**	17206,7665 <sup>ns</sup>
F Gessagem * Pl. de Cobertura * Anos	16	3,2054 <sup>ns</sup>	0,0349 <sup>ns</sup>	1,3416 <sup>ns</sup>	0,1732 <sup>ns</sup>	0,0615**	1,2487 <sup>ns</sup>	0,0568 <sup>ns</sup>	0,1270 <sup>ns</sup>	0,2446 <sup>ns</sup>	0,0287 <sup>ns</sup>	14,9551 <sup>ns</sup>	0,1957 <sup>ns</sup>	50,8247 <sup>ns</sup>	40002,0005 <sup>ns</sup>
erro 2	80	8,4762	0,0384	12,5302	0,6791	0,0158	4,8648	0,0546	0,8319	0,0106	0,0048	34,5486	0,2535	4,2879	10321,2208
Total	214														
C.V.1 (%)		4,83	4,27	5,47	3,93	7,39	4,15	4,03	3,59	3,18	4,18	2,23	2,18	2,20	2,21
C.V.2 (%)		4,85	5,38	5,48	3,83	5,03	3,74	4,11	3,80	4,08	2,80	2,13	1,93	1,93	2,18
		-----g kg <sup>-1</sup> -----										-----kg ha <sup>-1</sup> -----			
Média		59,97	3,64	64,61	21,49	2,9	58,91	5,68	24,00	2,52	2,49	276,30	26,10	107,26	4.670,66

<sup>ns</sup>não significativo, \*significativo (p<0,05) e \*\*significativo (p<0,01). GL – graus de liberdade, PROD – Produtividade da cultura da soja, TNF – Teor foliar de N, TNP – Teor foliar de P, TNK – Teor foliar de K, TCAF – Teor foliar de Ca, TSF – Teor foliar de S, NGR – Teor de N nos grãos, PGR – Teor de P nos grãos, KGR – Teor de K nos grãos, CAGR – Teor de Ca nos grãos, SGR – Teor de S nos grãos, Nexp – N exportado, Pexp – P exportado, Kexp – K exportado,

Tabela 31 – Quadro de análise de variância com os quadrados médios e média apresentada dos atributos químicos do solo na camada de 0 a 0,20 m, em função da implantação de plantas de cobertura cultivadas no inverno. Corbélia-PR, 2021.

