

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS MARECHAL CÂNDIDO RONDON**

GUSTAVO MOISÉS TORTELLI

**SISTEMAS DE CULTIVO DE GRÃOS NO OESTE PARANAENSE E SEUS
IMPACTOS NA QUALIDADE FÍSICA E BIOLÓGICA DO SOLO**

MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ

2023

GUSTAVO MOISÉS TORTELLI

**SISTEMAS DE CULTIVO DE GRÃOS NO OESTE PARANAENSE E SEUS
IMPACTOS NA QUALIDADE FÍSICA E BIOLÓGICA DO SOLO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Paulo Sérgio Rabello de Oliveira

Coorientadora: Edleusa Pereira Seidel

MARECHAL CÂNDIDO RONDON – PARANÁ

2023

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Tortelli, Gustavo Moisés

SISTEMAS DE CULTIVO DE GRÃOS NO OESTE PARANAENSE E SEUS IMPACTOS NA QUALIDADE FÍSICA E BIOLÓGICA DO SOLO / Gustavo Moisés Tortelli; orientador Paulo Sérgio Rabello de Oliveira; coorientadora Edleusa Pereira Seidel. -- Marechal Cândido Rondon, 2023.

86 p.

Dissertação (Mestrado Acadêmico Campus de Marechal Cândido Rondon) -- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2023.

1. Qualidade do solo. 2. Microbiologia do solo. 3. .Atividade enzimática. 4. Física do solo. I. Oliveira, Paulo Sérgio Rabello de, orient. II. Seidel, Edleusa Pereira, 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.



GUSTAVO MOISÉS TORTELLI

Sistemas de cultivo de grãos no Oeste Paranaense e seus impactos na qualidade física e biológica do solo

Dissertação 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 Mestre em Agronomia, área de concentração Produção Vegetal, linha de pesquisa Manejo de Culturas, **APROVADO** pela seguinte banca examinadora:

Orientador - Paulo Sérgio Kabelle de Oliveira

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

Emerson Fey

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

Márcio Luis Vieira

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Campus Sertão

Vandeir Francisco Guimarães
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Agronomia

Marechal Cândido Rondon, 24 de novembro de 2023

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Adecir e Leonora pelo dom da vida, por sempre me ensinarem o caminho correto a seguir e mais do que isso, sempre foram modelos de ética, moral e determinação.

À minha amada esposa Daiane por sempre me apoiar e compreender meus momentos de ausência, estar sempre ao meu lado compartilhando minhas angústias e preocupações, sendo meu porto seguro em momentos difíceis.

Ao meu filho Bernardo por alimentar minhas esperanças e me dar força a cada sorriso que estampa em seu rosto.

Aos professores Dr. Paulo meu orientador e a Dra. Edleusa minha coorientadora, pelos ensinamentos e orientação durante o mestrado.

À Cooperativa Agroindustrial Consolata (Copacol) pela visão e sabedoria quanto a importância da qualificação profissional na excelência de seus serviços, sendo assim apoiou e me permitiu dedicar parte do período de trabalho para a realização do mestrado.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE pela disponibilização do excelente curso, possibilitando meu crescimento pessoal e profissional.

EPÍGRAFE

“A menos que modifiquemos à nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma que nos acostumamos a ver o mundo”

(ALBERT EINSTEIN)

RESUMO

TORTELLI, Gustavo, Moisés, Universidade Estadual do Oeste Paraná, novembro – 2023. **SISTEMAS DE CULTIVO DE GRÃOS NO OESTE PARANAENSE E SEUS IMPACTOS NA QUALIDADE FÍSICA E BIOLÓGICA DO SOLO.** Orientador: Paulo Sérgio Rabello de Oliveira. Coorientadora: Edleusa Pereira Seidel.

A agricultura brasileira tem se destacado a nível global devido a seu grande potencial produtivo, de forma que o Brasil se tornou um dos grandes exportadores a nível mundial e apontado como o principal fornecedor de alimentos para o mundo nas próximas décadas. Possuindo capacidade de cultivar duas ou mais safras por ano em algumas regiões, essa produção intensiva tem gerado influência sobre a qualidade do solo. Com o objetivo de avaliar os efeitos desta influência sobre a qualidade física e microbiológica do solo adotou-se os principais sistemas produtivos de grãos do Oeste paranaense. O delineamento adotado foi o de blocos casualizados com cinco tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram soja/milho 2ª safra (S1), soja/milho 2ª safra/aveia preta após colheita do milho, com alternância para trigo (S2), soja/milho 2ª safra + *Brachiaria* (S3), soja/trigo (S4) e soja/aveia (S5). O experimento foi implantado em janeiro de 2020 com a cultura do milho e perdurou até a colheita do milho na safra 2022. Para a avaliação estrutural do solo procedeu-se com o diagnóstico rápido da estrutura do solo (DRES) e as amostras foram coletadas na camada de 0 – 25 cm, para a determinação do diâmetro médio geométrico (DMG), índice de estabilidade de agregados (IEA), carbono orgânico do solo (COT) e para as análises de carbono de biomassa microbiana, respiração basal, análise das enzimas β -glicosidade, Arilsulfatase e fosfatase foram coletadas amostras na camada de 0 – 10 cm. Quando avaliado a estrutura do solo via DRES o IQES, dos manejos S1, S2 e S3 apresentaram 4,32, 4,29 e 4,47, respectivamente, se diferenciando estatisticamente dos manejos S4 e S5, os quais apresentaram o IQES de 3,51 e 3,54. Já para o diâmetro médio geométrico (DMG), índice de estabilidade de agregados (IEA) e carbono orgânico do solo (COT) os sistemas produtivos foram semelhantes. Na avaliação dos efeitos dos manejos sobre a microbiota do solo, os parâmetros de carbono de biomassa microbiana, respiração basal, β -glicosidade, Arilsulfatase e fosfatase não houve diferença entre os manejos, de forma que não foi possível evidenciar os efeitos em decorrência dos manejos empregados. O curto período de tempo decorrido entre a implantação do experimento e a coleta das amostras teve efeito direto nos resultados, tendo por base que a alteração destas características através de manejos culturais necessitam de maior tempo para que seja possível mensurar seus efeitos.

Palavras chave: Qualidade do solo. Física do solo. Atividade enzimática.

ABSTRACT

TORTELLI, Gustavo Moisés, Universidade Estadual do Oeste Paraná, November – 2023. **GRAIN CULTIVATION SYSTEMS IN WEST PARANA AND THEIR IMPACTS ON THE PHYSICAL AND BIOLOGICAL QUALITY OF THE SOIL.** Advisor: Paulo Sérgio Rabello de Oliveira. Co-supervisor: Edleusa Pereira Seidel.

Brazilian agriculture has stood out at a global level due to its great productive potential, so that Brazil has become one of the largest exporters worldwide and identified as the main supplier of food to the world in the coming decades. Having the capacity to grow two or more crops per year in some regions, this intensive production has influenced soil quality. With the aim of evaluating the effects of this influence on the physical and microbiological quality of the soil, the main grain production systems in Western Paraná were adopted. The design adopted was that of randomized blocks with five treatments and four replications. The treatments were soy/corn 2nd harvest (S1), soy/corn 2nd harvest/black oats after corn harvest, with alternation to wheat (S2), soy/corn 2nd harvest + Brachiaria (S3), soy/wheat (S4) and soy/oats (S5). The experiment was implemented in January 2020 with the corn crop and lasted until the corn harvest in the 2022 harvest. For the soil structural assessment, rapid soil structure diagnosis (DRES) was carried out and the samples were collected at the layer of 0 – 25 cm, for determining the geometric mean diameter (GMD), aggregate stability index (IEA), soil organic carbon (TOC) and for the analysis of microbial biomass carbon, basal respiration, enzyme analysis β -glucosidase, Arylsulfatase and phosphatase were collected samples in the 0 – 10 cm layer. When evaluating the soil structure via DRES, the IQES of managements S1, S2 and S3 presented 4.32, 4.29 and 4.47, respectively, statistically different from managements S4 and S5, which presented an IQES of 3.51 and 3.54. For the geometric mean diameter (GMD), aggregate stability index (IEA) and soil organic carbon (TOC), the production systems were similar. In the evaluation of the effects of management on the soil microbiota, the parameters of microbial biomass carbon, basal respiration, β -glucosidase, Arylsulfatase and phosphatase, there was no difference between the managements, so it was not possible to highlight the effects resulting from the management employees. The short period of time that elapsed between the implementation of the experiment and the collection of samples had a direct effect on the results, based on the fact that the alteration of these characteristics through cultural management requires more time to be able to measure their effects.

Keywords: Soil quality. Soil physics. Enzymes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Centro de Pesquisa Agrícola (CPA), localizado no município de Cafelândia – Paraná, Latitude: 24°37'17.62" S, Longitude: 53°18'19.80" O.....	41
Figura 2 - Área e disposição das parcelas do experimento.....	42
Figura 3 - Precipitação e temperatura no período de janeiro de 2020 a dezembro de 2020 na estação meteorológica do Centra de Pesquisa Agrícola (CPA).	43
Figura 4 - Precipitação e temperatura no período de janeiro de 2021 a dezembro de 2021 na estação meteorológica do Centra de Pesquisa Agrícola (CPA).	44
Figura 5 - Precipitação e temperatura no período de janeiro de 2022 a setembro de 2022 na estação meteorológica do Centra de Pesquisa Agrícola (CPA).	44
Figura 6 - Agitador de peneiras Yoder para determinação de estabilidade de agregado.	53
Figura 7 - Esquema ilustrativo do sentido da trincheira e posicionamento do local de retirada do bloco do solo em relação a linha de semeadura da cultura.	55
Figura 8 - Atribuições das notas de qualidade do solo referente as características de cada camada da amostra de solo (Qec).	56
Figura 9 - Imagem comparativa entre os manejos: S1, S2 e S3 - sistema onde há apenas a utilização de haste sulcadora (cultura de verão e safrinha); S4 e S5 - sistema onde há o cultivo com haste sulcadora e cultivo com disco a 17cm de espaçamento (cultivo de verão e inverno respectivamente).....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise de solo das diferentes profundidades.	43
Tabela 2 - Demonstrativo dos sistemas produtivos adotados e cultura plantada por safra.	45
Tabela 3 - Demonstra o Diâmetro médio geométrico (DMG), índice de estabilidade de agregados (IEA), índice de qualidade estrutural do solo (IQES) e teores de carbono orgânico total em diferentes sistemas de manejo no Oeste do Paraná.	59
Tabela 4 - Valores referentes a respiração basal e carbono de biomassa microbiana de cada sistema produtivo de grãos.....	80
Tabela 5 - Atividade enzimática da β -glicosidade, Arilsulfatase e Fosfatase.....	83

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Al	Alumino
C	Carbono
CBM	Carbono de biomassa microbiana
Cm	Centímetro
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
COT	Carbono orgânico do solo
CPA	Centro de Pesquisa Agrícola
CTC	Capacidade de troca de cátions
DBC	Blocos casualizados
DMG	Diâmetro médio geométrico
DRES	Diagnóstico rápido da estrutura do solo
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EUA	Estados Unidos da América
G	Gramma
ha ⁻¹	Hectare
IEA	Índice de estabilidade de agregados
IHO	Intervalo hídrico ótimo
IQES	Índice de qualidade estrutural do solo
K	Potássio
KCl	Cloreto de potássio
Kg	Quilograma
L	Litro
Mg	Magnésio
ml	Mililitro
Mm	Milímetros
MSPA	Redução de massa seca da parte aérea
MSR	Massa seca das raízes
MST	Massa seca total
N	Nitrogênio
P	Fósforo
pH	Potencial hidrogeniônico

RBS	Respiração basal do solo
RP	Resistência da penetração
RS	Rio Grande do Sul
S	Enxofre
S1	Sistema 1
S2	Sistema 2
S3	Sistema 3
S4	Sistema 4
S5	Sistema 5
SPD	Sistema de plantio direto
THAM	Tampão tris(hidroximetil)aminometano
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
VR	Volume radicular

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	CULTURAS	19
2.2	QUALIDADE DO SOLO	22
2.2.1	Parâmetros físicos.....	22
2.2.2	Microbiologia do solo.....	24
3	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30
4	CAPÍTULO 1 – EFEITOS DOS SISTEMAS PRODUTIVOS DE GRÃOS DA REGIÃO DO OESTE PARANAENSE SOBRE O CARBONO ORGÂNICO TOTAL DO SOLO E AS PROPRIEDADES FÍSICAS DE UM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRICO.....	37
4.1	INTRODUÇÃO	39
4.2	MATERIAL E MÉTODOS	41
4.2.1	Local do experimento.....	41
4.2.2	Histórico da área.....	42
4.2.3	Dados meteorológicos	43
4.2.4	Delineamento experimental	44
4.2.5	Sistemas de manejo	45
4.2.6	Características avaliadas.....	52
4.2.7	Análise estatística	57
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
4.4	CONCLUSÃO	64
5	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	65
6	CAPITULO 2 – IMPACTOS DOS SISTEMAS PRODUTIVOS DE GRÃOS DA REGIÃO DO OESTE PARANAENSE SOBRE A MICROBIOTA DO SOLO.....	69
6.1	INTRODUÇÃO.....	71
6.2	MATERIAL E MÉTODOS	73
6.2.1	Local do experimento.....	73
6.2.2	Histórico da área.....	73
6.2.3	Dados meteorológicos	73
6.2.4	Delineamento experimental	73
6.2.5	Sistemas de manejo	73
6.2.6	Enzimas	73
6.2.7	Biomassa Microbiana.....	75
6.2.8	Respiração basal	77

6.2.9	Análise estatística	79
6.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	80
6.4	CONCLUSÕES	85
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86

1 INTRODUÇÃO

Devido ao aumento populacional, estimativas apontam para uma população global a ordem dos 9,7 bilhões no ano de 2050 (UNITED NATIONS, 2022). Este fato, aliado ao aumento do poder aquisitivo da população em regiões mundiais com grande densidade populacional (China, Índia e África) tem impulsionado a demanda mundial por alimentos.

Estudos apontam que devido ao aumento da demanda global a produção de alimento mundial deve aumentar 60% até 2050. O Brasil tem papel primordial nesse aumento de produção de alimentos de forma que precisa aumentar em 40% sua produção até o ano de 2030 para que a demanda de alimento seja atendida nesse período (VIEIRA et al., 2019).

A busca por alternativas ao aumento do custo de produção e visando proporcionar uma produção agrícola mais sustentável além de mitigar a perda de rentabilidade nas áreas agrícolas, as quais são limitadas, tem se tornado uma preocupação constante de produtores e pesquisadores (DOTANIYA et al., 2019).

O sistema de plantio direto tornou-se um marco na produção agrícola devido a utilização de práticas que auxiliam na conservação do solo (SILVA, 2020). Para Trevisan (2017), tanto o manejo como a combinação de espécies empregadas têm interferência na qualidade física e hídrica de solo, tornando-se indispensável o monitoramento da qualidade do mesmo. Porém, o aumento do uso de fertilizantes químicos com o objetivo de aumentar a produtividade tem impactado negativamente condições físicas, químicas e biológicas do solo, o que resulta em um solo de menor qualidade (DOTANIYA et al., 2019).

Contudo, a atividade agrícola causa alterações da estrutura do solo, o que se deve a diminuição nos teores de matéria orgânica, em especial na camada superior do solo e ao tráfego de máquinas agrícolas. O que acarreta na alteração da dinâmica porosa do solo, ocasionado pela diminuição dos números de macroporos e aumento dos volumes de microporos (SILVA, 2021).

Conforme Fernandes (2018), a qualidade física do solo é reflexo do manejo empregado na área. A adoção de práticas como a rotação de culturas, diversificação de espécies vegetais e plantas de coberturas tem afetado de forma positiva os atributos do solo.

Segundo Sereia (2017), plantas de cobertura, sobretudo as gramíneas, possuem grande importância no sistema de semeadura direta, uma vez que a sua utilização tem contribuído tanto para a viabilidade técnica como para a econômica. A manutenção da palhada nas lavouras agrícolas sob sistema de plantio direto tem incrementado a infiltração de água em 13% quando comparado a lavouras onde não há manutenção de palhada (FERNANDES, 2018).

O consórcio de plantas forrageiras com culturas produtoras de grãos contribui para o incremento de matéria orgânica no solo, causando melhorias nas propriedades físicas do solo, bem como melhorando aspectos químicos e biológicos do solo. Nesse sentido, a *Brachiaria* tem contribuído para a reestruturação do solo e diminuído as perdas de água além de grande aporte de resíduos vegetais (SILVA, 2020). Para Colman (2017), a introdução de forrageiras em consórcio com o milho apresenta melhoras na qualidade físico-hídrica do solo uma vez que aumentam o intervalo hídrico ótimo (IHO). Tem-se com IHO a faixa de água disponível no solo onde fatores como aeração, resistência a penetração e disponibilidade de água influenciam no desenvolvimento das plantas (TORMENA et al., 1998).

A utilização de *Brachiaria ruziziensis* em associação a cultura do milho traz benefícios físicos ao solo quando comparado ao milho cultivado de forma solteira. O sistema de consorciação reduziu a resistência da penetração (RP) em 21,6% na camada de 0 - 10 cm de profundidade do solo e 23,8% na camada de 10 – 20 cm de profundidade (COLMAN, 2017).

O sistema de cultivo adotado tem influência direta nos atributos microbiológicos do solo, alterando as taxas de biomassa microbiana bem como a atividade enzimática nestas áreas. Solos que sofrem menos perturbação apresentam menor taxa de liberação de CO₂, fato que se deve a maior estabilidade e melhor eficiência da microbiota do solo, tornando o sistema de semeadura direta mais sustentável para a agricultura (FERREIRA et al., 2017).

A atividade microbiana geralmente é mais intensa na camada mais superficial do solo, por haver nesta camada maior disponibilidade de matéria orgânica, e esta atividade tende a diminuir nas camadas mais profundas devido a diminuição da matéria orgânica (MOURA et al., 2015).

Soluções que possam aliar um manejo de solo mais adequado de forma a trazer benefício a qualidade do solo e elevar os patamares de produção são de

extrema importância para que a agricultura brasileira continue evoluindo de forma sustentável.

Uma visão mais ampla do sistema produtivo buscando uma melhor qualidade do solo através de paramentos físicos, químicos e biológicos são de grande relevância para que se construa um sistema produtivo eficiente e duradouro, tornando desta forma o ambiente produtivo mais sustentável.

Os sistemas produtivos adotados pelos produtores do Oeste paranaense exercem influência sobre o solo e podem afetar a qualidade do mesmo. Diante do exposto é de fundamental importância conhecermos os efeitos deste manejo, sobre tudo o efeito da alternância de culturas de inverno sobre a saúde do solo, possibilitando assim vislumbrar um sistema produtivo mais sustentável.

Objetivando conhecer melhor as consequências dos modelos produtivos no solo e seus efeitos na sua qualidade física e biológica, buscou-se implantar os sistemas produtivos tradicionais da região oeste do estado do Paraná para averiguar quais os impactos destes manejos na qualidade do solo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CULTURAS

A soja (*Glycine max (L.) Merrill*) teve origem no nordeste da China, considerada uma das culturas mais antigas do mundo chegou nas Américas somente no final do século XVII, início de XVIII, mais precisamente nos Estados Unidos da América (EUA). No Brasil há relatos da ocorrência da soja na Bahia no ano de 1882; no entanto, a cultivar trazida dos EUA não se adaptou ao clima. Foi reintroduzida no Brasil por imigrantes japoneses no estado de São Paulo no ano de 1908 (SILVA et al., 2022).

Conforme a Embrapa (2023), a área mundial cultivada de soja foi de cerca de 136 milhões de hectares totalizando uma produção de aproximadamente 369 milhões de toneladas na safra 22/23. O Brasil se consolidou como o maior produtor mundial da *commodities* com uma produção aproximada de 125,5 milhões de toneladas na safra 21/22 e com uma produção para a safra 22/23 de 154,6 milhões de toneladas.

Segundo a Conab (2022a), deste montante, o consumo interno é de pouco mais de 56,7 milhões de toneladas e as exportações ultrapassam a marca 95,6 milhões de toneladas, de tal forma que se consolide como um dos maiores no segmento deste grão.

A cultura da soja tem um papel de destaque a nível nacional, com uma área cultivada de cerca de 43,4 milhões de hectares sendo a cultura mais cultivada no país. Sua utilização decorre da extração de óleo, bem como fonte de proteína através do farelo de soja, este amplamente utilizado como base proteica no trato animal (CONAB, 2023b).

Já o milho (*Zea mays L.*) é um cereal de grande importância na agricultura brasileira, cultivado em todas as regiões do Brasil. Desta forma, torna-se um cereal de grande importância no cenário agrícola devido a sua utilização. Atualmente este grão é destinado a produção de ração para alimentação animal, alimentação humana e produção de etanol entre outras utilidades (CONTINI et al., 2019).

