



**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PPGA DOUTORADO EM AGRONOMIA**

EDUARDO HENRIQUE LIMA MAZZUCHELLI

**ATIVIDADE MICROBIANA E PRODUTIVIDADE DA SOJA EM SISTEMAS
INTEGRADOS DE CULTIVO E MANEJO HÍDRICO NO SOLO**

Presidente Prudente - SP
2022



**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PPGA DOUTORADO EM AGRONOMIA**

EDUARDO HENRIQUE LIMA MAZZUCHELLI

**ATIVIDADE MICROBIANA E PRODUTIVIDADE DA SOJA EM SISTEMAS
INTEGRADOS DE CULTIVO E MANEJO HÍDRICO NO SOLO**

Tese de Doutorado apresentada Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade do Oeste Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Agronomia – Área de concentração: Produção Vegetal.

Orientador: Fabio Fernando de Araújo

Presidente Prudente - SP
2022

EDUARDO HENRIQUE LIMA MAZZUCHELLI

**ATIVIDADE MICROBIANA E PRODUTIVIDADE DA SOJA EM SISTEMAS
INTEGRADOS DE CULTIVO E MANEJO HÍDRICO NO SOLO**

Tese apresentada a Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade do Oeste Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Agronomia-Área de Concentração: Produção Vegetal.

Presidente Prudente, 01 de abril de 2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fabio Fernando de Araujo
Universidade do Oeste Paulista – Unoeste
Presidente Prudente-SP

Prof. Dr. Alexandrius de Moraes Barbosa
Universidade do Oeste Paulista – Unoeste
Presidente Prudente-SP

Prof. Dr. Edeimar Moro
Universidade do Oeste Paulista – Unoeste
Presidente Prudente-SP

Prof. Dr. Gelci Carlos Lupatini
Universidade Estadual Paulista - UNESP
Dracena-SP

Prof. Dr. Thadeu Henrique Novais Spósito
Escola Técnica Estadual – Profº Dr. Antônio Eufrásio de Toledo
Presidente Prudente-SP

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, criador de toda a vida, que me permitiu chegar aqui e possibilitou que, ao estudar, tentasse contemplar o Deus invisível através de sua criação, visível. Mesmo que para isto, precise de um microscópio.

Dedico aos meus pais, que sempre foram minha base e força, que em todos esses anos de estudo me deram condições para que fosse além, me preparando para o futuro, para alcançar meus sonhos e objetivos. Que nunca mediram esforços, para nos proporcionar o melhor possível. Espero um dia retribuir o que fizeram por mim.

À minha irmã, que é companheira de profissão, que divide comigo opiniões, gostos, momentos, que me mostra o caminho e tem sempre uma palavra de incentivo.

Dedico a todos os meus familiares, que me acolhe e abraça em todas as ocasiões. Aos Lima e Mazzuchelli! Aos que estão aqui e aos que já foram morar com Deus.

Dedico este trabalho a todos os agricultores, que sustentam este país, trabalhando de Sol a Sol, para alimentar o Planeta. Em sua simplicidade e trabalho dia-a-dia, são os grandes mestres, com quem aprendo cada vez mais.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo Dom da Vida!

Agradeço aos meus pais, Luiz Heraldo Mazzuchelli e Maria Lica de Lima Mazzuchelli, a minha irmã Rita de Cássia Lima Mazzuchelli e cunhado, Eduardo Fabiano Romero, por sempre serem meu porto seguro, onde encontro acolhimento, força e segurança para seguir em frente.

Aos meus avós maternos, Luiz Gonzaga de Lima (*in memorian*) e Sebastiana Maria de Lima. Quanta sabedoria! Quanto aprendo com você vózinha. Sua alegria e jovialidade são contagiantes. Quero ter essa vitalidade e lucidez ao chegar na sua idade. Peço que sempre reze por mim!

Aos meus avós paternos Angelo Mazzuchelli (*in memorian*) e Ester das Neves Mazzuchelli (*in memorian*). Vô, andar pela horta municipal que o senhor cuidava, quando eu ainda era uma criança, criou em mim o fascínio pelas plantas. Vó, quanto trabalho te dei em seu jardim, lá foi meu primeiro laboratório de estudos com as plantas e a terra. Rezem por mim sempre!

A todos os meus tios, tias e primos que estão sempre ao meu lado me apoiando, festejando e incentivando onde estiver!