Fontes de variação	GL	C	P	P-rem	K	Ca	Mg	pH	Al	CTC	SB	V	SatK	SatCa	SatMg	Ca/K	Ca/Mg	Mg/K	
F Bloco	3	1,1934 <sup>ns</sup>	0,1435 <sup>ns</sup>	0,0933 <sup>ns</sup>	0,0001 <sup>ns</sup>	0,5770	0,0002 <sup>ns</sup>	0,0137 <sup>ns</sup>	0,0000 <sup>ns</sup>	0,1053 <sup>ns</sup>	0,4918 <sup>ns</sup>	25,3863 <sup>ns</sup>	0,1022 <sup>ns</sup>	2,0052 <sup>*</sup>	0,030 <sup>ns</sup>	0,0093 <sup>ns</sup>	0,0022 <sup>ns</sup>	0,0035 <sup>ns</sup>	
F Plantas de Cobertura	8	46,4849 <sup>**</sup>	7,7815 <sup>**</sup>	8,2029 <sup>**</sup>	0,0207 <sup>ns</sup>	7,5041 <sup>**</sup>	0,0756 <sup>**</sup>	0,1735 <sup>**</sup>	0,0000 <sup>ns</sup>	4,8716 <sup>**</sup>	9,1162 <sup>**</sup>	869,9765 <sup>**</sup>	1,4410 <sup>**</sup>	767,4123 <sup>**</sup>	11,8051 <sup>**</sup>	26,6137 <sup>**</sup>	1,7245 <sup>**</sup>	1,3181 <sup>**</sup>	
erro 1	24	1,9724	0,2667	0,0995	0,0002	0,4648	0,0012	0,0137	0,0000	0,0980	0,4760	34,5755	0,1179	0,4480	0,0813	0,0609	0,0021	0,0169	
F Gessagem	1	0,3833 <sup>ns</sup>	0,3840 <sup>ns</sup>	0,3163 <sup>*</sup>	0,0207 <sup>**</sup>	53,2286 <sup>**</sup>	0,3639 <sup>**</sup>	0,1457 <sup>**</sup>	0,0000 <sup>ns</sup>	0,0143 <sup>ns</sup>	52,4347 <sup>**</sup>	2754,4476 <sup>**</sup>	29,6541 <sup>**</sup>	3793,6550 <sup>**</sup>	23,1272 <sup>**</sup>	400,7993 <sup>**</sup>	22,4234 <sup>**</sup>	2,8010 <sup>**</sup>	
F Tratamentos * Gessagem	8	1,0189 <sup>ns</sup>	0,1124 <sup>ns</sup>	6,0077 <sup>ns</sup>	0,0212 <sup>ns</sup>	2,8688 <sup>**</sup>	0,0321 <sup>**</sup>	0,0375 <sup>*</sup>	0,0000 <sup>ns</sup>	0,5634 <sup>**</sup>	3,1073 <sup>**</sup>	185,0274 <sup>**</sup>	0,8122 <sup>**</sup>	121,2192 <sup>**</sup>	2,2494 <sup>**</sup>	7,9847 <sup>**</sup>	0,5401 <sup>**</sup>	0,3077 <sup>**</sup>	
erro 2	27	1,8272	0,2503	0,0749	0,0002	0,4870	0,0021	0,0139	0,0000	0,0669	0,5575	37,8852	0,0967	0,4678	0,0627	0,0499	0,0017	0,0069	
Total	71																		
C.V.1 (%)		5,62	8,08	3,66	3,96	14,05	1,67	2,53	0,00	1,73	9,33	10,83	6,12	1,88	1,89	2,08	1,99	2,52	
C.V.2 (%)		5,41	7,82	3,18	3,88	14,39	2,21	2,54	0,00	1,75	10,09	11,34	5,54	1,92	1,66	1,09	1,78	1,62	
		g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mg L	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		%	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	%	%	%	%	Relação	Relação	Relação	
Média		24,99	6,39	8,62	0,36	4,85	2,07	4,64	0,00	12,02	7,39	54,29	2,96	35,69	15,12	11,85	2,33	5,15	

<sup>ns</sup>não significativo, <sup>\*</sup>significativo (p<0,05) e <sup>\*\*</sup>significativo (p<0,01). GL – graus de liberdade, C – teor de carbono, P – teor de fósforo, P-rem – teor de fósforo remanescente, K – teor de potássio, Ca – teor de cálcio, Mg – teor de magnésio, pH – pH em cloreto de cálcio, Al – saturação por alumínio, SC – soma de bases, V – saturação por bases, SatK – saturação por potássio, SatCa – saturação por cálcio, SatMg – saturação por magnésio, Ca/K – relação cálcio/potássio, Ca/Mg – relação cálcio/magnésio, Mg/K relação magnésio/potássio.

Tabela 32 – Quadro de análise de variância com os quadrados para as variáveis analisadas após os três anos, em função da implantação de plantas de cobertura cultivadas no inverno. Corbélia-PR, 2021.