Segundo a CONAB (2023b), a estimativa de produção de milho no território nacional para a safra 2022/2023 é de 127,7 milhões toneladas em uma área cultivada de 22,1 milhões de hectares. Chegando a estes volumes de produção o Brasil atingirá

o recorde de produção de milho, superando a produção da safra 2021/2022 em cerca de 12,9%.

A produção brasileira de grãos tem como seu principal modelo de produção a implantação da cultura da soja no verão e tendo logo após a sua colheita a implantação da cultura do milho, possibilitando assim produção de duas cultura em um mesmo ano safra (soja/milho segunda safra), exceto nas regiões mais frias ao sul do país. A implantação da cultura do milho segunda safra geralmente ocorre após a colheita da soja, o que impacta diretamente no rendimento do milho. O milho semeado nesse período tem a sua expressão genética limitada por fatores ambientais, uma vez que os dias passam a ser mais curtos e ocorre a redução da temperatura (MADALOSSO et al., 2019). Contudo, o milho segunda safra tem notória relevância para a produção agrícola de grãos uma vez que representa 75,94% da produção nacional deste cereal (CONAB, 2022b).

Conforme Almeida et al. (2018), dentre as culturas de cobertura destacam-se as do gênero *Brachiaria*, fato que se deve a uma melhor distribuição de sua parte aérea promovendo assim maior cobertura do solo, elevada capacidade de ciclagem de nutrientes, sistema radicular agressivo o que lhe confere maior capacidade de exploração de grande volume do solo, bem como auxilia na estruturação do solo.

Dentre as gramíneas forrageiras do gênero *Brachiaria*, que a mais cultivada nos sistemas de produção integrados é a *Brachiaria ruziziensis*. Esta apresenta crescimento estolonífero, porte baixo e confere boa cobertura do solo, não tolera climas frios e é relativamente exigente em fertilidade (DUARTE et al., 2019)

A *Brachiaria ruziziensis* tem capacidade de diminuir os riscos de erosão e diminuir o cisalhamento do solo devido ao impacto das gotas de chuva, tendo como consequência a diminuição da compactação (ABREU et al., 2017).

A *Brachiaria* possui elevada capacidade de ciclagem de nutrientes, principalmente potássio (K), fósforo (P), magnésio, (Mg), cálcio (Ca), nitrogênio (N) o que resulta em maior eficiência do sistema produtivo. Quando a cultura da soja foi implantada sob a palhada de *Brachiaria* houve uma redução de 50% da adubação de K para a cultura em questão (BIAZATTI, 2022).

De acordo com Seibert e Bosoi (2020), o consórcio de *Zea mays* segunda safra com *Brachiaria ruziziensis* não interferiu no peso de grãos da cultura, assim como não afetou a produtividade da cultura, mostrando-se uma alternativa viável e

promissora, em vista que além de não comprometer a cultura consorciada gera o aporte de palhada no sistema produtivo.

Para Ribeiro et al. (2018), o consórcio de milho segunda safra com *Brachiaria ruziziensis* é uma ferramenta importante para o sistema produtivo, podendo até mesmo ser considerado um manejo conservacionista, uma vez que possibilita o aumento da renda como consequência de sua produção, aumenta os teores de palha no sistema, mantém a umidade do solo e proporcionar a ciclagem de nutrientes.

A manutenção da matéria orgânica no solo, bem como a sua reposição, gera inúmeros benefícios, tais como: os solos tornam-se bem drenados, maior taxa de infiltração de água, diminuição do escoamento superficial e ciclagem e disponibilidade de nutrientes. Salienta-se ainda que melhora a qualidade do solo uma vez que altera as características químicas, físicas e microbiológicas do solo de forma positiva (PARIZ et al, 2017).

Conforme Seibert e Borsoi (2020), os resíduos culturais oriundos da *Brachiaria ruziziensis* proporcionam uma maior cobertura do solo, devido a sua biomassa e também ocorre a diminuição da incidência de plantas daninhas.

Outra cultura de destaque no inverno é a cultura do trigo (*Triticum aestivum*) que é originária do sudoeste da Ásia e é amplamente cultivada na Europa desde a pré-história servindo como base para alimentação de diversos povos. Relatos apontam que seu cultivo se iniciou em 1534 e se expande a partir de 1940 principalmente no Rio Grande do Sul.

A cultura do trigo tem papel de destaque dentre as culturas de inverno. Conforme dados levantados pela Conab (2023a), a estimativa de produção de trigo em 2023 deve atingir 10,2 milhões de toneladas, o que representa uma redução de cerca de 1% quando comparada a produção no ano de 2022.

O estado do Paraná se destaca na produção de trigo, sendo um dos maiores produtores do Brasil, com uma produção de 3,9 milhões de toneladas na safra de 2023 e frente da produção de 3,5 milhões de toneladas para a safra 2022, o que representa um aumento de aproximadamente 12% na produção no estado do Paraná (CONAB, 2023b).

A cultura da aveia preta é outra cultura muito adaptada as condições climáticas do sul do Brasil. Segundo Mori (2012), não se sabe ao certo quando a aveia preta (*Avena Strigosa Schreb*) foi introduzida no Brasil mas relatos demostram que foram

trazidas pelos espanhóis e sua produção no país decorre do século XV. Atualmente a aveia tem múltiplas formas de utilização, destacando-se a utilização do grão para alimentação animal, alimentação humana, formação de pastagem de inverno cobertura de solo e adução verde.

Conforme Wolschick et al. (2016), a aveia preta tem se destacado entre as plantas de cobertura de inverno devido a facilidade de aquisição de semente, ciclo, rusticidade, boa capacidade de cobertura do solo e alelopatia sobre algumas plantas daninhas. Possui elevada relação C/N o que resulta em uma baixa taxa de decomposição de forma a manter o solo coberto por um maior período além de acúmulo de nutrientes de sua parte aérea e raízes acarretando na ciclagem de nutrientes, principalmente Potássio (K), Nitrogênio (N), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e fósforo (P).

2.2 QUALIDADE DO SOLO

2.2.1 Parâmetros físicos

Agregados do solo são partículas de argilas, juntamente com particuladas orgânicas que se unem formando agregados sem forma definida, as quais estão separadas por um ponto de fraqueza (SANTOS et al., 2013).

Segundo Pereira (2020), inúmeros fatores interferem a agregação do solo. De forma direta destaca-se o material de origem, teor de argila, cálcio, hidróxidos de alumínio, ferro e manganês, matéria orgânica, exsudatos, vegetação e microrganismos; enquanto, de forma indireta destacam-se a teor de umidade e suas variações.

Conforme Loss et al. (2014), a formação do agregado e sua origem está intimamente ligada ao manejo empregado na área e as modificações que estes podem causar.

Pode-se classificar os agregados do solo em duas formas distintas: biogênicas que se referem a agregados formados devido a ação da macrofauna e plantas e os de origem fisiogênica, os quais são formados pelos ciclos de umedecimento e secagem além da adição de matéria orgânica (FERNANDES, 2016).

Os agregados biogênicos são formados a partir de excrementos da macrofauna, os quais se alimentam basicamente de matéria orgânica, o que acaba originando agregados com elevados teores de nutrientes e maior estabilidade em

água, além de gerar proteção a matéria orgânica. Desta forma pode-se incluí-lo com um fator que indica que a qualidade do solo, já que este são amplamente afetados pelo sistema e manejo de solo empregado (FERNANDES, 2016). Para Six (2000), a alteração de macroagregados para microagregados e a estabilização dos carbonos dentro dos macroagregados acarreta no aumento dos teores de matéria orgânica do solo em sistema de plantio direto.

A agregação é de grande importância para a estruturação do solo pelo fato de impactá-la diretamente, alterando a porosidade do solo e afetando diretamente a dinâmica de água no solo (RALISCH, 2017).

Agregados pouco estáveis acabam por sofrer facilmente o cisalhamento, seja pela ação da chuva ou ação antrópica. Esta desagregação afeta a estrutura do solo uma vez que as partículas de argilas menores acabam por descer no perfil do solo se alocando nos canais de condução de água e causando o entupimento dos mesmos (PEREIRA, 2020).

O sistema intensivo de uso do solo tem ocasionado alterações na estrutura do solo, podendo afetar negativamente o desenvolvimento das plantas (SILVA et al., 2017). Conforme Santos (2013), a estrutura de solo pode ser definida como o arranjo de partículas minerais e/ou orgânicas sem conformação definida.

Para avaliar a qualidade física do solo tem-se utilizado comumente como indicadores a densidade do solo e a porosidade. A densidade do solo é dependente de textura e da estrutura do solo, de forma a ser o atributo físico mais usual para determinar a compactação de um solo. A porosidade possibilita compreender melhor o ambiente, pois interfere diretamente no crescimento e desenvolvimento radicular das culturas, em função de afetar diretamente a retenção e a condução de água, a aeração e a resistência mecânica a penetração (SILVA et al., 2017). Para Silva et al (2020), a redução da porosidade do solo, em especial a macroporosidade é resultado dos tratamentos culturais que acabam por gerar compactação do mesmo.

Conforme Salton e Tomazi (2014), uma boa aeração, uma boa permeabilidade a água e um bom desenvolvimento de organismos vivos de forma a melhorar o desenvolvimento radicular das plantas são preceitos de um solo estruturado.

Visando a adoção de práticas que possibilitem uma melhor qualidade estrutural do solo e proporcionem um sistema agrícola mais eficiente e efetivo é necessário a

utilização de métodos de avaliação capazes de caracterizar de forma assertiva a estrutura do solo (RALISCH, 2017).

Segundo Fernandes (2016), a agregação e a estabilidade destes agregados estão diretamente ligada com a qualidade do solo. Proporcionando uma melhor estruturação e contribuindo de forma significativa no aumento do teor de carbono e na manutenção dos teores nutricionais do solo.

Segundo Ralisch (2017), a estrutura do solo afeta de forma direta a qualidade do solo, uma vez que tem influência sobre processos químicos, físicos e biológicos do solo. A biologia do solo e a estrutura do mesmo trabalham em via de mão dupla, uma afeta a outra, trazendo benefícios e malefícios dependendo do rumo que estes tomem.

2.2.2 Microbiologia do solo

A microbiota do solo é essencial para o pleno funcionamento do mesmo, sendo responsável por inúmeros processos de manutenção e funcionalidade. A diversidade de microrganismos torna o solo heterogêneo de forma a criar diversos micro-habitats (CARDOSO; ANDREOTE, 2016).

Para Novak et al. (2018), o aumento da microbiota no solo é de grande importância para a melhoria da qualidade do solo, além de auxiliar na recuperação de áreas. A qualidade do solo é a capacidade de um solo viabilizar a os processos biológicos, mantendo a qualidade ambiental (ARAÚJO, MONTERIO, 2007).

Os microrganismos do solo são responsáveis por inúmeros processos que proporcionam desde a decomposição de matérias vegetais, ciclagem de nutrientes, alteração na dinâmica de água no solo e sua estruturação (SILVA et al., 2021). Os processos microbiológicos ocorrem de forma diversa no solo, podendo muitas vezes o mesmo processo ser realizado por microrganismos distintos (CARDOSO; ANDREOTE, 2016).

Diversos fatores interferem na microbiota do solo, sejam eles bióticos ou abióticos. Fatores como pH, temperatura, disponibilidade de carbono orgânico, disponibilidade de nitrogênio tem influência na formação e diversidade da comunidade microbiológica. Além da umidade do solo interferir na diversidade da microbiota, possui grande poder e influência na quantidade de microbiota do solo (FEIRER, 2017).

O microclima possui efeito sobre a microbiota do solo, a qual apresentar sensibilidade aos efeitos do clima. A umidade do solo é fator primordial para atividade

microbiana do solo de forma que interfere diretamente na biota do solo, fato este que ocasionou variações nas contagens de fungos e bactérias do solo (MOURA et al., 2015). Conforme Feirer (2017), devido à grande variedade de fatores que interferem na quantidade e diversidade da microbiota do solo, em poucos centímetros de solo pode ocorrer grande variação dessa biota.

Segundo Bernard et al. (2013), quando a comunidade microbiana é exposta a baixa umidade do solo diminui significativamente a quantidade e com o retorno da umidade do solo os valores de antes do estresse hídrico retornam. Contudo, observou que o efeito da baixa umidade do solo é distinto para bactérias e fungos, sendo os fungos menos afetados pelo estresse hídrico enquanto bactérias apresentam maior celeridade na retomada das atividades quando ocorre o entrada de umidade no solo.

Resultados similares foram encontrados por Kavamura (2013), onde, comunidades bacterianas contida na rizosfera das plantas da Caatinga são influenciadas e afetadas pela dinâmica de água no solo, sendo que estas diminuem no período que o solo se encontra com baixo teor de umidade. Estes resultados demonstram sua sensibilidade a estresses hídricos (BERNARD et al., 2013; FELSMANN, 2015).

A microbiota do solo possui uma boa resiliência apresentando capacidade de se adaptar as mudanças climáticas. Com o retorno na umidade do solo a microbiota apresenta uma resposta metabólica acelerada (BERNARD et al., 2013), possuindo grande capacidade de multiplicação (KAVAMURA, 2013).

Em pesquisa realizado por Bernard et al. (2013), ao estudar o impacto do déficit hídrico em 3 distintos locais, observaram que houve diminuição na quantidade total de fungos e bactérias, sendo que em todos os locais a resposta a estresse hídrico afetou da mesma forma as microbiota do solo.

Estudos realizados por Azarbad et al. (2022), demonstram que o estresse hídrico de curto prazo afeta a comunidade microbiana do solo de forma a selecionar a que possui maior resiliência a falta de umidade. Regiões onde o estresse hídrico é mais corriqueiro, os impactos a biota do solo são menores, ocorrendo uma correlação entre estresse hídrico e sensibilidade da microbiota. Desta forma, esses microrganismos acabam por criar uma identidade do solo, tornando-o mais responsivo a intemperes climáticas. Esta construção de uma biota específica tem-se comumente chamado de memória do solo.

Para De-polli e Guerra (1997), o carbono de biomassa microbiana é uma forma eficiente de avaliar a quantidade de microrganismos do solo, uma vez que estes são compostos por carbono.

Segundo Silva et al. (2007), a soma de todas as funções metabólicas de um solo resulta na respiração basal do solo, na qual fungos e bactérias são os principais responsáveis pela liberação de CO₂ para atmosfera através da degradação de matéria orgânica.

Sistemas produtivos adotados possui influência direta na taxa de respiração basal do solo. Baixos índices de liberação de CO₂ indicam maior estabilidade e uma melhor eficiência da microbiota do solo, fato que torna o sistema mais sustentável (FERREIRA, 2017).

Para Tabatabai (1994), a ciclagem de nutrientes e a decomposição da matéria orgânica do solo estão intimamente ligadas a atividade enzimática. Para Dotaniya et al. (2019), a dinâmica dos nutrientes das plantas; bem como a eficiência no uso dos mesmos se deve a atividade enzimática no solo. A mineralização de nutrientes e decomposição da matéria orgânica do solo são processos cruciais e os mesmos dependem da atividade enzimática do solo. As enzimas são fundamentais para o solo pois elas são responsáveis por todas as transformações bioquímicas (GIANFREDA, RAO, 2014). Contudo, esses processos são sensíveis a mudanças no ambiente causadas por práticas de manejo, bem como do clima (DOTANIYA et al., 2019). Enzimas de solo estão distribuídas por toda a matriz do solo, por este apresentar variabilidade espacial afetara de forma distinta a atividade enzimática (GIANFREDA, RAO, 2014).

Para Dotaniya, et al. (2019), o principal responsável pela transformação de nutrientes do solo é a microflora, estas mineralizam os nutrientes que posteriormente são usados pelas plantas. As enzimas podem ser extracelulares as quais são excretadas no solo e também tem-se enzimas endógenas das células microbianas, sendo estas responsáveis pela transformação e mineralização de nutrientes.

Estas enzimas são cruciais para manter a saúde do solo, melhorando a qualidade física, química e biológica do solo. Algumas enzimas ainda são capazes de serem bioremediadores uma vez que degradam moléculas de poluentes (GIANFREDA, RAO, 2014).

Conforme Dotaniya, et al. (2016), a atividade enzimática e a mineralização de carbono são indicadores confiáveis da atividade biológica do solo. A atividade enzimática de arilsulfatase, fosfatase ácida e β -glicosidase são indicadores biológicos sensíveis, podendo indicar alterações no solo proveniente de manejos culturais distintos (MATSUOKA et al., 2003).

Tido como um elemento de grande importância no sistema produtivo agrícola, o fósforo é um macro elemento essencial para o desenvolvimento das plantas e está relacionado a processos metabólicos, como fotossíntese, tradução de sinais, adenosina trifosfato (TAIZ, ZEIGER, 2017).

A disponibilidade de fósforo no solo é limitada. Ele pode ser encontrado na forma orgânica e inorgânica. Contudo, a maior parte está na matéria orgânica sendo indisponível para as plantas. A mineralização do mesmo ocorre através de microrganismos do solo que geram fosfatase e a ação desta enzima transforma o fósforo em inorgânico absorvível pelas plantas (MENDES e REIS JUNIOR, 2003).

Conforme Balota et al. (2013), a fosfatase compreende um grande grupo de enzimas catalisadoras da hidrólise de éster e anidridos de fosfato (PO_4^{3-}). Dentre estas enzimas, as fosfomonoesterases tem sido bastante estudadas devido a sua importância na mineralização de fósforo orgânicos.

Estudos realizados por Mendes (2022), demonstram que áreas agrícolas em que há utilização de fertilizantes químicos há redução da atividade da fosfatase ácida devido a ação inibitória dos mesmos.

Conforme Gianfreda e Rao (2014), a fosfatase é mais abundante na rizosfera, e sua atividade está relacionada com a disponibilidade de fósforo, demonstrando relação com os índices de P inorgânico.

Nos solos com baixo teor de fósforo ocorre o aumento da liberação da fosfatase, a qual é responsável pela mineralização e disponibilização de fósforo no solo. Conforme o teor de fósforo de um solo aumenta os índices de bactéria responsáveis pela mineralização de fósforo diminuem (BALOTA et al., 2013).

A fosfatase possui grande potencial como indicador da qualidade de solo devido a sua rápida resposta a mudanças de ambiente (MOREIRA, 2016). Conforme Balota et al. (2013), a fosfatase ácida é mais utilizada em estudos que buscam avaliar a fosfatase em virtude da maioria dos solos agrícolas serem naturalmente ácidos.

O polímero natural mais abundante no planeta é a celulose, a qual é uma longa cadeia de glicose e representa um percentual importante da biomassa vegetal do planeta. Microrganismos heterotróficos tem em sua base alimentar a glicose, contudo não conseguem acessá-la de forma direta, dependendo que as enzimas extras celulares quebrem esse polímero, a endoglucanases, celobiosidases e a β -glicosidade, fazendo um processo em conjunto, onde cada uma possui um papel nesse ciclo do carbono (GIANFREDA e RAO, 2014).

Balota et al. (2013), enfatiza que essas enzimas são de grande importância pois possuem papel fundamental no solo, estando envolvidas na hidrólise e biodegradação de diversos compostos no ecossistema e seu produto resultante é a glicose, a qual é fonte de alimento para inúmeros microrganismos do solo.

Conforme Sherene (2017), a β -glicosidade é responsável pela degradação da matéria orgânica do solo, tornando-se muito útil no monitoramento da qualidade do solo. Divido a β -glicosidade apresenta elevada sensibilidade as alterações do solo provocadas pelos manejos empregados nos mesmos. Possui ainda uma forte relação com os teores de matéria orgânica do solo (MENDES, 2021).

Segundo Gianfreda e Rao (2014), a β -glicosidade executar a última etapa no processo de despolarização e pode ser utilizada como parâmetro para avalia a atividade microbiana do solo. Tornando-se um importante para metro para mensurar a qualidade do solo (SHERENE, 2017). Por ser uma enzima sensível ao manejos realizados no solo é uma excelente alternativa para mensurar a qualidade do solo (MENDES et al., 2020).

O fornecimento de enxofre (S) para as plantas é de fundamental importância, e este processo ocorre devido aos grupos de arilsulfatases presente no solo, os quais através da hidrólise de ésteres de aril sulfatos orgânicos mineralizam S orgânicos que presentes nos solos e os transformam em sulfato (BALOTA et al., 2013).

A arilsulfatase é um grupo de enzimas responsáveis por catalisarem a hidrólise de ésteres de aril sulfatos orgânicos. Realizam a ciclagem e enxofre (S) sendo responsável pela mineralização de enxofre (S) orgânico transformando-o em SO_4^{2-} , forma esta que pode ser absorvida pelas plantas. Bactérias que fazem parte da biota do solo são responsáveis por parte considerável das arilsulfatases secretadas no solo (BALOTA et al., 2013).