Aos meus amigos, que graças a Deus fazem parte da minha caminhada, que dividem momentos bons, alegres, de partilha e aprendizado mutuo. Que me apoiam e me levam para mais próximo de Deus. Com certeza a vida seria mais sem graça se não os tivesse por perto. Que me escutaram falar inúmeras vezes do meu projeto de doutorado e agora estou finalizando este importante passo na minha vida e carreira, agradeço a todos, pois se cheguei até aqui todos vocês e cada um em especial, têm sua parcela de contribuição nesta vitória!

Espero disfrutar mais momentos bons com vocês todos!

Agradeço a todo o corpo docente da Unoeste que contribuiu fortemente na minha formação acadêmica, em especial ao professor Dr. Fábio Fernando de Araújo, com quem aprendi muito nesses últimos quatro anos e tive contato direto. Suas contribuições dentro e fora da sala de aula foram muito válidas para minha vida profissional, acadêmica e pessoal.

Agradeço de forma especial aos professores que lecionaram para mim durante o doutorado: A professora Dra. Patrícia Reiners de Carvalho que sempre com muita competência e dedicação fez do aprendizado uma arte! Sua alegria é contagiante!

A professora Dra. Vânia Maria Ramos, que aprofundei os conhecimentos do manejo de pragas e aplico no meu cotidiano profissional. Ao professor Dr. José Eduardo Creste, que motivava a buscar novas maneiras de pensar e soluções para o que enfrentaria na vivência profissional.

A professora Dra. Ceci Castilho Custódio que me ensinou muito sobre tecnologia de sementes e tem um conhecimento absurdo sobre o tema. Ao professor Dr. Nelson Barbosa Machado, que ainda na graduação, me ensinou a ter mais atenção nas provas e hoje, concursado eu agradeço pelo aprendizado que recebi.

Ao grande mestre Pedro Veridiano Baldotto, que têm um jeito único de ensinar e partilhar a vida com alegria e simplicidade é referência profissional e de vida.

Agradeço aos funcionários da Fazenda Experimental da Unoeste em Presidente Bernardes, ao Lucas Rodrigues por ter sido fundamental na condução da pesquisa a campo, nos momentos que não pude estar presente, a Fani Nuñez que ajudou com maestria nos trabalhos de campo, ao apoio da Rosa Maria, pela sua simpatia em servir as refeições e descontrair entre um intervalo de análise e uma coleta e ao Edson Aparecido que foi fundamental na operacionalização do experimento a campo.

Agradeço a todos os alunos, estagiários, residentes da agronomia e biologia, que de uma forma ou de outra contribuíram para o bom andamento e sucesso deste trabalho.

Agradeço a todos os funcionários da Unoeste que desde a portaria, limpeza, setores como a horta e secretarias foram profissionais em seu atendimento e prontamente auxiliavam ou direcionavam no que era preciso, além da simpatia em atender aos alunos. Agradeço ao profissionalismo da secretária da pós graduação em agronomia Keid Ribeiro Krüger

Agradeço de forma especial aos técnicos e auxiliares de laboratório do bloco Q da Unoeste, que foram fundamentais nas análises realizadas, seja na destreza com os equipamentos, seja para sugerir melhoras da execução das análises ou ainda para ajudar na realização das análises laboratoriais. Em especial agradeço ao Diego, Márcia Guaberto, Luciana Muchiutti Pinheiro Assumpção, Viviane Ferreira, Daniela Gimenez Muraro Damasceno e Joicelete Aparecida Lima Martines (Jô).

Agradeço a todos os companheiros de IDR-Paraná que estão junto comigo no trabalho, compartilhando experiências de vida e profissional, em especial Arminda Maria Casetta que me acolheu junto a sua família toda, que compartilha de momentos alegres de descontração, que além da amizade há respeito e companheirismo profissional. Obrigado por muitas vezes motivar meu dia, e me escutar quando estou longe da minha família, orar por mim e me aconselhar. Você é um diamante lapidado por Deus!