Fontes de variação	Nbal	Pbal	Kbal	EficN	EficP	EficK	Rend Total
F Bloco	169,3637 <sup>ns</sup>	0,8259 <sup>ns</sup>	29,7458 <sup>ns</sup>	28,2293 <sup>ns</sup>	5,8292 <sup>ns</sup>	4,7251 <sup>ns</sup>	604,9143 <sup>ns</sup>
F Plantas de Cobertura	53780,6022 <sup>**</sup>	8454,7523 <sup>**</sup>	27107,5623 <sup>**</sup>	6274,8038 <sup>*</sup>	706,3887 <sup>**</sup>	232,1414 <sup>**</sup>	2573753,8265 <sup>**</sup>
erro 1	279,8125	0,9076	55,5909	47,4395	9,1910	7,7252	1425,7756
F Gessagem	390,9800 <sup>ns</sup>	464,2231 <sup>**</sup>	41021,0963 <sup>**</sup>	37,9442 <sup>ns</sup>	6,0080 <sup>ns</sup>	5,2881 <sup>ns</sup>	166189,4808 <sup>ns</sup>
F Tratamentos * Gessagem	437,4729 <sup>ns</sup>	7,0641 <sup>ns</sup>	208,8394 <sup>**</sup>	59,8388 <sup>ns</sup>	10,0471 <sup>ns</sup>	8,7379 <sup>ns</sup>	38494,8605 <sup>ns</sup>
erro 2	209,0599	1,5249	38,9747	33,7883	7,8948	6,3803	1387,7247
Total							
C.V.1 (%)	-2,17	3,56	-2,22	2,16	2,19	2,18	27,02
C.V.2 (%)	-1,88	4,62	-1,86	1,83	2,03	1,98	26,05
Média	Relação	Relação	Relação	%	%	%	kg ha <sup>-1</sup> a
	-769,13	26,74	-335,95	318,37	138,63	127,76	14081,28

<sup>ns</sup>não significativo, \*significativo (p<0,05) e \*\*significativo (p<0,01). GL – graus de liberdade, Nbal – balanço de N no solo, Pbal – balanço de P no solo, Kbal – balanço de K no solo, EficN – eficiência de uso de N, EficP – eficiência no uso de P, EficK – eficiência no uso de K, Rend Total – rendimento de grãos total dos 3 cultivos de soja.

Tabela 33 – Quadro de análise de variância com os quadrados médios e média apresentada dos atributos químicos do solo na camada de 0,20 a 0,40 m, em função da implantação de plantas de cobertura cultivadas no inverno. Corbélia-PR, 2021.

Fontes de variação	GL	C	P	K	Ca	Mg	pH	Al	CTC	SB	V	SatK	SatCa	SatMg	Ca/K	Ca/Mg	Mg/K
F Bloco	3	0,2939 <sup>ns</sup>	0,030 <sup>ns</sup>	0,00007 <sup>ns</sup>	0,0711 <sup>ns</sup>	0,0002 <sup>ns</sup>	0,0041 <sup>ns</sup>	4,1643 <sup>ns</sup>	0,0074 <sup>ns</sup>	0,0760 <sup>ns</sup>	8,1089 <sup>ns</sup>	1,5036 <sup>ns</sup>	0,0591 <sup>ns</sup>	0,0185 <sup>ns</sup>	0,999 <sup>ns</sup>	0,0014 <sup>ns</sup>	0,0048 <sup>ns</sup>
F Plantas de Cobertura	8	18,1702**	2,7030**	0,0018**	2,2100**	0,1608**	0,0569**	18,4085**	1,7847**	3,4818**	238,8691 <sup>ns</sup>	24,9734**	218,0774**	8,5429**	33,8062**	1,4053**	1,1161**
erro 1	24	0,5971	0,0393	0,0000	0,0891	0,0009	0,0095	3,5126	0,0435	0,1090	8,0949	1,0300	0,0770	0,0575	0,0240	0,0008	0,0138
F Gessagem	1	2,0333 <sup>ns</sup>	0,0441 <sup>ns</sup>	0,00025 <sup>ns</sup>	9,0864**	1,6646**	0,0004 <sup>ns</sup>	4503,9967**	3,8025**	2,8215**	387,9890**	13,0460**	891,9694**	70,4741**	137,0687**	15,6093**	19,7546**
F Tratamentos * Gessagem	8	0,9976 <sup>ns</sup>	0,0299 <sup>ns</sup>	0,0003**	0,6536**	0,1101**	0,0077 <sup>ns</sup>	11,6797**	0,6390**	0,2885 <sup>ns</sup>	27,7852**	0,9305**	30,6754**	6,7215**	4,7794**	0,5251**	1,5205**
erro 2	27	0,5177	0,0386	0,0001	0,0912	0,0014	0,0066 <sup>ns</sup>	3,4794	0,0441	0,1162	9,1358	0,8768	0,0775	0,0545	0,0143	0,0010	0,0132
Total	71																
C.V.1 (%)		4,48	10,55	3,14	13,98	2,27	2,28	14,85	1,73	8,74	9,07	12,95	1,59	2,16	2,12	1,88	2,49
C.V.2 (%)		4,17	10,45	2,99	14,14	2,86	1,91	14,78	1,75	9,03	9,63	11,95	1,59	2,10	1,64	2,04	2,43
		g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		%	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	%	%	%	%	%	Relação	Relação	Relação
Média		17,24	1,87	0,27	2,13	1,34	4,28	12,62	12,02	3,77	31,38	2,37	17,45	11,1	7,29	1,58	4,73