Conforme Sherene (2017), a arilsulfatase é encontrada nos mais diversos sistemas de produção agrícola e sua ocorrência está associada a biomassa microbiana e a taxa de imobilização de enxofre. Possuem estreita relação com a matéria orgânica do solo e apresentando elevada sensibilidade a alteração no solo (MENDES et al, 2021). Desta forma a arilsulfatase é um excelente indicador de qualidade do solo, pois esta enzima é sensível as alterações provocadas pelos manejos empregados nos sistemas produtivos (MENDES, 2022).

A atividade enzimática é excelente indicador do comportamento da microbiota do solo, contudo é sensível ao clima, sendo afetada pelos ciclos de umedecimento e secagem do solo, teores de matéria orgânica do solo e pH (FEIRER, 2017). O efeito do clima constrói a diversidade microbiológica do solo, contudo essa é característica do local onde está inserida de forma que, se estiver em um ambiente com bom regime pluviométrico está será sensível e sofrerá impactos negativos de um déficit hídrico (MOURA et al., 2015; AZARBAD et al., 2020).

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, L. F.; SILVA, A. J.; NASCIMENTO, V. A. Produção de *Brachiaria brizantha* cv. BRS paiguas sob diferentes tipos de plantio no sistema de integração lavoura pecuária. UNIFIMES – Centro Universitário de Mineiros, **Revista Interação Interdisciplinar**, v. 01, n. 01, p. 38-49, 2017. Disponível em: <<https://www.unifimes.edu.br/ojs/index.php/interacao/article/view/144>>. Acesso em: 18 nov. de 2022.

ALMEIDA, D. S; et al. Soil Phosphorus Bioavailability and Soybean Grain Yield Impaired by Ruzigrass. **Agronomy Journal**, vol. 110, ed. 2, p. 654 – 663, 2018. Disponível em: <<https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2134/agronj2017.08.0451>>. Acesso em: 21 nov. 2022.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, v. 23, n. 3, p. 66-75, 2007. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/6684/4403>>. Acesso em: 20 nov. 2022.

AZARBAD, H.; et al. Four decades of soil water stress history together with host genotype constrain the response of the wheat microbiome to soil moisture. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 96, n. 7, 2020. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/341598552_Four_decades_of_soil_water_stress_history_together_with_host_genotype_constrain_the_response_of_the_wheat_microbiome_to_soil_moisture>. Acesso em: 31 de jan. 2023.

AZARBAD, H.; et al. The response of wheat and its microbiome to contemporary and historical water stress in a field experiment. **ISME Commun**, n. 2, v. 2, 2022. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/s43705-022-00151-2#citeas>>. Acesso em: 31 de jan. 2023.

BALOTA, E. L.; et al. **Enzimas e seu papel na qualidade do solo**. Tópicos em Ciência do Solo, v. 8, p. 189-249, 2013. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/288482294_Enzimas_e_seu_papel_na_qualidade_do_solo>. Acesso em: 25 nov. 2022.

BERNARD, R.L.; et al. Responses of soil bacterial and fungal communities to extreme desiccation and rewetting. **ISME Journal**, v. 7, p. 2229 - 2241, 2013. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/ismej2013104>>. Acesso em: 31 de jan. 2023.

BLAZATTI, R. M. **Decomposição e liberação de nutrientes de cobertura de braquiária em função de adubação potássica na soja**. 62 p, 2022. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2022. Disponível em: <<https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/28119/1/ciclagemdebaquiarianasoja.pdf>>. Acesso em: 05 jan. 2023.

CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. **Microbiologia de solo**. 2ª ed. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), p. 221. 2016.

COLMAN, B. A. **Qualidade físico-hídrica de um Latossolo sob manejos e consórcios de milho e forrageiras**. 2017. p. 83. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados, 2017. Disponível em: <<http://files.ufgd.edu.br/arquivos/arquivos/78/MESTRADO-DOCTORADO-AGRONOMIA/Bruno%20Agostini%20Colman.pdf>>. Acesso em: 16 dez. 2022.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2021/2022 – décimo levantamento**. Brasília, V. 9, p. 87, 2022a. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>>. Acesso em: 16 dez. 2022.

CONAB. **Séries históricas das safras**. Brasília, 2022b. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>>. Acesso em: 16 dez. 2022.

CONAB. **Históricas mensal de trigo – julho 2023**. Brasília, 2023a. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuário-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-trigo>>. Acesso em: 28 set. 2023.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2022/2023 – 12º levantamento**. Brasília, V. 10, p. 109, 2023b. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso em: 28 de dez. 2023.

CONTINI, E.; et al. **Milho: caracterização e desafios tecnológicos**. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), p. 45, 2019. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/195075/1/Milho-caracterizacao.pdf>>. Acesso em: 16 dez. 2022.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J. G. M. **Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo: Método da fumigação-extração**. Seropédica: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), p. 10, 1997. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAB-2010/27227/1/doc037.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2020.

DOTANIYA, M. L.; et al. Influence of chromium contamination on carbon mineralization and enzymatic activities in Vertisol. **Instituto Indiano de Ciência do Solo**, p. 91 – 96, 2016. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s40003-016-0242-6>>. Acesso em: 25 nov. 2022.

DOTANIYA, M. L.; et al. Role of soil enzymes in sustainable agricultural production. **Academic Press**, p. 569 – 589, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128132807000335>>. Acesso em: 25 nov. 2022.

DUARTE, C. F. D. et al. Morfogênese de braquiárias sob estresse hídrico. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 71, n. 5, p. 1669-1676, 2019.

Disponível em: <https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-09352019000501669&script=sci_arttext&tling=pt>. Acesso em: 18 nov. 2022.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2023. **Soja em Números (22/23)**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>>. Acesso em 25 jul. 2023.

FEIRER, N.; Embracing the unknown: disentangling the complexities of the soil microbiome. **Nature Reviews**, V. 15, P. 579 – 590, 2017. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5192882/mod_resource/content/1/Fierer%202017.pdf>. Acesso em: 08 fev. 2023.

FELSMANN, K.; et al. Soil bacterial community structure responses to precipitation reduction and forest management in forest ecosystems across germany. **Plos one**, 2015. Disponível em: <<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0122539>>. Acesso em: 02 fev. 2023.

FERNANDES, A. M. F. **Qualidade do sistema plantio direto e sua relação com a erosão do solo e o meio ambiente**. Cruz Alta. p. 121, 2018. Dissertação (Mestrado em desenvolvimento Rural). Disponível em: <<https://home.unicruz.edu.br/wp-content/uploads/2020/06/Angela-Fernandes-QUALIDADE-DO-SISTEMA-PLANTIO-DIRETO-E-SUA-RELA%C3%87%C3%83O-COM-A-EROS%C3%83O-DO-SOLO-E-O-MEIO-AMBIENTE.pdf>>. Acesso em: 29 nov. 2022.

FERNANDES, J. C. F.; et al. Caracterização de agregados biogênicos, intermediários e fisiogênicos em áreas sob domínio de mata atlântica. **Revista Caatinga**, vol. 30, n. 1, p. 59 - 67, 2016. Disponível em: <<https://periodicos.ufersa.edu.br/caatinga/article/view/4830>>. Acesso em: 18 nov. de 2022.

FERREIRA, E. P. B.; et al. População e atividade microbiana do solo em sistema agroecológico de produção. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 48, n. 1, p. 22-31, 2017. Disponível em: <<http://ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/4183/1489>>. Acesso em: 25 nov. 2022.

GIANFREDA, L.; RAO, M. A. **Enzymes in Agricultural Sciences**. Foster City, ed. OMICS Group eBooks, p. 155, 2014.

LOSS, A.; et al. Soil fertility, physical and chemical organic matter fractions, natural ¹³C and ¹⁵N abundance in biogenic and physocogenic aggregates in areas under different land use systems. **Soil Research**, v. 52, p. 685 – 697, 2014. Disponível em: <<https://www.publish.csiro.au/sr/SR14045>>. Acesso em: 13 fev. 2023.

KAVAMURA V. N.; et al. Water Regime Influences Bulk Soil and Rhizosphere of *Cereus jamaclaru* Bacterial Communities in the Brazilian Caatinga Biome. **Plos One**, v. 8, p. 1 - 10, 2013. Disponível em: <<https://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0073606&type=printable>>. Acesso em: 31 de jan. 2023.

MADALOSSO, T.; et al. Safrinha maiúscula. **Revista Cultivar**. Pelotas, RS. Ano XX, n. 237, p. 15-20, fev. 2019. Disponível em: <<https://www.grupocultivar.com.br/revistas/575>>. Acesso em: 15 dez. 2022.

MATSUOKA, M.; et al. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Revista Brasileira de ciência do solo**, p. 425 – 433, 2003. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/JcLp9YmwNS3k6KdwxvbpFmw/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 20 jan. 2023.

MENDES, I. C.; et al. **Bioanálise de solo**: A mais nova aliada para a sustentabilidade agrícola. Piracicaba, NPCT – Nutrição de Plantas Ciência e Tecnologia, n. 8, p. 11, 2020. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/219731/1/IEDA-Bioanalise-do-solo-informacoes-agronomicas.pdf>>. Acesso em: 23 mar. 2023.

MENDES, I. C.; et al. **Tecnologia BioAS**: uma maneira simples e eficiente de avaliar a saúde do solo. Planaltina, Embrapa Cerrados, p. 50, 2021. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/224808/1/Tecnologia-Bioas-Documentos-369.pdf>>. Acesso em: 23 mar. 2023.

MENDES, I. C.; et al. Saúde do solo em sistemas de integração lavoura pecuária. In: MARTINS, A. G.; et al. Manejo do solo em sistemas integrados de produção. Ponta Grossa, **Atena**, p. 344, 2022. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1146437/1/Saude-do-solo-em-sistemas-de-integracao-cap.-7-2022.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2023.

MENDES, I. C.; REIS JUNIOR, F. B. **Microrganismos e disponibilidade de fósforo (P) nos solos**: Uma análise crítica. Planaltina, Embrapa Cerrados, p. 26, 2003. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/568171/1/doc85.pdf>>. Acesso em: 21 nov. 2022.

MOURA, J. A. et al. Respiração basal e relação de estratificação em solo cultivados com citros e tratado com resíduos orgânico no estado de Sergipe. Londrina, **Ciências Agrárias**, v. 36, n. 2, p. 731 – 746, 2015. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/140200/1/RespiraC3A7C3A3o20basal..202015.pdf>>. Acesso em: 22 mar. 2023.

MOURA, Q. L.; et al. Variação sazonal da população de bactérias e fungos e dos teores de nitrato e amônio do solo nos sítios do LBA e PPBIO, na Amazônia oriental. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 3, p. 265 - 274, 2015. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/130513/1/2015-Moura-et-al-RevBrasMet.pdf>>. Acesso em: 01 fev. 2023.

MOREIRA, E. D. S.; et al. Fosfatase ácida e alcalina em solos sob manejo do sistema integração lavoura pecuária e floresta. In: XXXI congresso nacional de milho e sorgo, Bento Gonçalves, 2016. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/busca-de>>

publicacoes/-/publicacao/1054902/fosfatase-acida-e-alcalina-em-solo-sob-manejo-do-sistema-integracao-lavoura-pecuaria-e-floresta>. Acesso em: 21 nov. 2022.

MORI, C.; et al. **Aspectos econômicos e conjunturais da cultura da aveia. Passo Fundo**, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), 2012. Disponível em: < http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do136_1.htm>. Acesso em: 12 dez. de 2022

NOVAK, E.; et al. Variação temporal dos atributos microbiológicos do solo sob diferentes usos. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 3, 2018. Disponível em: <<https://revistas.rcaap.pt/index.php/rca/article/view/16717>>. Acesso em: 12 dez. de 2022.

PARIZ, C. M.; et al. Lamb production responses to grass grazing in a companion crop system with corn silage and oversowing of yellow oat in a tropical region. **Agricultural Systems**, v. 151, p. 1-11, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308521X16304504?via%3Dihub>>. Acesso em: 17 nov. 2022.

PEREIRA, M. G.; et al. **Práticas de morfologia e física do solo**. Seropédica, editora da UFRRJ, p. 82, 2020.

RALISCH, R.; et al. **Diagnóstico rápido da estrutura do solo – DRES**. Londrina, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), p. 64, 2017. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/en/soja/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1071114/diagnostico-rapido-da-estrutura-do-solo---dres-livro>. Acesso em: 20 dez. 2022.

RIBEIRO, R., et al. Produtividade da soja em sucessão a cultivos de outono-inverno. Dourados. **Revista Agrarian**. v.11, n.40, p. 120-131, 2018. Disponível em:< <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/agrarian/article/view/5379> >. Acesso em: 17 nov. de 2022.

SALTON, C. J.; TOMAZI, M. **Sistema Radicular de Plantas e Qualidade do Solo**. Dourados, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), p. 6, 2014. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1005326/1/COT198.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2022.

SANTOS, R. D.; et al. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 6. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Editora da UFV; Rio de Janeiro: Embrapa Solos/Editora da UFRRJ, p. 100, 2013.

SEREIA, R. C. **Qualidade do solo em sistemas consorciados de milho, capim-marandu e feijão-gandu e sobressemeadura da aveia para pastejo de cordeiros**. p. 147, 2017. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho, Botucatu. 2017. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/153038/sereia_rc_dr_botfca.pdf?sequence=4&isAllowed=y>. Acesso em: 22 nov. 2022.

SEIBERT, S. M.; BORSOI, A. Milho segunda safra consorciado com diferentes densidades de semeadura de *Brachiaria ruziziensis*. Cascavel. **Revista cultivando o saber**. V. 13, n. 2, p. 94-103, abr. – jun. 2020. Disponível em: <<https://cultivandosaber.fag.edu.br/index.php/cultivando/article/view/1000/925>>. Acesso em: 16 nov. 2022.

SHERENE T. Role of Soil Enzymes in Nutrient Transformation: A Review. **Bio Bulletin**, v. 3, p. 109 - 131, 2017. Disponível em: <<https://www.biobulletin.com/articles/role-of-soil-enzymes-in-nutrient-transformation-a-review.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2022.

SILVA, E.; et al. Qualidade física de um Latossolo estimada por estudos das curvas de retenção de água, indicadores de fácil determinação e “Índice S”. **Tecnologia & Ciências Agropecuária**, v. 11, n. 4, p. 49 – 54, 2017. Disponível em: <<https://revistatca.pb.gov.br/edicoes/volume-11-2017/v-11-n-4-novembro-2017/9-qualidade-fisica-de-um-latossolo.pdf>>. Acesso em: 21 nov. 2022.

SILVA, E. E., et al. **Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico de solo (qCO₂)**. Seropédica, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), p. 4, 2007. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/627577/1/cot099.pdf>>. Acesso em: 22 nov. de 2022.

SILVA, P. L. F. Compactação e seus efeitos sobre o funcionamento do solo e a absorção de nutrientes pelas plantas: Uma revisão bibliográfica. **Meio Ambiente (Brasil)**, v.3, n.2, p. 24-33, 2021. Disponível em: <<http://meioambientebrasil.com.br/index.php/MABRA/article/view/119>>. Acesso em: 22 nov. de 2022.

SILVA, et al. Qualidade do solo: indicadores biológicos para um manejo sustentável. **Brazilian Journal of Development**, v.7, n.1, p. 6853-6875, 2021. Disponível em: <<https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/23374/18778>>. Acesso em: 22 dez. de 2022.

SILVA, F.; et al. **Soja: do plantio à colheita**. São Paulo, Oficina de Texto, ed. 2, p. 312, 2022. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=azOAEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT7&dq=classifica%C3%A7%C3%A3o+bot%C3%A2nica+da+soja&ots=O4XImVObcj&sig=fSkeQbMbUPQrWoyQmQ9RQiFcZks#v=onepage&q&f=false>>. Acesso em: 28 dez. 2022.

SILVA, J. F. **Física do solo e matéria orgânica em sistema de produção agrícola de cerrado**. Botucatu. p. 103, 2020. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho, Botucatu. 2020. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/193065/silva_jf_dr_botfca.pdf?squence=3&isAllowed=y>. Acesso em: 29 dez. 2022.

SIX, J.; et al. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. **Soil Biology & Biochemistry**. Vol. 32, ed. 14, p. 2099-2103, 2000. Disponível em: <

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038071700001796>>. Acesso em: 21 nov. 2022.

Tabatabai M. A. Enzimas do solo. **Soil Science Society of America**, p. 775 – 833, 1994. Disponível em: <<https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.2136/sssabookser5.2>>. Acesso em: 15 dez. 2022.

TAIZ L.; ZEIGER E. **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre: Artmed, ed. 6, p. 868, 2017.

TORMENA, C.A.; et al. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 573 - 581, 1998. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/hV4CsLtsg55hzQD5wRHsf5j/abstract/?lang=pt>>. Acesso em: 08 set. de 2023.

TREVISAN, R. G.; et al. Variabilidade de atributos físicos do solo e do arroz cultivado sob plantas de cobertura em sistema de integração lavoura-pecuária. **Bragantia**, v.76, n.1, p. 145-154, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/brag/v76n1/pt_0006-8705-brag-1678-4499596.pdf>. Acesso em: 29 nov. 2022.

VIEIRA, P. A.; et al. **Geopolítica do alimento: o Brasil como fonte estratégica de alimentos para a humanidade**. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), p. 317, 2019.

United Nations. **World Population Prospects 2022**: Summary of results. Department of Economic and Social Affairs, Population Division. p. 38, 2022. Disponível em: <https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Highlights.pdf>. Acesso em: 12 jul. de 2023.

WOLSCHICK, N. H.; et al. Cobertura do solo, produção de biomassa e acúmulo de nutrientes por plantas de cobertura. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 15, n. 2, p. 134 - 143, 2016. Disponível em: <https://revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/223811711522016134/pdf_32>. Acesso em: 29 nov. de 2022.

4 CAPÍTULO 1 – EFEITOS DOS SISTEMAS PRODUTIVOS DE GRÃOS DA REGIÃO DO OESTE PARANAENSE SOBRE O CARBONO ORGÂNICO TOTAL DO SOLO E AS PROPRIEDADES FÍSICAS DE UM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO

RESUMO

A atividade agrícola tem se tornado cada vez mais dinâmica e intensiva, buscando maior rentabilidade, porém sempre em consonância com a sustentabilidade. A região Oeste paranaense tem se destacado potencial agrícola. O presente estudo teve por objetivo avaliar os atributos físicos de um Latossolo Vermelho Distroférico no município de Cafelândia – Paraná, situada na região oeste paranaense e submetido a diferentes sistemas manejos. Os sistemas empregados foram milho solteiro na safrinha (S1), milho solteiro na segunda safra e aveia preta após a colheita milho se alternado anualmente com o plantio de trigo (S2), milho em consórcio com *Brachiaria* (S3), Trigo (S4) e aveia preta (S5) todos foram implantados em sucessão a cultura soja. Como parâmetros físicos foram avaliados a estrutura do solo através do diagnóstico rápido da estrutura do solo, o diâmetro médio geométrico, estabilidade de agregados além do carbono orgânico total. O delineamento experimento foi o de blocos casualizados com 4 repetições. Os manejos empregados causaram alterações no índice de qualidade estrutural do solo de forma que os tratamentos S1, S2 e S3 apresentaram diferença significativa dos tratamentos S4 e S5. A metodologia do DRES foi capaz de observar alterações estruturais de solo. A estabilidade de agregados, diâmetro médio geométrico e carbono orgânico total não foram influenciados pelos sistemas de manejo.

Palavras chave: Física de solo. Qualidade do solo. Sustentabilidade.

ABSTRACT

Agricultural activity has become increasingly dynamic and intensive, seeking greater profitability, but always in line with sustainability. The western region of Paraná has highlighted its agricultural potential. The present study aimed to evaluate the physical attributes of a Distroferric Red Oxisol in the municipality of Cafelândia – Paraná, located in the western region of Paraná and subjected to different management systems. The systems used were single corn in the off-season (S1), single corn in the second harvest and black oat after harvest, corn alternated annually with wheat planting (S2), corn in intercropping with *Brachiaria* (S3), Wheat (S4) and black oat (S5) were all planted in succession to the soybean crop. As physical parameters, the soil structure was evaluated through rapid diagnosis of the soil structure, geometric mean diameter, aggregate stability in addition to total organic carbon. The experimental design was randomized blocks with 4 replications. The management methods used caused changes in the soil structural quality index so that treatments S1, S2 and S3 showed a significant difference from treatments S4 and S5. The DRES methodology was able to observe structural changes in the soil. Aggregate stability, geometric mean diameter and total organic carbon were not influenced by management systems.