Ao engenheiro agrônomo Dr. Claudinei Antônio Minchio (*in memoriam*) que foi fundamental na minha acolhida, aprimoramento profissional, pessoal com sua visão de mundo, que compartilhou de experiências e conhecimentos. Seus ensinamentos ficaram eternizados para mim. Você foi um grande professor! Sua contribuição para a agricultura paranaense e brasileira são grandiosas! Aos colegas mais próximos de IDR-Paraná, Laura Helena Goulart da Silva, Carolina Veras Lobo, Clayton Silva, Fernanda Schubert Marques dos Reis Ricobello, Luzineti Baltazar, José Alberto de Mendonça, Ana Rosa Versari, Silvio César dos Santos Ferrari, Jorge Luiz Rodriguez Valêncio, Maria Regina Schiavon, Emanuel Sordi, Diego Couto Molina, Ivan Domingos de Freitas, Antônio Coelho, Matheus Vilarindo, Luiz Henrique da Silva Lima, Icleya Martins Gabriel, Marcio Antônio Baliscei, Pedro Cecere Filho, Edson Luiz Diogo de Almeida, e Celso Daniel Seratto meu muito obrigado a todos vocês que de uma

forma ou de outra me fazem um servidor público melhor, um engenheiro agrônomo com mais garra em ajudar a comunidade e fazer o Estado do Paraná alavancar com o potencial que sua agricultura possui.

A todos os amigos que fiz neste tempo morando no Paraná, e em especial a todos os moradores de São Jorge do Ivaí que me acolhem de braços abertos para na simplicidade da vida tomar um café, conversar sobre agricultura. Com eles tenho aprendido cada dia mais a desacelerar a rotina, e curtir os pequenos momentos que a vida em uma cidade menor pode proporcionar.

“Fazei tudo o que Ele vos disser” Jo, 2,5
(Maria, Mãe de Jesus)

RESUMO

Atividade microbiana e produtividade da soja em sistemas integrados de cultivo e manejo hídrico no solo

A produção de soja em solos arenosos em áreas com histórico de anormalidades no regime hídrico, decorrentes dos fatores climáticos, tem sido um grande desafio para a pesquisa agrônômica. O objetivo do presente trabalho foi avaliar atributos biológicos e de fertilidade do solo bem como o rendimento da soja em sistemas integrados de cultivos de plantas em solos arenosos com e sem reposição hídrica. O experimento foi conduzido em solo classificado como Argissolo Vermelho Amarelo distrófico de textura arenosa. A precipitação pluvial média anual da região é de 1.500 mm. O experimento foi conduzido durante duas safras de soja em maio de 2018 a março de 2020. O delineamento experimental foi em faixas-subdivididas inteiramente casualizadas, com quatro repetições. Cada faixa, com área de 6 m x 30 m, foram estabelecidas pelo sistema de cultivo de soja no verão e espécies de plantas de cobertura, constituindo os seguintes tratamentos: T1: Soja, milho safrinha; T2: Soja e *Urochloa brizantha*; T3: Soja, milho consorciado com *Urochloa brizantha*; T4: Soja, *Urochloa brizantha* com adubos verde - feijão guandu e crotalária. Cada faixa foi subdividida em subparcela de 30 m² e realizada a reposição hídrica. Foram avaliados a fertilidade do solo na profundidade 0-10 cm e 10-20 cm, e atividade microbiana na camada de 0-10 cm. Foram analisados também a nodulação, teores de nutrientes foliares e produtividade da soja. O sistema de produção com o cultivo de braquiárias e leguminosas consorciadas, nos meses de outono inverno, promoveu aumento da nodulação, produtividade da soja e atividade microbiana no solo. O uso da reposição hídrica influenciou positivamente atributos microbianos do solo, especificamente biomassa microbiana, coeficiente metabólico e microbiano e atividade da desidrogenase. Houveram correlações positivas entre os atributos microbianos do solo, a nodulação e produtividade da soja. Os atributos de fertilidade do solo e os teores de nutrientes foliares na soja não foram influenciados em função dos tratamentos e manejo hídrico conduzidos.

Palavras-chave: Microbiota; Rizodeposição; Plantas de cobertura; *Glycine max* (L) Merrill; Adubação verde; Umidade do solo

ABSTRACT

Microbial activity and soybean yield in integrated cropping systems and soil water management

Soybean production in sandy soils in areas with a history of water regime abnormalities, resulting from climatic factors, has been a major challenge for agronomic research. The objective of the present work was to evaluate biological and soil fertility attributes as well as soybean yield in integrated cropping systems of plants in sandy soils with and without water replacement. The experiment was carried out in soil classified as dystrophic Red Yellow Argisol with sandy texture. The average annual rainfall in the region is 1,500 mm. The experiment was carried out during two soybean harvests from May 2018 to March 2020. The experimental design was in a completely randomized split-range, with four replications. Each strip, with an area of 6 m x 30 m, was established by the soybean cropping system in the summer and cover plant species, constituting the following treatments: T1: Soybean, corn; T2: Soybean and *Urochloa brizantha*; T3: Soybean, corn intercropped with *Urochloa brizantha*; T4: Soybean, *Urochloa brizantha* with green manures - pigeon pea and sunn hemp. Each strip was subdivided into a 30 m² subplot and water was replaced. Soil chemical fertility in the 0-10 cm and 10-20 cm depths, and microbial activity in the 0-10 cm layer were evaluated. Nodulation, foliar nutrient contents and soybean yield were also analyzed. The production system with the cultivation of *Urochloa* and legumes intercropped, in the autumn and winter months, promoted an increase in nodulation, soybean productivity and microbial activity in the soil. The use of water replacement positively influenced soil microbiological attributes, specifically microbial biomass, metabolic and microbial coefficient and dehydrogenase activity. There were positive correlations between soil microbiological attributes, nodulation and soybean yield. Soil chemical fertility attributes and foliar nutrient contents in soybean were not influenced by treatments and water management.