<sup>ns</sup>não significativo, \*significativo (p<0,05) e \*\*significativo (p<0,01). GL – graus de liberdade, C – teor de carbono, P – teor de fósforo, K – teor de potássio, Ca – teor de cálcio, Mg – teor de magnésio, pH – pH em cloreto de cálcio, Al – saturação por alumínio, SC – soma de bases, V – saturação por bases, SatK – saturação por potássio, SatCa – saturação por cálcio, SatMg – saturação por magnésio, Ca/K – relação cálcio/potássio, Ca/Mg – relação cálcio/magnésio, Mg/K relação magnésio/potássio.

Tabela 34 – Quadro de análise de variância com os quadrados médios e média apresentada dos atributos biológicos do solo na camada de 0 a 0,10 m, em função da implantação de plantas de cobertura cultivadas no inverno. Corbélia-PR, 2021.

Fontes de variação	GL	COT	CBMS	QMIC	RBS	QCO2
F Rep	3	11,178 <sup>ns</sup>	46,6705 <sup>ns</sup>	0,0013 <sup>ns</sup>	0,0006 <sup>ns</sup>	0,0073 <sup>ns</sup>
F Rep * Anos	3	10,002 <sup>ns</sup>	0,3009 <sup>ns</sup>	0,000003 <sup>ns</sup>	0,000038958 <sup>ns</sup>	0,000037**
F Períodos	1	388,6374**	77621,0896**	0,9588**	0,0011 <sup>ns</sup>	20,3559**
F Plantas de Cobertura	8	96,222**	64643,5659**	1,1415**	0,0146**	13,6196**
F Plantas de Cobertura * Anos	8	37,2637**	12,5597 <sup>ns</sup>	0,0033	0,0107**	0,3934**
erro 1	48	8,3774	36,7612	0,0010	0,0004	0,0069
F Gessagem	1	0,0199 <sup>ns</sup>	4031,8983**	0,1020**	0,000014 <sup>ns</sup>	0,9062**
F Gessagem * Plantas de Cobertura	8	5,0221 <sup>ns</sup>	719,9564**	0,0227**	0,000011 <sup>ns</sup>	0,2933**
F Gessagem * Anos	1	1,2154 <sup>ns</sup>	0,5150 <sup>ns</sup>	0,0011 <sup>ns</sup>	1,9119 <sup>ns</sup>	0,0402*
F Gessagem * Pl. de Cobertura * Anos	8	3,2054 <sup>ns</sup>	11,3397 <sup>ns</sup>	0,0018*	0,000011 <sup>ns</sup>	0,0046 <sup>ns</sup>
erro 2	54	8,4762	24,9556	0,0007	0,000457 <sup>ns</sup>	0,0066
Total	143					
C.V.1 (%)		2,21	2,26	2,23	2,17	2,11
C.V.2 (%)		1,96	1,86	1,86	1,93	2,06
		g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	%	mg de C - CO2 kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>	Relação
Média		18,00	268,10	1,43	1,02	3,94

<sup>ns</sup>não significativo, \*significativo (p<0,05) e \*\*significativo (p<0,01). GL – graus de liberdade, COT – Carbono orgânico total, CBMS – Carbono da biomassa microbiana, QMIC - quociente microbiano, RBS – respiração basal do solo, QCO2 - quociente metabólico.