Keywords: Soil physics. Soil quality. Sustainability..

4.1 INTRODUÇÃO

O aumento constante da população e a urbanização, bem como a aumento do poder aquisitivo tem impulsionada a crescente demanda global por alimentos. Países tradicionalmente produtores de alimentos tem alavancados sua produção nos últimos anos. Grande parte desse aumento de produção é oriunda da verticalização da produção. Esta verticalização tem se intensificado constantemente gerando aumentos de produtividade das culturas, mas também tem possibilitado e viabilizado aos produtores a realização de uma segunda safra.

Em contrapartida, muitos dos preceitos básicos de manejo e conservação do solo tem ficado em segundo plano pelos produtores, os quais objetivam maior liquidez em seus sistemas produtivos. Embora não abandonem as práticas conservacionistas, nem sempre a tomada de decisão tem dado a real importância que os solos agrícolas merecem.

Na outra ponta, temos um consumidor dispostos a pagar por estes alimentos produzidos, mas que também vem se adequando a nova realidade e passando a observar e exigir que seus fornecedores sejam sustentáveis e produzam alimentos de qualidade, mas sem esquecer a preservação ambiental e a sustentabilidade dos sistemas de produção (ROCHA et al., 2011; ANDREATA et al., 2020).

O uso intensivo bem como o manejo empregado nas áreas agrícolas tem impactos diretos no solo, podendo afetar a formação dos agregados do solo sua estruturação e a dinâmica de águas no mesmo (LOSS et al., 2014). Como consequência restringem o desenvolvimento radicular das culturas (SILVA et al., 2017), limitando assim a área a ser explorada o que acarreta menor contato íon/raiz e como consequência menor absorção de água e nutrientes.

A estrutura do solo é de fundamental importância para que as plantas consigam se desenvolver de forma adequada e expressar assim seu máximo potencial produtivo com o menor custo energético possível. Isso possibilita que o sistema agrícola seja o mais efetivo possível de forma a gerar um mecanismo de produção sustentável.

Um solo com agregação, bem estruturado e como valores elevados de matéria orgânica além de proporcionar maiores produtividades das culturas possui uma maior capacidade de armazenagem de água, de forma a sofrer menos com déficits hídricos, além de possuir uma maior resiliência a adversidades. Conforme Gubiani (2014),

solos compactados limitam o acesso das plantas a água e por consequência a nutrientes, limitando a desenvolvimento das plantas.

Sistemas produtivos de grão, se utilizando de culturas diversas, manejos dispares e em momentos distintos tendem a apresentar diferentes efeitos sobre o solo, ocasionando a alteração da qualidade do solo.

O presente estudo objetivou avaliar os impactos de diferentes sistema produtivos de grão na qualidade estrutural e no teor de carbono orgânico total do solo.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Local do experimento

O experimento foi instalado e conduzido no Centro de Pesquisa Agrícola da Cooperativa Agroindustrial Consolata (CPA Copacol) (Figura 1 e 2) com altitude de 580 m e coordenadas geográficas 24°37'18"S de latitude e 53°18'18"O de longitude, no município de Cafelândia, região Oeste do Estado do Paraná no período de fevereiro de 2020 a maio de 2022. Uma região com clima segundo a classificação de Koeppen do tipo Mesotérmico úmido com verão quente (Cfa) com temperatura média no mês mais frio entre - 3° C e 18°C e temperatura média no mês mais quente igual ou superior a 22°C. O solo é classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distroférico (SANTOS et al, 2018).



Figura 1 - Centro de Pesquisa Agrícola (CPA), localizado no município de Cafelândia – Paraná, Latitude: 24°37'17.62" S, Longitude: 53°18'19.80" O.

Fonte: Google Earth.



Figura 2 - Área e disposição das parcelas do experimento.
Fonte: Google Earth.

4.2.2 Histórico da área

A área onde o experimento foi implantado vinha sendo conduzida em sistema de plantio direto consolidado, sob sistema de sucessão soja/milho safrinha a 8 anos. A coleta das amostras de solo, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm ocorreu em janeiro de 2020, sendo estas compostas por 20 subamostras retiradas com trado holandês as quais foram misturadas e homogeneizadas, formando uma amostra representativa do local. Para fins de recomendação de adubação utilizou-se as médias das profundidades de 00-10 e 10-20, gerando assim a profundidade de 00-20 cm. O resultado (Tabela 1) destas amostra foi utilizado para calagem e adubação conforme parâmetro do manual de adubação e calagem para o estado do Paraná (NEPAR-SBCS, 2019).

Tabela 1 - Análise de solo das diferentes profundidades.

Prof. (cm)	pH CaCl ₂	Al	H+Al	Ca	Mg	K	SB	CTC pH 7,0	V	m	P
					Cmolc dm ³				%		Mg dm ³
0-10	5,40	0,01	3,94	4,58	1,95	0,54	7,08	11,02	63,94	0,14	25,85
10-20	4,77	0,17	4,38	3,23	1,16	0,38	4,76	9,14	51,50	3,89	11,71
20-40	4,88	0,12	3,59	2,78	0,90	0,34	4,03	7,62	52,56	3,55	3,63
00-20	5,09	0,09	4,16	3,91	1,56	0,46	5,92	10,08	57,72	2,02	18,78

4.2.3 Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos (Figura 3, 4 e 5) foram coletados na estação meteorológica do Centra de Pesquisa Agrícola (CPA) a qual fica localizada a cerca de 200 metros de distância da área onde estava sendo conduzido o experimento.

O período em que o experimento foi realizado a região do oeste paranaense foi fortemente afetada por uma das maiores estiagem da sua história. Embora tenha ocorrido chuvas na região, as mesmas eram dispersas e em pequenos volumes. Os períodos onde as chuvas foram mais intensas, eram marcados por grandes volumes em pequeno espaço de tempo. Desta forma, havia a saturação do solo e posteriormente grandes períodos sem que houvesse a ocorrência de chuvas significativas.

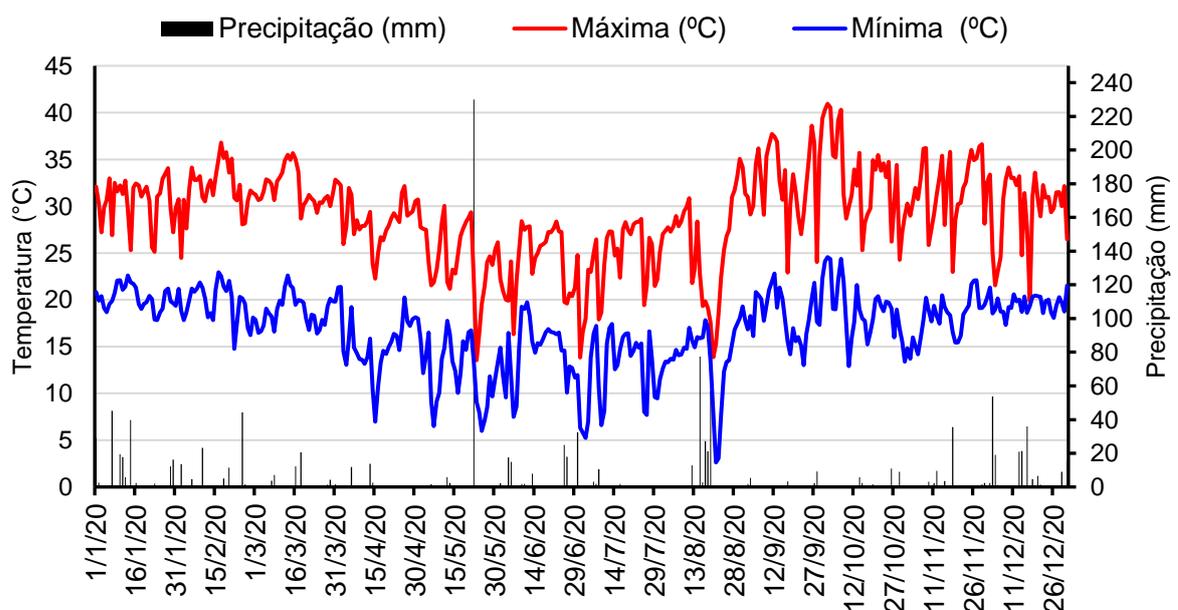


Figura 3 - Precipitação e temperatura no período de janeiro de 2020 a dezembro de 2020 na estação meteorológica do Centra de Pesquisa Agrícola (CPA).

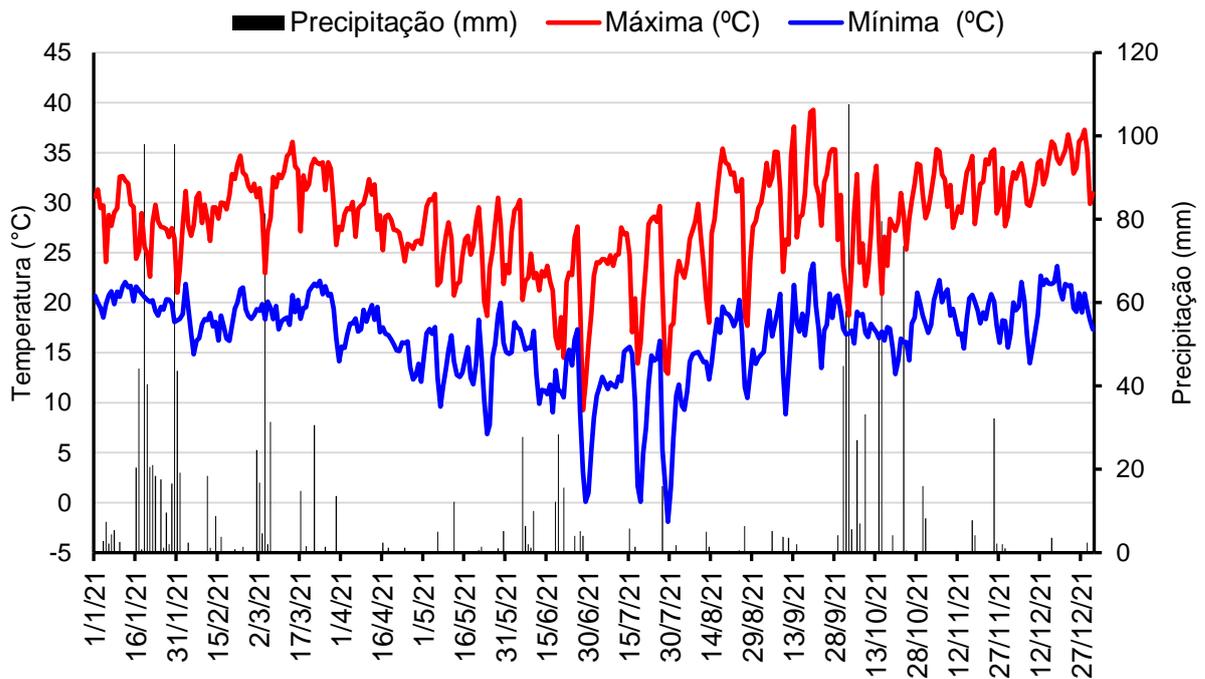


Figura 4 - Precipitação e temperatura no período de janeiro de 2021 a dezembro de 2021 na estação meteorológica do Centra de Pesquisa Agrícola (CPA).

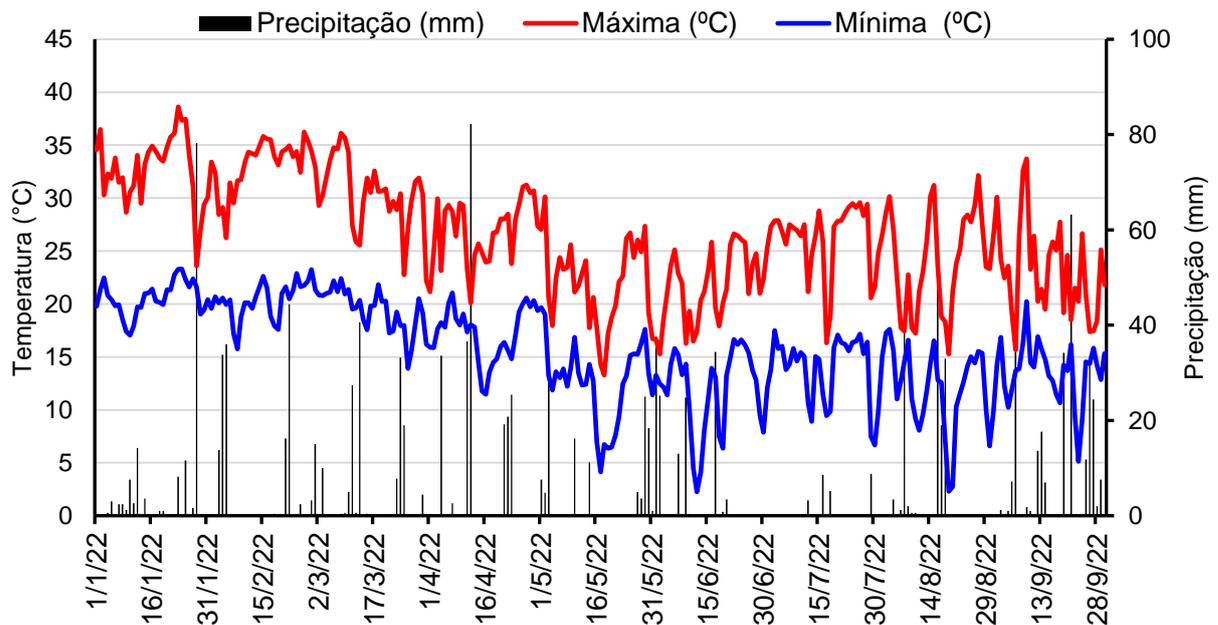


Figura 5 - Precipitação e temperatura no período de janeiro de 2022 a setembro de 2022 na estação meteorológica do Centra de Pesquisa Agrícola (CPA).

4.2.4 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC), contendo 5 tratamentos e 4 repetições. Na disposição dos tratamentos na área experimental as

parcelas apresentarão 117,60 m² (8,4 m de largura e 14 m de comprimento) de área total.

4.2.5 Sistemas de manejo

Foram implantados 5 diferentes sistemas culturais (os quais foram denominados S1, S2, S3, S4 e S5), de forma a representar os principais modelos produtivos de utilizados no Oeste paranaense (tabela 2).

Tabela 2 - Demonstrativo dos sistemas produtivos adotados e cultura plantada por safra.

	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4	Sistema 5
20/20	Milho	Milho	Milho + Brach	Trigo	Aveia
		Aveia Preta			
20/21	Soja	Soja	Soja	Soja	Soja
21/21	Milho	Trigo	Milho + Brach	Trigo	Aveia
21/22	Soja	Soja	Soja	Soja	Soja
22/22	Milho	Milho	Milho + Brach	Trigo	Aveia
		Aveia Preta			

4.2.5.1 Sistema 1 (S1)

Este sistema consiste no sistema produtivo mais usual no oeste paranaense, tratando-se do sistema de sucessão soja de verão/milho segunda safra.

A cultura do milho foi semeada no dia 21 de janeiro de 2020, o híbrido foi o AG 9050 PRO3 na densidade de semeadura de 60.000 sementes por hectare, espaçamento entre linha de 70 cm, com 4,2 sementes por metro linear. O tratamento de semente foi realizado com fungicida carbendazin + tiram (2ml/kg de semente) e o inseticida imidacloprid + tiodicarbe (3ml/kg de semente). Como adubação de base foi utilizado 270 kg ha⁻¹ de um formulado 10-15-15 e 200 kg ha⁻¹ e quando a cultura estava em estágio V4 foi realizada a aplicação a lanço de ureia a 45% de concentração de nitrogênio objetivando a produção de 11.000 kg ha⁻¹.

A implantação da cultura da soja ocorreu no dia 07 de outubro de 2020, o cultivar foi o Monsoy 5705 IPRO, na densidade de 266.664 semente por hectare com espaçamento entre linhas de 45 cm, contendo assim 12 semente por metro linear. O tratamento de semente foi realizado com fungicida carbendazin + tiram (2ml kg de semente) e o inseticida imidacloprid + tiodicarbe (3ml kg de semente). Para adubação de base foi utilizado 310 kg ha⁻¹ de fertilizante 04-24-16 e com adubação complementar de K através de 50 kg ha⁻¹ KCl objetivando 6.000 kg ha⁻¹.

A cultura do milho foi semeada no dia 10 de março 2021, o híbrido foi o AG 9000 PRO3 na densidade de semeadura de 60.000 sementes por hectare, espaçamento entra linha de 70 cm, com 4,2 sementes por metro linear. O tratamento de semente foi realizado com fungicida carbendazin + tiram (2ml/kg de semente) e o inseticida imidacloprid + tiodicarbe (3ml/kg de semente). Objetivando a produção de 11.000 kg ha⁻¹ procedeu-se como a adubação de base utilizando-se 270 kg ha⁻¹ de um formulado 10-15-15 e 200 kg ha⁻¹ e quando a cultura estava em estágio V4 foi realiza a aplicação a lanço de ureia a 45% de concentração de nitrogênio.

A implantação da cultura da soja ocorreu no dia 06 de outubro de 2021, o cultivar foi o Brasmax 55I57 IPRO, na densidade de 266.664 semente por hectare com espaçamento entre linhas de 45 cm, contendo assim 12 semente por metro linear. O tratamento de sementes foi realizado com fungicida carbendazin + tiram (2ml kg de semente) e o inseticida imidacloprid + tiodicarbe (3ml kg de semente). Para adubação de base foi utilizado 310 kg ha⁻¹ de fertilizante 04-24-16 e com adubação complementar de K através de 50 kg ha⁻¹ KCl objetivando 6.000 kg ha⁻¹.

A cultura do milho foi semeada no dia 24 de janeiro de 2022, o híbrido foi o AG 9000 PRO3 na densidade de semeadura de 60.000 sementes por hectare, espaçamento entra linha de 70 cm, com 4,4 sementes por metro linear. O tratamento de semente foi realizado com fungicida carbendazin + tiram (2ml/kg de semente) e o inseticida imidacloprid + tiodicarbe (3ml kg de semente). Como adubação de base foi utilizado 270 kg ha⁻¹ de um formulado 10-15-15 e 200 kg ha⁻¹ e quando a cultura estava em estágio V4 foi realiza a aplicação a lanço de ureia a 45% de concentração de nitrogênio objetivando a produção de 11.000 kg ha⁻¹.

4.2.5.2 Sistema 2 (S2)

Este sistema consistiu na implantação da cultura da soja no verão e rotação da cultura de outono/inverno entre milho e aveia preta, sendo que após a cultura do milho implantou-se a cultura da aveia preta para fortalecer o sistema de ciclagem de nutriente e introdução de palha no sistema.

A cultura do milho foi semeada no dia 21 de janeiro de 2020, o híbrido foi o AG 9050 PRO3 na densidade de semeadura de 60.000 sementes por hectare, espaçamento entre linha de 70 cm, com 4,2 sementes por metro linear. O tratamento de semente foi realizado com fungicida carbendazin + tiram (2ml kg de semente) e o inseticida imidacloprid + tiodicarbe (3ml kg de semente). Como adubação de base foi utilizado 270 kg ha⁻¹ de um formulado 10-15-15 e 200 kg ha⁻¹ e quando a cultura estava em estágio V4 foi realizada a aplicação a lanço de ureia a 45% de concentração de nitrogênio objetivando a produção de 11.000 kg ha⁻¹.

Após a colheita do milho procedeu-se com a semeadura da cultura da aveia, para tal foi ocorrido no dia 18 de junho de 2020 utilizado a cultivar BRS 139, com o volume de 150 kg ha⁻¹ sementes. Como adubação de base foi utilizado 300 kg ha⁻¹ do fertilizante 10-15-15.

A implantação da cultura da soja ocorreu no dia 07 de outubro de 2020, o cultivar foi o Monsoy 5705 IPRO, na densidade de 266.664 semente por hectare com espaçamento entre linhas de 45 cm, contendo assim 12 semente por metro linear. O tratamento de semente foi realizado com fungicida carbendazin + tiram (2ml kg de semente) e o inseticida imidacloprid + tiodicarbe (3ml kg de semente). Para adubação de base foi utilizado 310 kg ha⁻¹ de fertilizante 04-24-16 e com adubação complementar de K através de 50 kg ha⁻¹ KCl objetivando 6.000 kg ha⁻¹.

A cultura do trigo foi implantada no 29 de maio de 2021, o cultivar semeada foi a TBio Audaz e uma densidade populacional de 3.705.660 semente/hectare, estacamento entre linhas de 17 cm e contendo 63 sementes por metro linear. Como adubação e base foi utilizado 300 kg ha⁻¹ de 10-15-15 e adubação de cobertura com 200 kg ha⁻¹ de ureia 45%.