Keywords: Microbiota; Rhizodeposition; Cover plants; *Glycine max* (L) Merrill; Green adubation; Soil moisture

LISTA DE SIGLAS

BMS	– Biomassa Microbiana do Solo
CBMS	– Carbono da Biomassa Microbiana do Solo
NBMS	– Nitrogênio da Biomassa Microbiana do Solo
RBS	– Respiração Basal do Solo
qCO_2	– Quociente Metabólico
$qMic$	– Quociente Microbiano
FDA	– Hidrólise de Diacetato de Fluoresceína
Desidro.	- Desidrogenase
Arilsulf.	- Arilsulfatase
Fosf.ác	- Fosfatase ácida
β glucos.	- β glucosidase
FBN	– Fixação Biológica de Nitrogênio
Com R.H.	– Com reposição hídrica
MNRP	- Massa de nódulos da raiz principal
NNRP	- Número de nódulos da raiz principal
MNRL	- Massa de nódulos nas raízes laterais
NNRL	- Número de nódulos nas raízes laterais
Braq	- Braquiária
A.V.	- Adubos verdes

LISTA DE TABELAS

- TABELA 1 Balanço hídrico (mm) - déficit e excesso - de água no solo no período de abril de 2018 a março de 2020, no município de Presidente Bernardes - SP36
- TABELA 2 - Resumo da análise de variância com valores obtidos pelo teste F da análise fertilidade do solo retiradas na ocasião da semeadura da soja na safra 2018/2019, em função de cultivos anteriores e condição hídrica 39
- TABELA 3 - Resumo da análise de variância com valores obtidos pelo teste F da análise fertilidade do solo retiradas na ocasião da semeadura da soja na safra 2019/2020, em função de cultivos anteriores e condição hídrica 40
- TABELA 4 - Resumo da análise de variância com valores obtidos pelo teste F do carbono - CBMS e nitrogênio da biomassa microbiana do solo - NBMS, respiração basal do solo - RBS, quociente metabólico - qCO_2 e quociente microbiano - $qMic$, amostradas na ocasião da semeadura da soja na safra 2018/2019, plantas de cobertura na entressafra 2019, da soja na safra 2019/2020, após a colheita da soja em 2020 e condição hídrica 42
- TABELA 5 - Carbono da biomassa microbiana do solo – CBMS - $\mu g g^{-1}$, nitrogênio da biomassa microbiana do solo – NBMS - $\mu g g^{-1}$, respiração basal do solo – RBS em mg de $C-CO_2 kg^{-1} solo hora^{-1}$, quociente metabólico do solo qCO_2 em $mgC-CO_2 g^{-1} BMS - C h^{-1}$ e quociente microbiano do solo $qMic$ em $mg C-CO_2 mg Cmic^{-1}$ antes da soja na safra 2018/2019 e safra 2019/2020 em função de cultivos anteriores e condição hídrica44
- TABELA 6 - Carbono da biomassa microbiana do solo – CBMS - $\mu g g^{-1}$, nitrogênio da biomassa microbiana do solo – NBMS - $\mu g g^{-1}$, respiração basal do solo – RBS em mg de $C-CO_2 kg^{-1} solo hora^{-1}$ e quociente metabólico do solo qCO_2 em $mgC-CO_2 g^{-1} BMS - C h^{-1}$ amostradas na ocasião da semeadura das plantas de cobertura na entressafra 2019, após a colheita da soja em 2020 em função de cultivos anteriores e condição hídrica46
- TABELA 7 - Atividade da enzima desidrogenase, arilsulfatase, fosfatase ácida, β glucosidase e hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA), amostradas na ocasião da semeadura da soja na safra 2018/2019, plantas de cobertura na entressafra 2019, da soja na safra 2019/2020, após a colheita da soja em 2020, em função de cultivos anteriores e condição hídrica48
- TABELA 8 - Atividade da enzima desidrogenase $mg TTF g^{-1} solo^{-1} 24h^{-1}$, arilsulfatase - $\mu g p-$ nitrofenol $g^{-1} solo h^{-1}$, fosfatase ácida (p -nitrofenol liberado) $\mu g g^{-1} h^{-1} solo$, β glucosidase - $\mu g p-$ nitrofenol $g^{-1} solo h^{-1}$ e hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA) μg hidrolisada $5g^{-1}$ no solo, amostradas na ocasião da semeadura da soja na safra 2018/2019, e da soja na safra 2019/2020 em função de cultivos anteriores e de condição hídrica.50