Tabela 35 – Quadro de análise de variância com os quadrados médios e média apresentada dos atributos biológicos do solo na camada de 0 a 0,10 m, em função da implantação de plantas de cobertura cultivadas no inverno. Corbélia-PR, 2021.

Fontes de variação	GL	Beta	Fosfatase	Sulfatase
F Plantas de Cobertura	8	10067,74**	391593,9101**	6994,3958**
F Bloco	3	31,3924 <sup>ns</sup>	950,2589 <sup>ns</sup>	25,8215 <sup>ns</sup>
Erro 1	24	15,9477	390,7091	11,9760
F Anos	1	5818,1680**	1059328,4029**	9034,7422**
F Plantas de cobertura x Anos	8	2614,5591**	25446,4856**	1947,1191**
erro 2	27	0,2803	13,7269	0,1855
Total	71			
C.V.1 (%)		2,64	2,40	2,36
C.V.2 (%)		0,35	0,45	0,29
Média		$\mu\text{g PNG. g}^{-1} \text{ solo, h}^{-1}$	$\mu\text{g PNF. g}^{-1} \text{ solo, h}^{-1}$	$\mu\text{g PNS. g}^{-1} \text{ solo, h}^{-1}$
		151,37	822,05	146,33

<sup>ns</sup>não significativo, \*significativo (p<0,05) e \*\*significativo (p<0,01). GL – graus de liberdade, Beta – Beta – glicosidase, Fosfatase. – fosfatase ácida, Sulfatase – Aril Sulfatase.

Tabela 36 – Quadro de análise de variância com os quadrados médios e média apresentada dos atributos biológicos do solo na camada de 0 a 0,10 m, em função da implantação de plantas de cobertura cultivadas no inverno. Corbélia-PR, 2021.

Fontes de variação	Cobertura0	Cobertura30	Cobertura60	Cobertura90	Cobertura120	Massa0	Massa30	Massa60	Massa90	Massa120
F Bloco	9,2592 <sup>ns</sup>	11,1111 <sup>ns</sup>	75,4621 <sup>ns</sup>	124,0740 <sup>ns</sup>	126,2037 <sup>ns</sup>	1598409,00 <sup>ns</sup>	2249830,82 <sup>ns</sup>	64449,90 <sup>ns</sup>	35500,35 <sup>ns</sup>	98078,90 <sup>ns</sup>
F Plantas de Cobertura	5710,7638**	5193,0500**	6321,8750**	5743,7500**	5460,7638**	62514813,05**	55928120,26**	40508014,67**	3572912,89**	27255136,70**
erro 1	85,3009	40,2700	64,0046	55,3240	25,5787	1392412,0400	1315979,6200	286807,3900	221305,8600	130252,7152
F Ano	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	32788802,00**	17551825,01**	10857023,39**	15139670,22**	10654497,34**
F Tratamentos * Ano	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	32226662,50**	2648020,88**	744119,56**	865051,75**	945612,53**
erro 2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	2,6781	294698,5400	177923,3100	213908,7600	111944,3200
Total										
C.V.1 (%)	11,05	8,22	11,23	11,02	7,76	21,44	21,64	12,23	12,01	10,74
C.V.2 (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,24	9,64	11,80	9,96
Média	-----%					-----kg ha <sup>-1</sup> -----				
	83,61	77,22	71,25	67,50	65,13	5503,29	5302,12	4377,51	3918,52	3359,48

<sup>ns</sup>não significativo, \*significativo (p<0,05) e \*\*significativo (p<0,01). GL – graus de liberdade, Cobertura – Cobertura de solo aos 0, 30, 60, 90 e 120, após a dessecação química das plantas de cobertura após a colheita do milho segunda safra. Cobertura – Massa seca remanescente aos 0, 30, 60, 90 e 120, após a dessecação química das plantas de cobertura após a colheita do milho segunda safra.