A implantação da cultura da soja ocorreu no dia 06 de outubro de 2021, o cultivar foi o Brasmax 55I57 IPRO, na densidade de 266.664 semente por hectare com espaçamento entre linhas de 45 cm, contendo assim 12 semente por metro linear. O tratamento de semente foi realizado com fungicida carbendazin + tiram (2ml kg de

semente) e o inseticida imidacloprid + tiodicarbe (3ml kg de semente). Para adubação de base foi utilizado 310 kg ha⁻¹ de fertilizante 04-24-16 e com adubação complementar de K através de 50 kg ha⁻¹ KCl objetivando 6.000 kg ha⁻¹.

A cultura do milho foi semeada no dia 24 de janeiro de 2022, o híbrido foi o AG 9000 PRO3 na densidade de semeadura de 60.000 sementes por hectare, espaçamento entra linha de 70 cm, com 4,4 sementes por metro linear. O tratamento de semente foi realizado com fungicida carbendazin + tiram (2ml/kg de semente) e o inseticida imidacloprid + tiodicarbe (3ml kg de semente). Como adubação de base foi utilizado 270 kg ha⁻¹ de um formulado 10-15-15 e 200 kg ha⁻¹ e quando a cultura estava em estágio V4 foi realiza a aplicação a lanço de ureia a 45% de concentração de nitrogênio objetivando a produção de 11.000 kg ha⁻¹.

A semeadura da aveia foi ocorreu no dia 23 de maio de 2022 utilizado a cultivar BRS 139, com o volume de 150 kg sementes ha⁻¹. Como adubação de base foi utilizado 300 kg ha⁻¹ do fertilizante 10-15-15.

4.2.5.3 Sistema 3 (S3)

Este sistema consistiu da implantação da cultura da soja de verão/milho segunda safra + *Brachiaria ruziziensis*, que é um sistema este que vem aumentando nos últimos anos na região.

No dia 21 de janeiro de 2020 a *Brachiaria ruziziensis* foi implantada a lanço na quantidade de 7,4 kg ha⁻¹ de semente por hectare sendo que a mesma apresentava valor cultural de 70%. Em seguida procede-se com a cultura do milho. O híbrido foi o AG 9050 PRO3 na densidade de semeadura de 60.000 sementes por hectare, espaçamento entra linha de 70 cm, com 4,2 sementes por metro linear. O tratamento de semente foi realizado com fungicida carbendazin + tiram (2ml kg de semente) e o inseticida imidacloprid + tiodicarbe (3ml kg de semente). Como adubação de base foi utilizado 270 kg ha⁻¹ de um formulado 10-15-15 e 200 kg ha⁻¹ e quando a cultura estava em estágio V4 foi realiza a aplicação a lanço de ureia a 45% de concentração de nitrogênio objetivando a produção de 11.000 kg ha⁻¹.

A implantação da cultura da soja ocorreu no dia 07 de outubro de 2020, o cultivar foi o Monsoy 5705 IPRO, na densidade de 266.664 semente por hectare com espaçamento entre linhas de 45 cm, com 12 semente por metro linear. O tratamento de semente foi realizado com fungicida carbendazin + tiram (2ml kg de semente) e o

inseticida imidacloprid + tiodicarbe (3ml kg de semente). Para adubação de base foi utilizado 310 kg ha⁻¹ de fertilizante 04-24-16 e com adubação complementar de K através de 50 kg ha⁻¹ KCl objetivando 6.000 kg ha⁻¹.

No dia 10 de março 2021 a *Brachiaria ruziziensis* foi implantada a lanço na quantidade de 7,4 kg de semente por hectare sendo que a mesma apresentava valor cultural de 70%. Em seguida procede-se com a cultura do milho. O híbrido foi o AG 9000 PRO3 na densidade de semeadura de 60.000 sementes por hectare, espaçamento entra linha de 70 cm, com 4,2 sementes por metro linear. O tratamento de semente foi realizado com fungicida carbendazin + tiram (2ml kg de semente) e o inseticida imidacloprid + tiodicarbe (3ml kg de semente). Como adubação de base foi utilizado 270 kg ha⁻¹ de um formulado 10-15-15 e 200 kg ha⁻¹ e quando a cultura estava em estágio V4 foi realiza a aplicação a lanço de ureia a 45% de concentração de nitrogênio objetivando a produção de 11.000 kg ha⁻¹.

A implantação da cultura da soja ocorreu no dia 06 de outubro de 2021, o cultivar foi o Brasmax 55I57 IPRO, na densidade de 266.664 semente por hectare com espaçamento entre linhas de 45 cm, contendo assim 12 semente por metro linear. O tratamento de semente foi realizado com fungicida carbendazin + tiram (2ml kg de semente) e o inseticida imidacloprid + tiodicarbe (3ml kg de semente). Para adubação de base foi utilizado 310 kg ha⁻¹ de fertilizante 04-24-16 e com adubação complementar de K através de 50 kg ha⁻¹ KCl objetivando 6.000 kg ha⁻¹.

No dia 24 de janeiro de 2022 a *Brachiaria ruziziensis* foi implantada a lanço na quantidade de 7,4 kg de semente por hectare sendo que a mesma apresentava valor cultural de 70%. Em seguida procede-se com a cultura do milho. O híbrido foi o AG 9000 PRO3 na densidade de semeadura de 60.000 sementes por hectare, espaçamento entra linha de 70 cm, com 4,4 sementes por metro linear. O tratamento de semente foi realizado com fungicida carbendazin + tiram (2ml/kg de semente) e o inseticida imidacloprid + tiodicarbe (3ml kg de semente). Como adubação de base foi utilizado 270 kg ha⁻¹ de um formulado 10-15-15 e 200 kg ha⁻¹ e quando a cultura estava em estágio V4 foi realiza a aplicação a lanço de ureia a 45% de concentração de nitrogênio objetivando a produção de 11.000 kg ha⁻¹. A *Brachiaria ruziziensis* foi implantada a lanço na quantidade de 7,4 kg de semente por hectare sendo que a mesma apresentava valor cultural de 70%. Em seguida procede-se com a cultura do milho.

4.2.5.4 Sistema 4 (S4)

Neste sistema consistiu na semeadura da cultura da soja no verão e trigo no período de inverno, sendo que no período entre a colheita da soja até a data da semeadura do trigo o solo ficava em pousio.

A cultura do trigo foi implantada no 18 de maio de 2020, o cultivar semeada foi a TBio Audaz e uma densidade populacional de 3.705.660 semente/hectare, estacamento entre linhas de 17 cm e com 63 sementes por metro linear. Como adubação e base foi utilizado 300 kg ha⁻¹ de um formulado 10-15-15 e realizada a aplicação a lanço de 200 kg ha⁻¹ de ureia 45% quando a cultura estava no perfilhamento.

A implantação da cultura da soja ocorreu no dia 07 de outubro de 2020, o cultivar foi o Monsoy 5705 IPRO, na densidade de 266.664 semente por hectare com espaçamento entre linhas de 45 cm, contendo assim 12 semente por metro linear. O tratamento de semente foi realizado com fungicida carbendazin + tiram (2ml kg de semente) e o inseticida imidacloprid + tiodicarbe (3ml kg de semente). Para adubação de base foi utilizado 310 kg ha⁻¹ de fertilizante 04-24-16 e com adubação complementar de K através de 50 kg ha⁻¹ KCl objetivando 6.000 kg ha⁻¹.

A cultura do trigo foi implantada no 29 de maio de 2021, o cultivar semeada foi a TBio Audaz e uma densidade populacional de 3.705.660 semente/hectare, estacamento entre linhas de 17 cm e contendo 63 sementes por metro linear. Como adubação e base foi utilizado 300 kg ha⁻¹ de um formulado 10-15-15 e realizada a aplicação a lanço de 200 kg ha⁻¹ de ureia 45% quando a cultura estava no perfilhamento.

A implantação da cultura da soja ocorreu no dia 06 de outubro de 2021, o cultivar foi o Brasmax 55I57 IPRO, na densidade de 266.664 semente por hectare com espaçamento entre linhas de 45 cm, contendo assim 12 semente por metro linear. O tratamento de semente foi realizado com fungicida carbendazin + tiram (2ml kg de semente) e o inseticida imidacloprid + tiodicarbe (3ml kg de semente). Para adubação de base foi utilizado 310 kg ha⁻¹ de fertilizante 04-24-16 e com adubação complementar de K através de 50 kg ha⁻¹ KCl objetivando 6.000 kg ha⁻¹.

A cultura do trigo foi implantada no dia 23 de maio de 2022, o cultivar semeado foi a TBio Audaz e uma densidade populacional de 3.705.660 semente/hectare, espaçamento entre linhas de 17 cm e contendo 63 sementes por metro linear. Como

adubação e base foi utilizado 300 kg ha⁻¹ de um formulado 10-15-15 e realizada a aplicação a lanço de 200 kg ha⁻¹ de ureia 45% quando a cultura estava no perfilhamento.

4.2.5.5 Sistema 5 (S5)

Neste sistema consistiu as sementeira da cultura da soja no verão e aveia preta no período de inverno, sendo que no período entre a colheita da cultura de verão e sementeira da cultura de inverno o solo ficava em pousio.

A sementeira da aveia preta ocorreu no dia 18 de maio de 2020 utilizado a cultivar BRS 139, com o volume de 150 kg sementes por ha⁻¹. Como adubação de base foi utilizado 300 kg ha⁻¹ do fertilizante 10-15-15.

A implantação da cultura da soja ocorreu no dia 07 de outubro de 2020, o cultivar foi o Monsoy 5705 IPRO, na densidade de 266.664 semente por hectare com espaçamento entre linhas de 45 cm, contendo assim 12 semente por metro linear. O tratamento de semente foi realizado com fungicida carbendazin + tiram (2ml kg de semente) e o inseticida imidacloprid + tiodicarbe (3ml kg de semente). Para adubação de base foi utilizado 310 kg ha⁻¹ de fertilizante 04-24-16 e com adubação complementar de K através de 50 kg ha⁻¹ KCl objetivando 6.000 kg ha⁻¹.

A sementeira da aveia foi ocorreu no dia 29 de maio de 2021 utilizado a cultivar BRS 139, com o volume de 150 kg sementes por hectares. Como adubação de base foi utilizado 300 kg ha⁻¹ do fertilizante 10-15-15.

A implantação da cultura da soja ocorreu no dia 06 de outubro de 2021, o cultivar foi o Brasmax 55I57 IPRO, na densidade de 266.664 semente por hectare com espaçamento entre linhas de 45 cm, contendo assim 12 semente por metro linear. O tratamento de semente foi realizado com fungicida carbendazin + tiram (2ml kg de semente) e o inseticida imidacloprid + tiodicarbe (3ml kg de semente). Para adubação de base foi utilizado 310 kg ha⁻¹ de fertilizante 04-24-26 e complementação de K através de 50 kg ha⁻¹ KCl objetivando 6.000 kg ha⁻¹.

A sementeira da aveia foi ocorreu no dia 23 de maio de 2022 utilizado a cultivar BRS 139, com o volume de 150 kg ha⁻¹ de semente. Como adubação de base foi utilizado 300 kg ha⁻¹ do fertilizante 10-15-15.

4.2.6 Características avaliadas

A análise da estabilidade de agregados utilizou-se a metodologias descrita por Salton (2012). As análises foram realizadas no laboratório de física do solo da Universidade Estadual do Oeste Paranaense - Campus Marechal Cândido Rondon (UNIOESTE), a qual consiste na separação dos agregados por meio seco e em água.

Inicialmente coletou-se as amostras, com medida de 10 x 10 x 10 centímetros na camada de 0-10 centímetros de profundidade.

Após a coleta procedeu-se com a secagem das amostras até o ponto de friabilidade. Em seguida as amostras foram destorroadas manualmente, porém, sempre observando os pontos de maior fragilidade dos agregados, de forma que todos agregados transpassem a peneira 9,52 mm. Fragmentos de vegetais e pedras foram descartados.

Para procedimento de peneiramento em água, utilizou-se subamostras (50 gramas) que, foram colocadas em um funil de papel o qual foi colocado em um recipiente com água suficiente para que ocorresse o umedecimento da amostra via capilaridade por um período de 16 horas. Em seguida essas amostradas foram transferidas para o conjunto de peneira com as aberturas de 4,76 mm, 2,00 mm, 1,00 mm, 0,5 mm, 0,25 mm, 0,105 mm e 0,053 mm as quais estavam dentro de um recipiente que comportava as mesmas e estava acoplado a um agitador de oscilação vertical (Figura 6). O recipiente que continha as peneiras foi preenchido com água até que a mesma encobrisse as amostras que estavam na peneira com abertura de 4,76 mm. Em seguida o agitador foi programado para que efetuasse 42 agitações por minuto sendo que as amostras foram agitadas por 15 minutos. Na sequência as amostras de solo retidas em cada peneira foram transferidas para um recipiente metálico e levadas para secagem em estufa a 105° C até peso constante para que se possa determinar a massa seca.

O solo residual e a água contida no recipiente foram transferidos para outro recipiente. Durante esse processo ocorreu o peneiramento com peneira de 0,105 mm e 0,053 mm de abertura. O material retido nessas peneiras foi colocado em um recipiente e levados a estufa a 105°C para secagem até peso constante e determinação de massa seca.



Figura 6 - Agitador de peneiras Yoder para determinação de estabilidade de agregado.
Fonte: Próprio autor.

Para fins de determinação de Diâmetro Médio Geométrico (DMG) foi procedido com dois peneiramentos, um a seco e outro úmido e determinado através da equação 1:

$$DMG = \frac{\sum \ln(xi) * wi}{\sum wi}$$

Onde:

DMG: diâmetro médio geométrico;

wi = massa de cada classe em gramas;

xi = diâmetro médio das classes expressas em mm.

O índice de estabilidade de agregado se dá pela relação entre o diâmetro médio ponderado da amostra úmida e diâmetro médio ponderado da amostra seca conforme Equação 2:

$$IEA = \frac{DMPu}{DMPs} * 100$$

Onde:

IEA: Índice de estabilidade de agregado;

DMP_u = diâmetro médio ponderado da amostra úmida;
DMP_s = diâmetro médio ponderado da amostra seca.

Como forma de avaliar a estruturação do solo procedeu-se com o método de diagnóstico rápido de estrutura do solo (RALISCH et al., 2017).

Para determinação da estrutura do solo através do diagnóstico rápido da estrutura do solo (DRES) iniciou-se com a retirada da cobertura vegetal existente e resíduos de vegetação, em seguida foi aberta uma trincheira de aproximadamente 40 cm de comprimento, 30 cm de largura e 30 cm de profundidade (figura 7). As superfícies da trincheira permaneceram intactas, sem mascas dos instrumentos utilizados para a abertura da trincheira e sem espelhamento.

O bloco de solo retirado para avaliação da estrutura possuía espessura de 10 cm, largura de 20 cm e profundidade de 25 cm. Nas culturas com espaçamento entre linhas maior de 20 cm a amostra foi retirada de forma a evitar a linha de semeadura, enquanto nas entre linhas menores de 20 cm tornou-se inevitável não conter uma linha no bloco da amostra, contudo procedeu-se de forma que contenha apenas uma linha de semeadura (Figura 7).

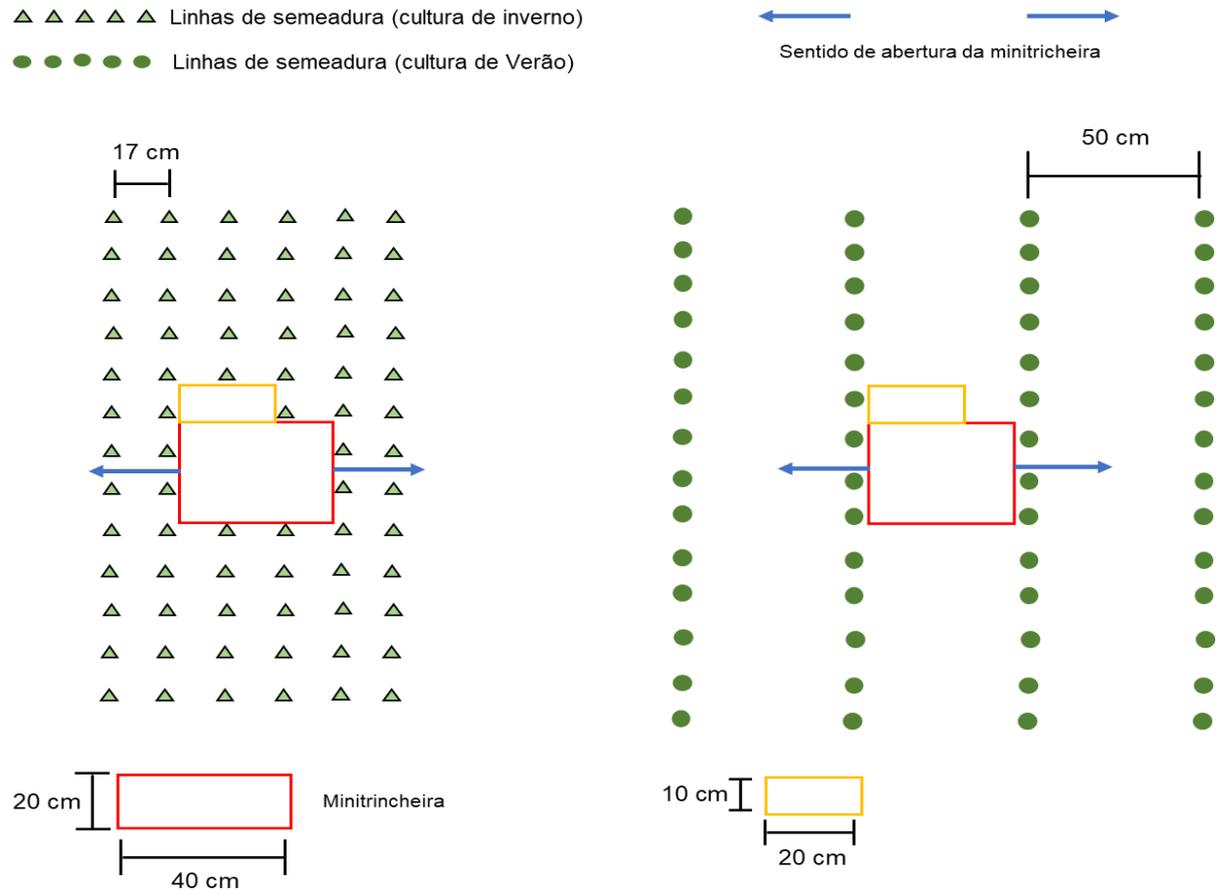


Figura 7 - Esquema ilustrativo do sentido da trincheira e posicionamento do local de retirada do bloco do solo em relação a linha de semeadura da cultura.

Fonte: Adaptado de RALISCH et al, 2017.

O bloco de solo coletado na trincheira foi colocado em uma bandeja de 25 cm de largura de forma que as amostras não sofressem deformação no tamanho da sua profundidade.

Em seguida foi efetuada a fragmentação do bloco. Esse processo ocorreu no sentido horizontal, do centro da amostra para as extremidades. Desta forma evitando a mistura de material de camadas distintas da amostra. Nesse processo é de extrema importância que a força empregada na fragmentação não seja excessiva, devendo utilizar força moderada, apenas o suficiente para que haja o rompimento do bloco de solo na linha de ruptura no mesmo. Durante a fragmentação do bloco de solo deve-se aplicar força nas mais distintas direções para que se encontre todas as linhas de rompimento. Esse rompimento não deve ocorrer junto aos dedos que exercem pressão, pois isso indica que a força utilizada está em demasia e acaba por romper as amostras em ponto onde a ruptura natural.

Os fragmentos oriundos desse processo podem originar microagregados, macroagregados e até mesmo torrões, estes maiores de 7 cm de diâmetro.

Esta amostra foi dividida em camadas, estas podendo ter uma única camada ou mais. Para determinação das camadas foi levado em conta o diâmetro dos agregados. Camadas com espessuras inferiores a 5 cm não foram individualizadas devido à dificuldade de separação. Toda via esta camada foi considerada na camada de maior similaridade.

A determinação da nota de cada camada levou em conta alguns fatores, coma a evidencia de agregação do solo ou conservação/degradação do solo e proporção visual do volume e tamanho dos agregados, sendo que quanto maior a nota atribuída melhor a estrutura do solo (figura 8).