TABELA 9 - Atividade da enzima desidrogenase $\text{mg TTF g}^{-1} \text{ solo}^{-1} 24\text{h}^{-1}$, arilsulfatase $-\mu\text{g p- nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$, fosfatase ácida ($\text{p-nitrofenol liberado}$) $\mu\text{g g}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ solo}$, β glucosidase $-\mu\text{g p- nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ e hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA) $\mu\text{g hidrolisada } 5\text{g}^{-1} \text{ no solo}$, amostradas na ocasião da semeadura das plantas de cobertura na entressafra 2019, após a colheita da soja em 2020 em função de cultivos anteriores e condição hídrica	51
TABELA 10 - Teores de nutrientes foliares para a cultura da soja, coletadas em pleno florescimento (R2) nas safras 2018/19 e 2019/20 em função de plantas de cultivos anteriores e condição hídrica	57
TABELA 11 - Análise foliar soja 2019/20 para o nutriente magnésio -Mg- (g Kg^{-1}) em função de cultivos anteriores e condição hídrica.....	58
TABELA 12 - Análise foliar soja safra 2019/2020 para magnésio -Mg- (g Kg^{-1}) em função de cultivos anteriores e condição hídrica.....	58
TABELA 13 – Componentes da nodulação da soja nas safras 2018/19 e 2019/20. Número de nódulos da raiz principal (NNRP); Massa de nódulos da raiz principal (MNRP) em gramas; Número de nódulos na raiz lateral (NNRL); Massa de nódulos na raiz lateral (MNRL) em gramas aos 50 dias após a emergência, em função de cultivos anteriores e condição hídrica	60
TABELA 14 - Componentes da nodulação da soja nas safras 2018/19 e 2019/20. Número de nódulos da raiz principal (NNRP); Massa de nódulos da raiz principal (MNRP) em gramas; Número de nódulos na raiz lateral (NNRL); Massa de nódulos na raiz lateral (MNRL) em gramas aos 50 dias após a emergência, em função de cultivos anteriores e condição hídrica	61
TABELA 15 - Rendimento da soja (Mg ha^{-1}) safras 2018/19 e 2019/20 em função de cultivos anteriores e condição hídrica	63
TABELA 16 - Produtividade soja (Mg ha^{-1}) 2018/19 e 2019/20 em função de cultivos anteriores e condição hídrica	64

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVO	16
3 REVISÃO DE LITERATURA	17
3.1 Cultura da soja	17
3.2 Plantas de cobertura	18
3.3 Importância da água para o solo e atividade microbiológica	20
3.4 Interações da rizosfera com os microrganismos do solo	22
3.5 Biomassa microbiana dos solos (BMS)	24
3.6 Respiração basal do solo	25
3.7 Atividade enzimática microbiana no solo	26
3.8 Coeficientes da atividade microbiana do solo	28
3.9 Fixação biológica de nitrogênio na cultura da soja	29
4 MATERIAL E MÉTODOS	31
4.1 Caracterização da área experimental	31
4.2 Delineamento experimental e tratamentos	31
4.3 Instalação e condução do experimento	33
4.4 Avaliações	34
4.4.1 Balanço hídrico	34
4.4.2 Análise de fertilidade do solo	34
4.4.3 Análise de tecido vegetal da soja	34
4.4.4 Análises de atividade microbiana	34
4.4.5 Avaliação da nodulação na soja	35
4.4.6 Avaliação de rendimento da soja	35
4.5 Análise estatística	35
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
6 CONCLUSÕES	68
REFERÊNCIAS	69

1 INTRODUÇÃO

A soja no Brasil ocupa grande área de cultivo e lidera a produção de grãos no Brasil. O cultivo de soja em solos arenosos localizados em áreas com histórico de anormalidades no regime hídrico, decorrentes dos fatores climáticos, têm sido um grande desafio para a pesquisa agrônoma. A região do Oeste Paulista, historicamente apresenta má distribuição hídrica durante a primavera verão, além de sofrer forte período de estiagem no outono inverno. Neste sentido, o uso de sistema de irrigação, ou até mesmo ação de reposição hídrica estratégica, podem beneficiar a qualidade do solo, principalmente pela manutenção da comunidade microbiana o que pode contribuir para aumento da resiliência e capacidade produtiva das culturas, por haver atenuação do estresse ocasionado neste período.