Tabela 37 – Demonstrativos dos tratamentos, fertilizantes, doses e quantidades de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O aplicados em cada cultivo e total três cultivos. Corbélia-PR, 2021.

Cultivo	Safr	Cultura planta de cobertura	Ausência		Presença		Ausência		Presença		Ausência		Presença		Ausência		Presença																		
			Gesso		Gesso		Gesso		Gesso		Gesso		Gesso		Gesso		Gesso																		
			Fórmula (N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O-Ca-S)																																
			%				Dose				N				P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>				K <sub>2</sub> O				Ca				S								
																kg ha																			
																			273	1064,28															624,71
1	17/17	Crotalaria juncea + Brachiaria ruziziensis	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																
		Crotalaria juncea + Milheto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																
		Milheto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																
		Crotalaria juncea	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																
		Crotalaria spectabilis	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																
		Crotalaria ochroleuca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																
		Milho Segunda Safr	12	20	10	-	10	12	20	10	-	10	330,50	330,50	39,66	39,66	66,1	66,1	33,05	33,05	-	-	33,05	33,05											
		Urochloa ruziziensis	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-											
Pousio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-													
2	17/18	Soja	04	24	12	08	05	04	24	12	08	05	330,00	330,00	13,20	13,20	79,20	79,20	39,60	39,60	26,40	26,40	16,50	16,50											
3	18/18	Crotalaria juncea + Brachiaria ruziziensis	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																
		Crotalaria juncea + Milheto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																
		Milheto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																
		Crotalaria juncea	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																
		Crotalaria spectabilis	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																
		Crotalaria ochroleuca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																
		Milho Segunda Safr	08	20	20	20	01	08	20	20	20	01	405,50	405,50	32,44	32,44	81,1	81,1	81,1	81,1	81,1	81,1	4,06	4,06											
		Urochloa ruziziensis	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-											
Pousio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-													
4	18/19	Soja	04	19	14	11	05	04	19	14	11	05	330,00	330,00	13,20	13,20	62,70	62,70	46,20	46,20	36,30	36,30	16,50	16,50											
5	19/19	Crotalaria juncea + Brachiaria ruziziensis	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																
		Crotalaria juncea + Milheto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																
		Milheto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																
		Crotalaria juncea	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																
		Crotalaria spectabilis	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																
		Crotalaria ochroleuca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																
		Milho Segunda Safr	12	20	10	-	10	12	20	10	-	10	330,57	330,57	39,67	39,67	66,11	66,11	33,06	33,06	-	-	33,06	33,06											
		Urochloa ruziziensis	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-											
Pousio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-													
6	19/20	Soja	04	24	12	10	03	04	24	12	10	03	372,00	372,00	14,88	14,88	89,28	89,28	44,64	44,64	37,20	37,20	11,16	11,16											
Total	2017 /2018 /2019	Crotalaria juncea + Brachiaria ruziziensis															41,28	41,28	231,18	231,18	130,44	130,44	372,90	1164,18	44,16	668,87									
		Crotalaria juncea + Milheto															41,28	41,28	231,18	231,18	130,44	130,44	372,90	1164,18	44,16	668,87									
		Milheto															41,28	41,28	231,18	231,18	130,44	130,44	372,90	1164,18	44,16	668,87									
		Crotalaria juncea															41,28	41,28	231,18	231,18	130,44	130,44	372,90	1164,18	44,16	668,87									
		Crotalaria spectabilis															41,28	41,28	231,18	231,18	130,44	130,44	372,90	1164,18	44,16	668,87									
		Crotalaria ochroleuca															41,28	41,28	231,18	231,18	130,44	130,44	372,90	1164,18	44,16	668,87									
		Milho Segunda Safr															153,05	153,05	444,49	444,49	277,65	277,65	454,00	1245,28	114,32	739,03									
		Urochloa ruziziensis															41,28	41,28	231,18	231,18	130,44	130,44	372,90	1164,18	44,16	668,87									
Pousio															41,28	41,28	231,18	231,18	130,44	130,44	372,90	1164,18	44,16	668,87											