Condição inicial	Camadas da amostra com evidência de conservação/recuperação			Camadas da amostra com evidência de degradação		
Q_{ec}	$Q_{ec} = 6$	$Q_{ec} = 5$	$Q_{ec} = 4$	$Q_{ec} = 3$	$Q_{ec} = 2$	$Q_{ec} = 1$
Tamanho do agregado e % na amostra	Mais de 70% de agregados menores que 1 centímetro e maiores que 7 centímetros.	50 a 70% de agregados menores que 1 centímetro e maiores que 7 centímetros.	Menos de 50% de agregados menores de 1 centímetro e maiores de 7 centímetros.	Menos de 50% de agregados com 1 a 4 centímetros.	50 a 70% de agregados com 1 a 4 centímetros.	Mais de 70% de agregados com 1 a 4 centímetros.
Características da estrutura	Estrutura friável, agregados muito grumosos e atividade biológica alta. Raízes abundantes e bem distribuídas na camada avaliada, sem deformações ocasionadas por impedimentos físicos, crescendo através do agregado.	Estrutura friável, agregados grumosos e porosos, com mediana atividade biológica. Raízes a bem distribuídas na camada avaliada, podendo apresentar poucos sinais de restrição ao crescimento. As raízes crescem predominantemente através dos agregados.	Estrutura friável, pouco grumosa, poucos poros e fraca atividade biológica. Raízes podem apresentar algum impedimento ao desenvolvimento.	Estrutura coesa nos agregados grandes, muito solta entre os agregados menores que 1 cm. Predomínio dos agregados com faces planas, com poucos poros e atividade biológica. Pode apresentar raízes achatadas com dificuldade de desenvolvimento pleno na camada avaliada.	Estrutura coesa nos agregados grandes, muito solta entre os agregados menores que 1 cm. Predomínio de agregados com faces planas, com alguns poros e atividade biológica. Desenvolvimento radicular limitado, com predomínio de raízes achatadas com dificuldade de penetração no interior dos agregados.	Estrutura coesa nos agregados grandes, muito solta entre os agregados menores que 1 cm. Predomínio de agregados com faces planas, sem poros visíveis e atividade biológica. Forte restrição ao desenvolvimento radicular, com predomínio de raízes achatadas, crescimento preferencialmente nas fissuras entre agregados.
	Grumosidade, atividade biológica, porosidade, raízes bem			Superfícies planas, raízes achatadas, solo desagregados ou compactado.		

Figura 8 - Atribuições das notas de qualidade do solo referente as características de cada camada da amostra de solo (Q_{ec}).

Fonte: Adaptado de RALISCH, et al (2017).

A determinação do carbono orgânico total (COT) foi realizada no laboratório da Solanalise e a metodologia utilizada foi a descrita por Claessen (1997), a qual se baseou na oxidação da matéria orgânica por via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico.

A amostra de solo foi peneirada em peneira < 2 mm, desta pegou-se 0,5 g que foram colocadas em um Erlenmeyer de 250 ml e adicionado 10 ml de dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) a 0,4 M.

O Erlenmeyer foi colocado em um tubo de ensaio de 25 mm de diâmetro e 250 mm de altura cheio de água até a boca do Erlenmeyer, de forma a funcionar como

condensador. Foi aquecido em placa elétrica até fervura branda por 5 minutos. Após, a solução esfriar foi adicionado 80 ml de água destilada, 2 ml de ácido fosfórico (H_3PO_4) e 3 gotas de indicador difenilamina. Em seguida a solução foi titulada com sulfato ferroso amoniacal a 0,1 M até a coloração azul fosse alterada para a verde. O volume gasto na titulação foi anotado para posterior uso. O mesmo procedimento foi feito com um padrão (branco), apenas não utilizando amostra de solo.

O cálculo para obtenção da quantidade de C é dado pela equação 3:

$$C(g.kg) = (40 - Volume\ gasto) * f * 0,6$$

Onde:

C: carbono orgânico;

Volume gasto: volume gasto de sulfato ferroso amoniacal na titulação da amostra (ml);

F: 40/ volume de sulfato ferroso amoniacal do padrão (branco).

4.2.7 Análise estatística

Os resultados de atributos físicos foram avaliados por meio da análise de variância e comparação de médias por meio de Tukey, ao nível de 5% de significância, através do software estatístico SISVAR[®] (FERREIRA, 2011).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como observado na tabela 3, não houve diferença significativa entre os sistemas produtivos de grãos quanto ao diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados do solo. Embora foram usados distintos sistemas produtivos na área desde fevereiro de 2020, estes não foram capazes de promover alterações. Estes resultados são justificados devido ao longo período que a área vinha sendo conduzida em um mesmo sistema de manejo (o qual é representado pelo sistema 1) e pelo curto tempo da implantação do experimento, uma vez que a qualidade física do solo e sua alteração estrutural por meio de cultura é um processo lento e gradual necessitando um período maior para se detectar tais alterações.

Conforme Guedes et al., (2022), em seu estudo buscando observar o efeito de manejos de solo sobre a qualidades físicas do solo não foram encontradas diferença significativa na estabilidade de agregados e diâmetro médio geométrico devido ao curto período de implantação do experimento.

Outro parâmetro analisado foi o índice de estabilidade de agregados (Tabela 3), o qual também não sofreu interferência do sistemas produtivos implantados. Contudo, pode-se observar que os valores variaram entre 95,91% a 98,26% com média deste índice de 97,17 %. Tem-se neste índice que, quão mais elevado os valores maior a estabilidade. Desta forma, este valores elevados de IEA demonstram que estes sistemas produtivos apresentam boa resistência a degradação do solo, ou seja, são pouco impactados por cisalhamento e erosão do solo (SALTON et al. 2012).

Quando comparados a outros estudos, tem-se nesse resultado um elevado IEA. Conforme Cordeiro (2019), em seu estudo não encontrou diferença significativa para IEA sendo que o mesmo oscilou entre 86 e 97% e como média do 90,33%. Cunha Neto, et al. (2018), obteve variação entre 74% e 92% dentre os tratamentos e uma estabilidade média de 79,25%. Freitas et al. (2020) não encontraram diferença estatística significativa, sendo que em seu estudo os valores de IEA que variaram de 91,31% a 95,95% entre os tratamentos e uma média dos mesmos de 92,96%.

Tabela 3 - Demonstra o Diâmetro médio geométrico (DMG), índice de estabilidade de agregados (IEA), índice de qualidade estrutural do solo (IQES) e teores de carbono orgânico total em diferentes sistemas de manejo no Oeste do Paraná.

Manejo	DMG (mm)	IEA (%)	IQES	COT (g kg ⁻¹)
S1	1,60 ^{ns}	95,91 ^{ns}	4,32 a	20,41 ^{ns}
S2	2,11	98,07	4,29 a	20,94
S3	1,83	96,72	4,47 a	23,25
S4	1,97	96,91	3,51 b	22,19
S5	1,97	98,26	3,54 b	21,06
Média	1,90	97,17	4,03	21,57
CV	15,53	1,75	7,60	15,25

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05\%$). ns - não significativo. S1 – implantação da cultura da soja verão/milho segunda safra, S2 – implantação da cultura da soja no verão e rotação da cultura de outono/inverno entre milho e aveia preta, S3 – implantação da cultura da soja verão/milho segunda safra + *Brachiaria ruziziensis*, S4 – implantação da cultura da soja no verão e trigo no período de inverno, S5 – soja no verão e aveia preta no período de inverno.

Embora estes valores de IQES contidos na tabela 3 não sejam os mais adequados tendo em vista que, o interessante é que este índice chegue o mais próximo possível de 6 (como demonstrado na Figura 8) o que demonstra que este solo possui uma qualidade estrutural considerada desejável.

Analisando o índice de qualidade estrutural de solo os tratamentos S1, S2 e S3 obtiveram as médias 4,32, 4,29 e 4,47 respectivamente de forma que se diferenciaram estatisticamente dos demais, e não se diferenciaram entre si. Os tratamentos S4 e S5 resultaram em menores médias de IQES (3,51 e 3,54 respectivamente) em relação aos demais (Tabela 3) demonstrando assim uma menor qualidade estrutural.

Quando analisadas as características dos sistemas produtivos, pode-se perceber que de forma geral os tratamentos que continham a cultura do milho (S1, S2 e S3) apresentaram uma melhor estrutura de solo quando comparado ao que possuem trigo ou aveia preta como cultura em sucessão a soja.

Este fato pode estar ligado ao método de semeadura, uma vez que a semeadura da cultura da soja e da cultura do milho ocorrem com semeadoras com sulcador enquanto nos sistemas S4 e S5 ocorre a utilização de haste sulcadora apenas na implantação da cultura da soja. A ação do sulcador acaba por romper as camadas subsuperficiais mais adensadas do solo provocando alteração na geometria porosa do solo, densidade e resistência mecânica a penetração. Nunes (2015) observou a melhora da qualidade do solo em sistema onde a semeadura ocorreu com sulcador e detrimento a semeaduras ocorridas com haste de disco. Outro ponto a ser

observado do sistema S4 e S5 é a utilização de semeadoras com sistema de disco desencontrados a 17 cm entre linhas como forma de abertura do sulco de semeadura. Este sistema pode ter contribuído para uma maior compactação do solo nestes sistemas, uma vez que, a pressão exercida pelo maquinário desloca o volume de solo gerando o aumento da densidade subsuperficial do solo. Reis et al.(2006), observou a compactação no entorno do sulco de semeadura feito por sulcador do tipo disco duplo, enquanto no sulco gerado pelo sulcador de haste não houve esse aumento da densidade.

Conforme Koakoski et al. (2007), ao comparar os efeitos da semeadura com haste sulcadora e semeadura com disco observou que, a semeadura realizado com haste sulcadora proporcionou maior aeração do solo e menor resistência mecânica a penetração.

Segundo Nunes (2015), ao comparar semeaduras entre haste sulcadora e disco nas culturas de soja e milho se alternando das no período de verão e trigo e centeio no período de inverno, percebeu que a semeadura com haste sulcadora promoveu melhora da qualidade física do solo. Esta ação conseguiu romper a camada compactada do solo de forma a obter menor resistência mecânica a penetração, menor densidade do solo e maior índice de macroporos, maior porosidade total, maior disponibilidade de água quando comparados ao plantio com disco.

Já para áreas de sistema S4 e S5 a semeadura da cultura de inverno corre com semeadoras com disco, e espaçamento de 17 cm entre linhas, o que pode acarretar e maior movimentação superficial, promovendo até mesmo a desagregação do mesmo nessa camada.

Corroborando com isso, Genro Junior et al. (2004), observou em seu trabalho que a semeadura das culturas com espaçamento de 90 cm entre linhas mobilizou de 10 a 15% do solo, semeadura com espaçamento de 40 cm entre linhas mobilizou entre 25 e 30% do solo superficial, enquanto a semeadura com 17 cm entre linhas mobilizou mais de 80% do solo na camada de 0-7 centímetros de profundidade.

Desta forma havendo grande movimentação do solo nas camadas mais superficiais. Em comparativo dos efeitos da semeadura com haste sulcadora e semeadura com disco, observou que a área onde a implantação da cultura ocorreu com a utilização da haste sulcadora a densidade relativa ficou abaixo de 90% na camada de 7 a 15 cm, não sendo restritivo a cultura, bem como, aumento a

porosidade total do solo (DRESCHER, 2017).

Outro ponto a ser observado é o desenvolvimento radicular das culturas. Como a haste sulcadora consegue romper a camada compactada do solo possibilita para as culturas condições para melhor desenvolver seu sistema radicular de forma a este conseguir atingir camadas mais profunda e explorar maior área do solo.

Esta ação do sistema de sulcador e/ou sistema com disco somada a baixa precipitação pode ter prejudicado o desenvolvimento radicular as culturas dificultando assim uma melhor estruturação do solo. O sistema radicular das culturas de inverno (trigo e aveia preta) ficaram mais concentrados nas camadas superficiais de solo, ou seja, acima da camada compactada em subsuperfície podendo ocasionar uma menor estruturação do solo.

Em estudos realizados por Nunes et al. (2015), o mesmo constatou que devido ao não rompimento da camada compactada na subsuperfície (7 a 17 cm) pela ação do disco de plantio, 74% o sistema radicular da cultura em questão ficou concentrada na camada superficial (0 a 7 cm). Quando promoveu-se a ruptura da camada compactada pela haste sulcadora ocorreu melhor distribuição do sistema radicular, maior comprimento de raiz e maior massa seca de raiz.

Outro fator que pode ter influenciado para que os tratamentos S1, S2 e S3 se diferenciasssem dos demais é que, nestes sistemas produtivos há a inclusão da cultura do milho. A cultura do milho possui um sistema radicular robusto quando comparado as culturas do trigo e aveia preta, gerando assim maiores volumes de matéria seca radicular, o que pode ter proporcionado a manutenção das características de qualidade do solo do local onde o experimento foi implantado. Já a cultura do trigo e da aveia preta, por terem um sistema radicular menor, não conseguiram manter as características de qualidade do solo no local.

Conforme Redin et al. (2018), em seu estudo onde comparou 26 espécies, observou que a matéria seca radicular coletada na camada de 0 a 20 cm de profundidade do solo na cultura do milho produziu cesta de 1.360 kg.ha⁻¹, contra 1.240 kg.ha⁻¹ da cultura do trigo. Conforme Bordin, et al. (2008), em estudo realizado visando mensurar as características radiculares do milho em sistema de plantio convencional e sistema de plantio direto observou que a cultura do milho do sistema SPD produziu cerca de 2.510 kg ha⁻¹ e teve a profundidade efetiva da raiz em 46 cm.



Figura 9 - Imagem comparativa entre os manejos: S1, S2 e S3 - sistema onde há apenas a utilização de haste sulcadora (cultura de verão e safrinha); S4 e S5 - sistema onde há o cultivo com haste sulcadora e cultivo com disco a 17cm de espaçamento (cultivo de verão e inverno respectivamente).

A figura 9 evidencia os efeitos provocados pela haste sulcadora no tratamento S1, S2 e S3, demonstrando que embora o solo não esteja em sua plenitude estrutural apresenta uma melhor estruturação da camada mais profunda. Nos sistemas S4 e S5, onde houve a utilização de discos a 17 cm de espaçamento entre linhas, ocorreu grande movimentação do solo superficial.

Os teores de carbono orgânico total expressos na tabela 3 demonstram que os tratamentos não se diferiram estatisticamente. Fato este que pode estar relacionado ao histórico da área, uma vez que a mesma vinha sendo conduzida no sistema de sucessão soja/milho safrinha por longo período e há apenas 30 meses foram adotados novos sistemas de produção.

Conforme Sá (2009), a utilização do sistema de plantio direto por longo período associado a rotação de culturas de forma a aportar vultuosos volumes de restos culturais recuperam a matéria orgânica do solo e geram estabilidade do sistema. Corroborando com essa premissa, para Costa et al. (2013) o aumento da matéria orgânica do solo é um processo lento e dependente das condições edafoclimáticas do local. Para Lourente et al. (2016), no sistema de plantio direto a alteração de carbono orgânico total normalmente é mais lenta, de forma a ser pouco perceptiva nos primeiros anos de cultivo.

Culturas anuais quando submetidas a estresse hídrico tendem a ter seu desenvolvimento fisiológico afetado devido aos impactos negativos provocados pela falta de água, o que acarreta em menor crescimento de parte aérea e radicular. Fato este que pode estar relacionado a menor produção de matéria seca e variação de biomassa vegetal dentro dos sistemas produtivos devido a restrição hídrica ocorridos no experimento, quando comparadas a anos onde as culturas não tiveram restrição o

que pode ter impactando na dinâmica de matéria orgânica no solo e por consequência nos teores de carbono orgânico total.

Conforme Taiz e Zeiger (2017), o estresse hídrico interfere do desenvolvimento das plantas, havendo respostas distintas conforme a espécie e estágio do desenvolvimento e da intensidade desse estresse. Em estudo realizado por Coelho et al (2017), ao submeter dois híbrido de milho de genótipos diferentes a déficit hídrico, este apresentaram redução no volume radicular (VR), redução de massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca das raízes (MSR) e massa seca total (MST). Da mesma forma Tatagiba et al. (2013), observaram que feijoeiros apresentaram redução da MSPA, MSR, MST quando submetidos a restrição hídrica em níveis de 50% da capacidade de. Já Gava et al. (2016), observou redução de crescimento e produtividade da cultura da soja quando submetida a déficit hídrico.

Como expresso nas figuras 3, 4 e 5, o regime hídrico da região Oeste paranaense foi fortemente impactado por uma das maiores secas da história. Durante esse período as chuvas foram concentradas em alguns períodos do ano de forma a saturar o solo e posteriormente ficar longos períodos sem volumes significativos de chuva o que acarretou em baixa disponibilidade de água para as cultura e para a microbiota do solo, a qual tinha sua atividade de decomposição da palhada limitada.

Para Bernard et al. (2013), a quantidade de microbiota do solo diminui em período de déficit hídrico e por consequência diminui a atividade. Microrganismos são responsáveis inúmeros processos no solo, entre eles a decomposição de palhada (SILVA et al., 2021).

4.4 CONCLUSÃO

Os sistemas produtivos S1, S2 e S3 apresentaram melhor estrutura do solo quando comparados aos sistemas S4 e S5.

A ação do sulcador durante o processo de semeadura das culturas proporcionou a manutenção das características estruturais do solo enquanto sistemas em que houve a semeadura da cultura de inverno ocorreu uma piora na estrutura do solo.

Estabilidade de agregados, diâmetro médio geométrico e carbono orgânico total são atributos que possuem um tempo de resposta lento, necessitando de um maior período para sofrer alterações, não sendo possível evidenciar alterações ocasionadas pelos sistemas produtivos no período em que se transcorreu o experimento.

5 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ANDREATTA, T.; et al. Percepções de consumidores sobre alimentos orgânicos: uma análise multifatores. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 4, p. 18497 – 18516, 2020. Disponível em: <<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/8643/7429>>.

Acesso em: 13 fev. 2023.

BERNARD, R.L.; et al. Responses of soil bacterial and fungal communities to extreme desiccation and rewetting. **ISME Journal**, v. 7, p. 2229 - 2241, 2013. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/ismej2013104>>. Acesso em: 31 de jan. 2023.

BORDIN, I.; ET AL. Matéria seca, carbono e nitrogênio de raízes de soja e milho em plantio direto e convencional. **Pesquisa agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 12, p. 1785 -1 792, 2008. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/250030877_Materia_seca_carbono_e_nitrogenio_de_raizes_de_soja_e_milho_em_plantio_direto_e_convencional>. Acesso em: 23 jul. 2023.

CLAESSEN, M. E. C. **Manual de métodos de análise de solo**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Solos, Rio de Janeiro, ed. 2 p 212, 1997. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/330804/1/Manualde_metodosdeanalisedesolo2ed1997.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2022.

COELHO, A. E.; et al. Inoculação de sementes com *Azospirillum* brasileiro em plantas de milho submetidas à restrição hídrica. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 16, n. 2, p. 186 - 192, 2017. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Antonio-Coelho-3/publication/319088375_INOCULACAO_DE_SEMENTES_COM_Azospirillum_brasileiro_EM_PLANTAS_DE_MILHO_SUBMETIDAS_A_RESTRICAO_HIDRICA/links/598f969c458515b87b45cd07/INOCULACAO-DE-SEMENTES-COM-Azospirillum-brasilense-EM-PLANTAS-DE-MILHO-SUBMETIDAS-A-RESTRICAO-HIDRICA.pdf>. Acesso em: 05 de abr. 2023.

CORDEIRO, M. M. **Dinâmica hidrogeomorfológica em vertente na floresta nacional de pirai do sul, paraná**. 82 p, 2019. Dissertação (Mestrado em geografia). Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa. 2019. Disponível em: <<https://tede2.uepg.br/jspui/bitstream/prefix/2882/1/Marcos%20Marcondes%20Carneiro.pdf>>. Acesso em: 05 jan. 2023.

COSTA, E.; et al. Matéria orgânica do solo e o seu papel na manutenção e produtividade dos sistemas agrícolas. **Enciclopedia Biosfera**, vol. 9, n. 17, 2013. Disponível em: <<https://www.conhecer.org.br/enciclop/2013b/CIENCIAS%20AGRARIAS/materia%20organica.pdf>>. Acesso em: 28 mar. 2023.

CUNHA NETO, F. V. et al. Atributos químicos e físicos do solo em áreas sob diferentes coberturas florestais e pastagem em Além Paraíba – MG. **Ciência Florestal**, Santa

Maria, v. 28, n. 1, p. 13 – 24, 2018. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/31569/pdf>>. Acesso em: 01 out. 2023.

DRESCHER, M. S.; et al. Fertilizer shanks to promote soil decompaction in the seeding operation. **Ciência Rural**, v. 47, n. 2, 2017. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/cr/a/RxPhsVDdY4wZJwYVnWdQ6kb/?lang=en>>. Acesso em: 11 fev. 2023.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e agrotecnologia**. UFLA, v. 35, n. 6, p. 1039 – 1042, 2011.

FREITAS, D. A.; ET AL. Atributos físicos do solo sob diferentes usos da terra do Cerrado de Minas Gerais. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, Curitiba, v. 3, n. 4, p. 3867 - 3882, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/52086/2/Atributos%20f%3%adsicos%20do%20solo%20sob%20diferentes%20usos%20da%20terra%20do%20Cerrado%20de%20Minas%20Gerais_Leidivan%20Almeida%20Fraz%c3%a3o.pdf>. Acesso em: 01 out. 2023.

GAVA, R.; et al. Estratégias de manejo de déficit hídrico na irrigação da cultura da soja. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 10, p. 305 - 315, 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/308765033_ESTRATEGIAS_DE_MANEJO_DE_DEFICIT_HIDRICO_NA_IRRIGACAO_DA_CULTURA_DA_SOJA_STRATEGIES_OF_DEFICIT_WATER_MANAGEMENT_IN_IRRIGATION_OF_SOYBEAN_CROPP>. Acesso em: 05 de abr. 2023.

GENRO JUNIOR, S. A.; et al. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. V. 28, p. 477 – 484, 2004. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/MghmZtQxLjjTkKjxdh3Nyvy/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 11 fev. 2023.

GUBIANI, P. I.; et al. Interação entre disponibilidade de água e compactação do solo no crescimento e na produção do feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 765 - 773, 2014. Disponível em: <http://old.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832014000300008>. Acesso em: 13 fev. 2023

GUEDES, P. O. A. S.; et al. Caracterização da influência inicial do manejo do solo sobre a estabilidade de agregados. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 16, p. 1 – 8, 2022. Disponível em: <<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/37558/31421>>. Acesso em: 31 de jan. 2023.

KOAKOSKI, A.; et al. Desempenho de semeadora-adubadora utilizando-se dois mecanismos rompedores e três pressões da roda compactadora. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 42, n. 5, p. 725 - 731, 2007. Disponível em:

<<https://www.scielo.br/j/pab/a/MXXtvtMrvLZVv3bzBv668gt/?lang=pt#>>. Acesso em: 25 set. 2023.

LOURENTE, E.R.P.; et al. Agricultural management systems affect on physical, chemical and microbial soil properties. **Australian Journal of Crop Science**, vol. 10, p. 683 - 692, 2016. Disponível em: <http://www.cropj.com/serra_10_5_2016_683_692.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2023.

LOSS, A.; et al. Soil fertility, physical and chemical organic matter fractions, natural ¹³C and ¹⁵N abundance in biogenic and physicogenic aggregates in areas under different land use systems. **Soil Research**, v. 52, p. 685 – 697, 2014. Disponível em: <https://www.publish.csiro.au/sr/SR14045>. Acesso em: 13 fev. 2023.

NEPAR-SBCS. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. Curitiba, IPSIS Grafia e Editora, ed. 2, p. 289, 2019.

NUNES, et al. Mitigation of clayey soil compaction managed under no-tillage. **Soil & Tillage Research**, v. 148, p. 119 – 126, 2015. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/145720/1/ID43708-2015v148p119STR.pdf>>. Aceso em: 28 set. 2023.

RALISCH, R.; et al. **Diagnóstico rápido da estrutura do solo – DRES**. Londrina, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), p. 64, 2017. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/soja/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1071114/diagnostico-rapido-da-estrutura-do-solo---dres-livro>>. Acesso em: 20 dez. 2022.

REDIN, M., et al. Root and shoot contribution to carbon and nitrogen inputs in the topsoil layer in no-tillage crop systems under subtropical conditions. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, p. 1 - 16, 2018. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/DgjJfd8Chcy8ncqScfLbQTQ/?format=pdf&lang=en>>. Acesso em: 30 mar. 2023.

REIS, E. F.; ET AL. Densidade do solo no ambiente solo-semente e velocidade de emergência em sistema de semeadura de milho. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v. 30, p. 777 – 786, 2006. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/sQ6qkrDmhXM3Fs9FBdzX3Hz/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 23 jul. 2023.

ROCHA, A. L. Intenções e ações em relação a escolhas de produtos ecológicos: estudos sobre o comportamento do consumidor carioca. **Contextus – Revista Contemporânea de Economia e Gestão**, v. 9, n. 1, p. 49 - 65, 2011. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufc.br/contextus/article/view/32134/72434>>. Acesso em: 13 fev de 2023.

SÁ, J. C. M. SPD recupera matéria orgânica no agrossistema. **Revista Agrícola**, n 9, 2019. Disponível em:< <https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/VA9-Microbiologia01.pdf>>. Acesso em: 28 mar. 2023.

SALTON, J. C.; et al. **Determinação da agregação do solo – Metodologia em uso na Embrapa Agropecuária Oeste**. Dourados, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), p. 8, 2012.

SANTOS, H. G.; et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5ª ed. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), p. 356, 2018.

SILVA, E.; et al. Qualidade física de um Latossolo estimada por estudos das curvas de retenção de água, indicadores de fácil determinação e “Índice S”. **Tecnologia & Ciências Agropecuária**, v. 11, n. 4, p. 49 – 54, 2017. Disponível em: <<https://revistatca.pb.gov.br/edicoes/volume-11-2017/v-11-n-4-novembro-2017/9-qualidade-fisica-de-um-latossolo.pdf>>. Acesso em: 21 nov. 2022.

SILVA, M. O.; et al. Qualidade do solo: indicadores biológicos para um manejo sustentável. **Brazilian Journal of Development**, v.7, n.1, p. 6853-6875, 2021. Disponível em: <<https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/23374/18778>>. Acesso em: 22 dez. de 2022.

Taiz L.; Zeiger E. **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre: Artmed, ed. 6, p. 868, 2017.

TATAGIBA, S. D.; et al. Crescimento e rendimento produtivo do feijoeiro submetido à restrição hídrica. **Engenharia na Agricultura**, v. 21, n. 5, p. 465 – 475, 2013. Disponível em: <<https://periodicos.ufv.br/reveng/article/view/375>>. Acesso em: 05 de abr. 2023.

6 CAPÍTULO 2 – IMPACTOS DOS SISTEMAS PRODUTIVOS DE GRÃOS DA REGIÃO DO OESTE PARANAENSE SOBRE A MICROBIOTA DO SOLO.

RESUMO

A agricultura é uma atividade dinâmica a qual necessita de equilíbrio entre os sistemas de produção e o ambiente. O solo é a base do sistema produtivo sendo fundamental que seja bem manejado a fim de manter a qualidade do solo. O presente estudo teve por objetivo avaliar a microbiota em um LATOSSOLO VERMELHO Distroférico no município de Cafelândia – Paraná, situada na região Oeste paranaense e submetido a diferentes sistemas produtivos. Os sistemas produtivos foram a cultura da soja em todos os tratamentos no período de verão com cultivos em sucessão, sendo o milho solteiro na safrinha (S1), milho solteiro na safrinha e aveia preta após a colheita milho (S2), milho em consórcio com *Brachiaria* (S3), Trigo (S4) e aveia preta (S5). Avaliou-se os parâmetros o carbono de biomassa microbiana (CBM), respiração basal do solo (RBS), atividade enzimática (arilsulfatase, β -glicosidade, Fostatase). O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com 4 repetições. Os sistemas produtivos não influenciaram significativamente a quantidade de carbono de biomassa microbiana, os valores de respiração basal do solo, a atividade de arilsulfatase, β -glicosidade e fostatase.

Palavras chave: Qualidade do solo. Microbiologia do solo. Atividade enzimática.

ABSTRACT

Agriculture is a dynamic activity that requires balance between production systems and the environment. Soil is the basis of the production system and it is essential that it is well managed in order to maintain soil quality. The present study aimed to evaluate the microbiota in a Distroférrico RED LATOSOL in the municipality of Cafelândia – Paraná, located in the western region of Paraná and subjected to different production systems. The production systems were soybean cultivation in all treatments in the summer period with crops in succession, with single corn in the off-season (S1), single corn in the off-season and black oats after harvesting corn (S2), corn in intercropping with *Brachiaria* (S3), Wheat (S4) and black oat (S5). The parameters evaluated were microbial biomass carbon (CBM), basal soil respiration (RBS), enzymatic activity (arylsulfatase, β -glucosity, phostatase). The experimental design was randomized blocks with 4 replications. The production systems did not significantly influence the amount of microbial biomass carbon, the values of basal soil respiration, the activity of arylsulfatase, β -glucosity and phostatase.

Keywords: soil quality. Soil microbiology. Enzymatic activity.

6.1 INTRODUÇÃO

A sustentabilidade da agricultura é algo que a cada dia torna-se mais imprescindível. As matérias primas, base para a produção de fertilizantes são finitas e sua extração fica restrita a poucos lugares no mundo o que torna o sistema produtivo refém da política global e de uma logística onerosa.

Uma forma de mitigar o uso de fertilizantes químicos é termos um solo em equilíbrio e com uma boa qualidade. Para tal, é preciso analisar os sistemas produtivos a fim de entender melhor as características físicas, químicas e biológicas do solo que proporcionaram.

O solo é a base da produção vegetal, mas também é um meio de vida que muitas vezes passa despercebido. A microbiota do solo é fundamental para seu funcionamento (CARDOSO; ANDREOTE, 2016) e mesmo com as adversidades impostas pelas mudanças de seu habitat de origem, se adaptaram e fazem parte do sistema produtivo (BERNARD et al., 2013).

Os microrganismos do solo são responsáveis por inúmeros processos bioquímicos que possibilitam a melhor utilização dos recursos através decomposição de palha, da ciclagem e disponibilização de nutrientes, melhor agregação e estruturação do solo além de melhorar a dinâmica de água no solo (SILVA et al., 2021).

O sistema produtivo adotado e os manejos impostos ao solo interferem diretamente na diversidade e quantidade dos microrganismos. Como resultado podemos ter solos com elevada qualidade bem como solos praticamente sem vida e degradados.

Conforme Feirer (2017), inúmeros fatores interferem na microbiota do solo, sejam eles bióticos ou abióticos. A umidade do solo, a disponibilidade de matéria orgânica o pH e a temperatura interferem na formação das comunidades de microrganismos do solo, seja em diversidade ou em quantidade. O microclima possui efeito sobre a biota do solo, uma vez o regime hídrico é parte fundamental na sua formação e caracterização (MOURA et al., 2015). A umidade do solo é primordial para a atividades microbianas e pode mudar a composição da microbiota local e ocasionar grande variação espacial em pequenas distâncias (FEIRER, 2017).

Conforme Bernard et al. (2013), o déficit hídrico acarreta em diminuição na quantidade total da microbiota do solo, sendo que fungos são menos sensíveis a perda

de umidade do solo. Embora, as bactérias apresentem maior sensibilidade a perda de umidade do solo, estas apresentam grande capacidade de voltar a atividade com a entrada de umidade no solo.

Sistemas produtivos eficientes possuem uma menor taxa de respiração, emitindo menos CO₂ para atmosfera e incorporando maiores teores de carbono no solo. Desta forma tornam o sistema mais eficiente e sustentável, uma vez que retêm o carbono (FERREIRA, 2017) o que além de mitigar o efeito estufa favorecem a melhoria das qualidade do solo.

Buscando vislumbrar os efeitos dos manejos sobre a qualidade biológica do solo faz-se necessário conhecer melhor os modelos produtivos. A região do Oeste paranaense possui características climáticas que possibilitam manter o solo em sistema de cultivo o ano inteiro, aumentando a receitas do produtores porém mantendo esse solo sob grande pressão devido a intensidade de uso.

Assim, objetivo do trabalho foi mensurar os efeitos que os principais sistemas produtivos de grãos adotados na região do Oeste paranaense exercem sobre microbiota do solo.

6.2 MATERIAL E MÉTODOS

6.2.1 Local do experimento

O local do experimento encontra-se descrito no **item 3.2.1** do capítulo 1.

6.2.2 Histórico da área

O histórico na área encontra-se descrito no **item 3.2.2** do capítulo 1.

6.2.3 Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos encontram-se descrito no **item 3.2.3** do capítulo 1.

6.2.4 Delineamento experimental

O delineamento experimental encontra-se descrito no **item 3.2.4** do capítulo 1.

6.2.5 Sistemas de manejo

Os sistemas de manejos encontram-se descritos no **item 3.2.5** do capítulo 1.

6.2.6 Enzimas

Para determinação da atividade enzimática do solo procedeu-se com a retirada de três subamostras, as quais foram usadas para compor uma amostra. As amostras foram coletadas na camada de 00- a 10 cm de profundidade, uma vez que é nessa camada que se tem a maior concentração de atividade microbológica do solo. As amostras coletadas foram peneiradas em malha de 2 mm e posteriormente colocadas em sacos plásticos e acondicionadas em refrigerador até a análise. As análises enzimáticas foram realizadas no laboratório de microbiologia do solo da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) no estado do Rio Grande do Sul (RS).

Para determinar a atividade da enzima arilsulfatase utilizou-se a metodologia descrita por Tabatabai e Bremner (1970), onde coloca-se 1g de solo em um Erlenmeyer de 50 ml, adiciona-se 0,25 ml de tolueno, 4 ml de tampão acetato e 1 ml de p-solução de sulfato de nitrofenil a 0,05 M. Agita-se o Erlenmeyer por alguns segundos para misturar o conteúdo de forma que fique homogêneo. Após esse

procedimento, o Erlenmeyer foi tampado e colocado em uma estufa, onde foi mantido a temperatura de 37°C por 1 hora. Após esse período removeu-se a tampa e foi adicionado 1 ml de cloreto de cálcio (CaCl) a 0,5 M e 4 ml de hidróxido de sódio (NaOH) a 0,5 M. Posteriormente foi agitado o Erlenmeyer por alguns segundos e procedeu-se com a filtração da solução em filtro de Whatman. Na sequência foi medida a intensidade do filtrado com um espectrofotômetro ajustado para o comprimento de onda de 420 nm. Para calcular a concentração de p-nitrofenol foi utilizado como base um gráfico padrão.

A elaboração deste gráfico foi feita a partir da de solução padrão de nitrofenol contendo 0, 10, 20, 30, 40 e 50 mg de p-nitrofenol L⁻¹. Posteriormente foi diluído 1 ml de solução padrão em 100 ml em um balão volumétrico, procedeu-se com agitação para homogeneização. Em seguida colocou-se 1, 2, 3, 4 e 5 ml a solução padrão em um Erlenmeyer de 50 ml e foi ajustado o volume para 5ml com água deionizada, procedeu-se com a adição de 1 ml de CaCl a (0,5 M) e 4 ml de NaOH a (0,5 M). A solução resultante foi agitada e filtrada, sendo posteriormente mensurada sua intensidade com o espectrofotômetro ajustado para o comprimento de ondas de 420 nm.

A metodologia adotada para a análise da β -glicosidase foi a descrita por Eivazi e Tabatabai (1988), de forma que se procedeu com a adição de 1 g de solo (< 2 mm) em um Erlenmeyer de 50 ml, adicionou-se 0,2 ml de tolueno, após misturar foi deixado para descansar por 15 minutos em uma capela. Na sequência misturou-se 4 ml de tampão universal modificado (MUB) e 1 ml da solução p-Nitrofenil- β -d-glicosídeo (PNG) (50 mM), misturou-se a solução e posteriormente o Erlenmeyer foi fechado e incubado por 1 hora a 37°C. posteriormente foi adicionado foi adicionado 1 ml de cloreto de cálcio (CaCl) a 0,5 M e 4 ml de Tampão tris(hidroximetil)aminometano (THAM) a 0,1 M em pH12. A solução foi agitada e posteriormente filtrada em papel Whatman dobrado. Na sequência procedeu-se com a medição da intensidade da cor em um espectrofotômetro regulado para 405 nm. Com o resultado, calcula-se a quantidade de p-nitrofenol liberado por referência a uma curva de calibração constituída através de solução padrão de p-nitrofenol nas concentrações de 0, 100, 200, 300, 400 e 500 nmol. O preparo desta curva de calibração foi diluído em 1 ml de solução padrão a 10 mm para 100 ml de água em um balão volumétrico e procedeu-se com a mistura. Em seguida foi colocado 0, 1, 2, 3, 4 e 5 ml desta solução em um

frasco de Erlenmeyer de 50 ml. Ajustou-se para 50 ml com a adição de água e procedeu-se com a mistura de 1 ml de CaCl a (0,5 M) e 4 ml de Tampão tris(hidroximetil)aminometano (THAM) a 0,1 M em pH12.

Quando o filtrado estava com coloração superior à da mais alta p-solução padrão de nitrofenol o mesmo foi diluído com a mistura de 1:1 de MUB a pH6,0 e 0,1 M de THAM a pH 12 até que a leituras fiquem dentro da curva de calibração.

Para determinação de fosfatase, foi utilizado o método descrito por Eivazi e Tabatabai, (1977), de forma que se procedeu com a colocação de 1 g de solo (< 2 mm) em um Erlenmeyer de 50 ml, adicionou-se 0,2 ml de tolueno, após a mistura foi colocado em uma capela para descansar por 15 minutos. Em seguida foi adicionado 4 ml de tampão universal modificado (MUB) a pH 6,5 e 1 ml da solução p-Nitrofenil-fosfato (0,025 M), misturou-se a solução. O Erlenmeyer foi fechado e incubado 37°C por 1 hora. Posteriormente foi adicionado 1 ml de cloreto de cálcio (CaCl) a 0,5 M e 4 ml de NaOH (0,5M), a solução foi agitada e posteriormente filtrada em papel Whatman dobrado. Na sequência procedeu-se com a medição da intensidade da cor em um espectrofotômetro regulado para 400 nm.

Após obtido o resultado, calculou-se a quantidade de p-nitrofenol liberado por referência a uma curva de calibração elaborada por meio de solução padrão de p-nitrofenol nas concentrações de 0, 100, 200, 300, 400 e 500 nmol. Para preparo da curva foi diluído 1 ml de solução padrão (10 mM) para 100 ml de água em um balão volumétrico e procedeu-se a mistura. Posteriormente foi adicionado 0, 1, 2, 3, 4 e 5 ml desta solução em um frasco de Erlenmeyer de 50 ml.

6.2.7 Biomassa Microbiana

A determinação do carbono de biomassa microbiana foi realizada no Laboratório de Microbiologia do Solo da Universidade Federal e Santa Maria (UFSM), no estado do Rio Grande do Sul através da metodologia de Fumigação-extração descrita por De-polli e Guerra (1997), onde as amostras foram divididas em triplicatas mais uma amostra para determinação de umidade, estas contendo 20g de solo, as quais foram submetidas a fumigação e em seguida a extração e amostras que sofreram extração imediata, pois não passaram pelo processo de fumigação.

Para determinação de umidade, a amostra foi levada a estufa a uma temperatura de 105°C por 24 horas. O solo seco desta amostra foi utilizado com base

para a correção da biomassa microbiana. Já as amostras que não passaram pelo processo de fumigação foram mantidas no escuro durante o período de processamento das amostras que passaram por fumigação.

As amostras para fumigação foram colocadas em um Erlenmeyer e acomodadas em uma câmara de vácuo forrada com papel alumínio e, juntamente foi colocado um frasco com água e 10 ml de clorofórmio (CHCl_3) livre de etanol. As amostras permaneceram em fumigação por 24 horas a uma temperatura de 28°C . Na sequência o CHCl_3 foi removido por aspirações.

Na sequência acrescentou-se 50 ml de sulfeto de potássio (K_2SO_4) com pH entre 6,5 e 6,8 e procedeu-se a extração em agitador horizontal a 220 rpm durante 30 minutos. Em seguida as amostras ficaram descansando por 30 minutos para que ocorresse a decantação e foram filtradas em papel filtro.

A determinação do C das amostras fumigadas e não fumigadas foi feita por dicromatometria, onde utilizou-se 8 ml da solução filtrada na qual foi adicionado 2 ml de dicromato de potássio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) a $0,066 \text{ mol.L}^{-1}$, 10 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado e 5 ml de ácido fosfórico (H_3PO_4) concentrado. Posteriormente a mistura foi aquecida por 5 minutos e deixada resfriar. Após o resfriamento adicionou-se 80 ml de água destilada, 3 gotas de difenilamina (10g.L^{-1} em ácido sulfúrico concentrado). Com a adição deste indicador a coloração se alterou do amarelo para violeta. Para titulação do dicromato em excesso é utilizado sulfato ferroso amoniacal ($(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) a $0,033 \text{ mol.L}^{-1}$. Ao final da titulação a coloração da solução foi de violeta para verde. Os frascos sem solo (branco) passaram pelos mesmos processos.

Para preparação dos reagentes o dicromato de potássio foi seco por 1 hora em estufa a temperatura de 105°C , sendo seu equivalente gramas 6^{-1} (peso molecular), o sulfato ferroso amoniacal tem seu equivalente gramas de 1^{-1} (peso molecular), e para a preparação do sulfato ferroso amoniacal foram utilizadas 13g do mesmo dissolvendo-o em 400 ml de água destilada contendo 10 ml de ácido sulfúrico concentrado e completou-se o volume com água destilada até o volume de 1 L, tendo assim a solução a 0,033 M.

Para ter-se a molaridade exata da solução de sulfato ferroso amoniacal utilizou-se 5 ml de ácido fosfórico concentrado, 10 ml de ácido sulfúrico concentrado, 3 gotas de difenilamina como indicador e foi titulado com dicromato de potássio 0,395N.

Para se determinar o carbono de biomassa microbiana do solo procedeu-se com o cálculo do carbono extraído do solo de acordo com a equação 5.

$$C(mg.kg^{-1}) = (V_b * V_a) * N * 0,003 * 50 * (8 * P_s)^{-1} * 10^{-6}$$

C: Carbono extraído do solo;

V_b: volume de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação do controle (ml);

V_a: Volume gasto na titulação das amostras (ml);

N: Normalidade exata do sulfato ferroso amoniacal;

P_s: massa seca do solo.

Posteriormente fez-se a correção através da equação 6:

$$BMS - C (mg C microbiano.kg^{-1} solo) = FC * K_c^{-1}$$

Onde:

BMS-C: carbono da biomassa microbiana do solo (mg C.kg⁻¹ de solo);

FC: fluxo obtido da diferença entre a quantidade de C (mg.kg⁻¹) da equação 1 recuperada no extrato da amostra fumigada e não fumigada;

K_c: Fator de correção (0,33)

6.2.8 Respiração basal

Para a determinação da respiração basal do solo procedeu-se com a metodologia descrita por Silva et al., (2007), onde as amostras de solo coletadas foram processadas em peneira de 2 mm e todo material vegetal ou animal foi retirado. Estas amostras foram divididas em 3 amostras de 50 gramas, uma para determinação da umidade do solo e as demais para a respiração basal do solo. As determinações da respiração basal foram realizadas no Laboratório de Microbiologia do Solo da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) no estado do Rio Grande do Sul (RS).

A determinação da umidade relativa frente à capacidade de campo do solo foi mensurada através de um processo de umidificação da amostra. Para tal, pegou-se uma proveta de 100 ml e foi colocado 80 ml de solo (< 2mm), foi adicionado água até que a frente de umedecimento atingiu 40 a 50% do volume da amostra. A proveta foi coberta com papel alumínio e deixada em repouso por 12 horas ou até que a frente de umedecimento parasse. Uma amostra desse solo umedecido foi retirada, pesada e levada para a estufa a 105°C até peso constante. A determinação da umidade do solo na capacidade de campo bem como para a amostra coletada no campo deu-se pela equação 7:

$$U(\text{g de } \acute{\text{a}}\text{gua por } \text{g}^{-1} \text{ solo}) = \frac{(P_u - P_s)}{P_s}$$

Onde:

U: umidade do solo;

P_u: Peso do solo úmido;

P_s: peso do solo seco.

Para determinação da umidade percentual relativa foi determinada pela equação 8:

$$U(\%) \frac{U_a}{U_c} * 100$$

U_r: Umidade relativa do solo fresco frente a capacidade de campo;

U_a: Umidade do solo amostrado (g de água por g⁻¹ de solo);

U_c: umidade do solo na capacidade de campo (g de água por g⁻¹ de solo).

Para determinação da respiração basal as amostras (50g de solo) foram colocadas em frascos de 100 ml. Para cada amostra colocou-se 10 ml de hidróxido de sódio (NaOH) a 1 M em um frasco de 100 ml. Colocou-se estes frascos em um frasco de 2 L, o qual foi hermeticamente fechado para que não ocorresse a entrada de CO₂ externo ou até mesmo fuga do CO₂ produzido internamente. Foram feitos alguns frascos de 2 L com o frasco de NaOH utilizados como padrão. Estas amostras foram acomodadas em local escuro com temperatura entre 25 e 28°C durante 7 dias, sendo que data e o horário exato que as amostras foram colocadas em incubação foram anotadas.

Após transcorrido o período de incubação foram retirados dos frascos de 2 L os frascos de NaOH e adicionado 2 ml de cloreto de bário (BaCl₂) a 10% (m/v) para que ocorresse a precipitação do CO₂ e imediatamente fechado. Em seguida foram destampas as amostras (apenas no momento de processamento) e adicionadas 2 gotas de fenolftaleína 1% (m/v), colocando-as em agitação magnética e procedendo com a titulação com solução de ácido clorídrico (HCl) 0,5 M.

Para a determinação exata da molaridade do HCl colocou-se 50 ml de tris(hidroximetil)aminometano (THAM) e 10 ml de ácido bórico (H₃BO₃) em um Erlenmeyer, o mesmo foi levado a agitação magnética e titulado o HCl até que a

solução alterou a coloração de verde para rosa. O cálculo da molaridade se deu pela equação 9:

$$M_{ac} = \frac{M_{tham} * V_{tham}}{V_{ac}}$$

Onde:

M_{ac} : molaridade do HCL;

M_{tham} : Molaridade da solução Tham;

V_{tham} : volume de Tham utilizado na titulação;

V_{ac} : Volume de HCl.

O cálculo para determinação da respiração basal está expresso na equação

10:

$$RBS \text{ (mg de } C-CO_2 \text{ kg}^{-1} \text{ solo hora}^{-1}) = \frac{\left(\frac{(V_b - V_a) * M * 6 * 1000}{P_s} \right)}{T}$$

Onde:

RBS: Carbono oriundo da respiração do solo;

V_b : volume de HCl gasto na titulação da solução controle;

V_a : Volume de HCl na titulação das amostras;

M: Molaridade exata do HCl;

P_s (g): Massa de solo seco;

T: Tempo de incubação em horas.

6.2.9 Análise estatística

Os resultados foram avaliados por meio da análise de variância e comparação de médias por meio de Tukey, ao nível de 5% de significância, através do software estatístico SISVAR[®] (FERREIRA, 2011).

6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Embora não tenha apresentado diferença significativa entre os sistemas produtivos de grão no que tange a quantidade de carbono de biomassa microbiana (tabela 4), os sistemas produtivos S2 e S3 os quais apresentaram valores mais elevados, sendo 175,40 mg C.kg⁻¹, 154,42 mg C.kg⁻¹ respectivamente e forma estes sistemas que apresentavam uma maior diversidade de cultural, havendo uma terceira e quarta espécie vegetal no ciclo anual (*Triticum aestivum* e *Avena Strigosa* Schreb no S2 e *Brachiaria ruziziensis* no S3). Já os sistemas produtivos S5 com 122,14 mg C.kg⁻¹, S1 com 123,58 mg C.kg⁻¹ e S4 com 118,57 mg C.kg⁻¹ apresentaram os menores valores. A grande variabilidade espacial da biomassa microbiana ocorrida dentro dos sistemas produtivos acarretou na não diferenciação estatística embora foi observada amplitude do valores.

Este fato pode ser reflexo do clima, já que nos últimos anos, durante o experimento, a região do Oeste paranaense enfrentou um grande déficit hídrico.

Essa grande variação espacial da microbiota do solo em virtude dos efeitos do déficit hídrico, a qual impacta nos índices de respiração basal e carbono de biomassa microbiana já foram constatados por (MOURA et al., 2015; FEIRER, 2017; LATZ, 2021).

Tabela 4 - Valores referentes a respiração basal e carbono de biomassa microbiana de cada sistema produtivo de grãos.

Manejo	Carbono de biomassa microbiana CBM (mg C kg ⁻¹)	C-CO ₂ Mineralizado mg C kg ⁻¹ SS
S1	123,58 ^{ns}	48,40 ^{ns}
S2	175,40	54,33
S3	154,42	52,98
S4	118,57	40,98
S5	122,14	46,63
MÉDIA	138,82	48,66
CV	24,38	26,70

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05%). ns - não significativo. S1 – implantação da cultura da soja verão/milho segunda safra, S2 – implantação da cultura da soja no verão e rotação da cultura de outono/inverno entre milho e aveia preta, S3 – implantação da cultura da soja verão/milho segunda safra + *Brachiaria ruziziensis*, S4 – implantação da cultura da soja no verão e trigo no período de inverno, S5 – soja no verão e aveia preta no período de inverno.

A respiração basal dos diversos sistemas implantados embora tenha variado de 40,98 e 54,33 mg C kg⁻¹ de solo não diferiram estatisticamente entre si. Esta não

diferenciação pode estar ligada a grande variabilidade espacial que ocorreu no experimento (tabela 4). Desta mesma forma, em estudos de Ferreira (2017), não houve diferenciação estatística na respiração basal devido a variabilidade espacial o que acarretou em um coeficiente de variação bastante elevado. Segundo Dadalto et al. (2015), o coeficiente de variação de seu estudo foi a 39,46%, da mesma forma não ocorrendo diferença significativa.

Contudo, analisando os manejos os sistemas empregados de forma isolada, tem-se a percepção de que os sistemas que apresentam maior diversidade de culturas (S2 e S3) tiveram seus valores de respiração basal mais elevados. Isso demonstra uma maior atividade microbiológica nesses sistemas e sinaliza um sistema produtivo mais resiliente, capaz de rápida retomada de suas atividades microbiológicas e maior celeridade para a retomada da qualidade do solo.

Embora estudos como o de Ferreira et al. (2017) indiquem que um maior índice de emissão de CO₂ possa representar que um sistema esteja em desequilíbrio e constitua uma menor eficiência, este estudo apresenta algumas características que denotam para um melhor funcionamento destes sistemas, uma vez que durante o transcorrer do estudo as chuvas foram dispersas e irregulares e retornando a sua normalidade a pouco tempo. A atividade microbiológica sofre alterações devido a sua resiliência e capacidade de rápido retorno a atividade com a ocorrência de chuvas após longo período sem/ou com pouca precipitações.

Corroborando com as observações deste estudo, Bernard et al. (2013), observaram que após períodos prolongados de déficit hídrico ocorrendo o retorno das chuvas a atividade microbiana se eleva de forma abrupta de forma a reestabelecer as atividades microbiológicas a índices dentro da normalidade. Nesse mesmo sentido Kavamura (2013), observou em sua pesquisa que as bactérias presentes na rizosfera diminuíram em períodos em que ocorreram baixa umidade do solo, porém possuem grande capacidade de multiplicação com o retorno das chuvas.

Conforme Oliveira et al. (2022), observou que em lavouras consorciadas ou com rotação de cultura a diversidade e quantidade de microrganismos de solo são superiores quando comparados a lavouras de monocultura.

Quando analisamos os sistemas produtivos de forma a comparar os resultados obtidos de carbono de biomassa microbiana e respiração basal percebe-se que o comportamento de todos os sistemas são similares. Embora haja ausência de

significância, os tratamentos S2 e S3 apresentaram os valores mais elevados, sendo que nestes tratamentos inclui-se uma terceira ou quarta cultura anual. O que pode demonstrar que uma maior diversificação de cultura na área pode proporcionar um solo com maior resiliência e possivelmente índices mais elevados de microbiota do solo. Nogueira (2014), observou que ao aumentar o número de espécies vegetais no inverno apresentou estímulo a atributos microbiológicos do solo.

Conforme apresentado na tabela 5 os valores da enzima β -glicosidade possuem grande amplitude tendo em seu extremo inferior o sistema de manejo S5 o qual apresentou $154,55 \mu\text{g pnf g}^{-1} \text{SS h}^{-1}$, e em seu extremo superior o sistema de manejo S3 que apresentou $244,54 \mu\text{g pnf g}^{-1} \text{SS h}^{-1}$. Os sistemas produtivos S3, S2 e S1 respectivamente, apresentaram os maiores valores, tratamentos os quais continuam uma terceira ou quarta cultura anual implantada. Contudo, não houve diferenciação significativa entre os tratamentos. Fato este que pode estar ligado ao elevado coeficiente de variação devido à grande variabilidade espacial ocorrida nos tratamentos.

Sistemas produtivos que possuem uma atividade enzimática da β -glicosidade mais elevado tendem a proporcionar uma melhor condição de desenvolvimento da biota do solo ou até mesmos acelerar um processo de recomposição dos índices de microbiota de solo pós um período de estresse hídrico.

Isso se deve a liberação da glicose no sistema ocasionada pela β -glicosidade através da decomposição de matéria orgânica do solo. Contudo, embora esse processo possa ser benéfico por gerar melhor condição ao desenvolvimento da microbiota do solo, se o sistema não aportar resíduos vegetais minimamente suficiente para zerar essa conta os teores de MO do solo vão diminuir. Portanto, o equilíbrio entre a saída e entrada de matéria orgânica e/ou preferencialmente uma aporte superior ao degradado no sistema é fundamental para um sistema duradouro e sustentável.

Para Balota et al. (2013); Mendes et al. (2020), teores mais elevados de β -glicosidade são de suma importância para a qualidade do solo pois proporcionam maior liberação de glicose no ambiente e por consequência possibilitam uma maior atividade microbiológica no solo, uma vez que, a glicose é a base alimentar de inúmeros microrganismos de solo.

Tabela 5 - Atividade enzimática da β -glicosidade, Arilsulfatase e Fosfatase.

Manejo	Enzimas		
	β -glicosidade	Arilsulfatase	Fosfatase
	----- $\mu\text{g pnf g}^{-1} \text{SS h}^{-1}$ -----		
S1	194,48 ^{ns}	145,20 ^{ns}	325,73 ^{ns}
S2	211,30	136,36	384,60
S3	244,54	158,77	381,02
S4	163,41	101,16	325,36
S5	154,55	96,68	313,94
MÉDIA	193,66	127,63	346,13
CV	21,68	25,73	18,86

Médias seguidas da mesma leta não diferem entra si pelo teste de Tukey ($P < 0,05\%$). ns - não significativo. S1 – implantação da cultura da soja verão/milho segunda safra, S2 – implantação da cultura da soja no verão e rotação da cultura de outono/inverno entre milho e aveia preta, S3 – implantação da cultura da soja verão/milho segunda safra + *Brachiaria ruziziensis*, S4 – implantação da cultura da soja no verão e trigo no período de inverno, S5 – soja no verão e aveia preta no período de inverno.

Quando se observou as médias de atividade da enzima arilsulfatase (tabela 5), tem-se grande amplitude, onde no sistema produtivo de grão S5 tem-se o menor valor e no sistema produtivo S3 o maior valor, sendo respectivamente $96,68^{-1} \mu\text{g pnf g}^{-1} \text{SS h}^{-1}$ e $158,77 \mu\text{g pnf g}^{-1} \text{SS h}^{-1}$. Toda via os sistemas produtivos não apresentaram diferença significativa entre os sistema a probabilidade de 5%.

Os valores de fosfatase expressos na tabela 5 apresentaram grande variação, tendo no sistema produtivo S5 o menor valor e no sistema produtivo S2 o valor mais elevado, os quais foram respectivamente $313,94 \mu\text{g pnf g}^{-1} \text{SS h}^{-1}$ a $384,60 \mu\text{g pnf g}^{-1} \text{SS h}^{-1}$. Todavia, assim como nas demais enzimas analisadas não houve diferença significativa para a enzima fosfatase ácida.

De forma geral, os sistemas produtivos apresentaram comportamento similares em todos os fatores analisados. Salienta-se que ocorreu elevado coeficiente de variação devido a variabilidade ocorrida nas parcelas dos respectivos tratamentos, mas observa-se os valores mais elevados nos sistemas produtivos que contemplam um maior número de cultura anuais empregadas. A exceção é a enzima fosfatase onde o sistema produtivo S5 apresentou valor muito próximo ao valor apresentado no sistema produtivo S1.

Em decorrência do ocorrido, há a possibilidade que uma maior diversificação de culturas anuais empregada nos sistemas produtivos possam auxiliar na

manutenção da qualidade do solo ou até mesmo facilitar e/ou acelerar o processo melhoria da qualidade do solo.

6.4 CONCLUSÕES

Os sistemas de produção não influenciaram as quantidades de carbono da biomassa microbiana e nem os valores de respiração basal do solo.

A atividade enzimática não foi afetada pelos sistemas produtivos adotados.

A biota do solo é sensível as variações climáticas e fortemente impactada por regimes hídricos deficitários.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALOTA, E. L.; et al. **Enzimas e seu papel na qualidade do solo**. Tópicos em Ciência do Solo, v. 8, p. 189-249, 2013. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/288482294_Enzimas_e_seu_papel_na_qualidade_do_solo>. Acesso em: 25 nov. 2022.

BERNARD, R.L.; et al. Responses of soil bacterial and fungal communities to extreme desiccation and rewetting. **ISME Journal**, v. 7, p. 2229 - 2241, 2013. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/ismej2013104>>. Acesso em: 31 de jan. 2023.

CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. **Microbiologia de solo**. 2ª ed. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), p. 221. 2016.

DADALTO, J. P.; et al. Sistema de preparo do solo e sua influência na atividade microbiana. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 3, p. 506 - 513, 2015. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/eagri/a/xpzipdwWh9H5zQGr6tCt9vLw/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 22 mar. 2023.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J. G. M. **Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo: Método da fumigação-extração**. Seropédica: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), p. 10, 1997. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAB-2010/27227/1/doc037.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2020.

EIVAZI, F.; TABATABAI, M. A. **Phosphatases in soils**. Soil Biology and Biochemistry, v.9, p. 167-172. 1977.

EIVAZI, F.; TABATABAI, M. A. **Glucosidases and Galactosidases in Soils**. Soil Biology and Biochemistry, p. 601-606, 1988.

FEIRER, N.; Embracing the unknown: disentangling the complexities of the soil microbiome. **Nature Reviews**, V. 15, P. 579 – 590, 2017. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5192882/mod_resource/content/1/Fierer%202017.pdf>. Acesso em: 08 fev. 2023.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e agrotecnologia**. UFLA, v. 35, n. 6, p. 1039 – 1042, 2011.

FERREIRA, E. P. B.; et al. População e atividade microbiana do solo em sistema agroecológico de produção. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 1, p. 22-31, 2017. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rca/a/Rg5L5zBmmxzRr5Jn4YtjHXq/>>. Acesso em: 25 nov. 2022.

KAVAMURA V. N.; et al. Water Regime Influences Bulk Soil and Rhizosphere of *Cereus jamaclaru* Bacterial Communities in the Brazilian Caatinga Biome. **Plos One**, v. 8, p. 1 - 10, 2013. Disponível em: <<https://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0073606&type=printable>>. Acesso em: 31 de jan. 2023.

LATZ, M. A. C.; et al. Succession of the fungal endophytic microbiome of wheat is dependent on tissue-specific interactions between host genotype and environment. **Science of The Total Environment**, p. 10, 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720373356?via%3Dihub#bb0275>>. Acesso em: 12 fev. 2023.

MENDES, I. C.; et al. **Bioanálise de solo**: A mais nova aliada para a sustentabilidade agrícola. Piracicaba, NPCT – Nutrição de Plantas Ciência e Tecnologia, n. 8, p. 11, 2020. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/219731/1/IEDA-Bioanalise-do-solo-informacoes-agronomicas.pdf>>. Acesso em: 23 mar. 2023.

MOURA, J. A. et al. Respiração basal e relação de estratificação em solo cultivados com citros e tratado com resíduos orgânico no estado de Sergipe. Londrina, **Ciências Agrárias**, v. 36, n. 2, p. 731 – 746, 2015. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/140200/1/RespiraC3A7C3A3o20basal..202015.pdf>>. Acesso em: 22 mar. 2023.

NOGUEIRA M. A.; et al. Indicators of soil quality in the implantation of no-till system with winter crops. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 5, p. 998 – 990, 2014. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rca/a/KT55RQvVvmgfrBJByPRyxNC/?lang=en#>>. Acesso em: 23 jan. 2024.

OLIVEIRA, K. C. L.; et al. Alteração da biodiversidade microbiana do solo devido ao cultivo agrícola: uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 15, p. 1 – 11, 2022. Disponível em: <<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/37168/31129>>. Acesso em: 22 jul. de 2023.

SILVA, E. E.; et al. **Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO₂)**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, p. 4 2007. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAB-2010/34390/1/cot099.pdf>>. Acesso em: 18 dez. 2022.

SILVA, M. O.; et al. Qualidade do solo: indicadores biológicos para um manejo sustentável. **Brazilian Journal of Development**, v.7, n.1, p. 6853-6875, 2021. Disponível em: <<https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/23374/18778>>. Acesso em: 22 dez. de 2022.

TABATABAI, M. A.; BREMNER, J. M. **Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity**. Soil Biology and Biochemistry, v. 1, p. 301 - 307, 1969.

TORMENA, C.A.; et al. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 573 - 581, 1998. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/hV4CsLtsg55hzQD5wRHsf5j/abstract/?lang=pt>>. Acesso em: 08 set. de 2023.