Além disto, práticas como a adoção do sistema de integração lavoura pecuária, o sistema de semeadura direta, e a rotação de plantas de cobertura e adubos verdes são exemplos onde há sinergismo na produção agrícola e maximização do uso do solo, atrelado à sua conservação. Os modelos de sistema produtivos são inúmeros, e podem ser adaptados de acordo com a região onde estão inseridos, bem como aptidão/interesse e estrutura do produtor e da propriedade rural.

Os resíduos culturais das plantas de cobertura, bem como a rizodeposição são fontes de energia e substratos para a atividade microbiana e, portanto, melhoram o ambiente físico-químico do solo para o crescimento microbiano (WANG et al., 2015b; SHARMA et al., 2020), prospectando aumento na produtividade de grãos. Contudo para este efeito torna-se importante melhorias na umidade do solo.

Aliado ao retorno econômico, e uso racional dos recursos disponíveis como o solo, ambientais e humanos, há necessidade de estudar o impacto causado nas propriedades do solo, especialmente nas propriedades biológicas, relacionadas como reservatório de nutrientes e transformações ocorridas no solo, sendo reconhecida como importante índice de qualidade dos solos, por serem mais sensíveis aos manejos que lhe são empregados, auxiliando a avaliação e tomada de decisão para melhoria e adequação do uso do solo.

A hipótese é que o uso da reposição hídrica para solo, no período de abril a setembro atenuará o déficit hídrico e, aliada ao uso de plantas de cobertura, favorecerá o estabelecimento da microbiota do solo, refletindo em uma comunidade

estável para enfrentar o estresse abiótico, e ainda promover incremento na produtividade de grãos, em uma região tropical com invernos secos e veranicos frequentes durante a estação chuvosa.

2 OBJETIVO

O objetivo do trabalho foi avaliar os atributos biológicos e de fertilidade de solo, bem como a produtividade da soja, em sistemas integrados de cultivos de plantas, em solos arenosos sob condições de sequeiro e com reposição hídrica no outono inverno.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Cultura da soja

O Brasil é considerado uma potência na produção de alimentos, sendo evidência principalmente na produção de grãos, carnes e biocombustíveis. A soja (*Glycine max* (L) Merrill) apresenta-se como a principal oleaginosa anual produzida e consumida em todo o mundo, sendo que no país ela é considerada como o principal produto das exportações (SEIXAS et al., 2020).

No Brasil o cultivo da soja ocorre em todas as regiões, com uma área em expansão de 2,5% em comparação à safra anterior, atingindo 39,9 milhões de hectares. A produção, também deverá apresentar incremento de 2,5% em relação à safra que se encerrou, atingindo 140,7 milhões de toneladas, com produtividade média de 3526 kg ha⁻¹ (CONAB, 2021). O cultivo da soja no país, representa em média 52,4% da produção total de grãos na safra 2017/2018. A utilização de cultivares de ciclo precoce, e principalmente adaptado às diferentes condições edafoclimáticas, podendo também associar a semeaduras antecipadas, permitiram o estabelecimento de mais de uma espécie por ano agrícola (SMIDERLE et al., 2019).

O cultivo de soja no Brasil se faz em sua maioria, pelo sequeiro, já que o uso da água apresenta custo elevado, destinado a poucos produtores. Para minimizar os efeitos de veranicos em seu cultivo, algumas práticas são fundamentais, como a semeadura na época indicada, cultivares adaptados a região, e práticas que possam contribuir para o armazenamento de água no solo, auxiliadas ao controle de invasoras e principalmente, com ciclagem de nutrientes e estímulo a microbiota dos solos (NEUMAIER et al., 2020).

A proeminência das áreas de produção de soja no país, das áreas de sistema de plantio direto, entretanto, na maioria das vezes, estes manejos acabam não constituindo as exigências e premissas do sistema de plantio direto sobre a palha, no que diz respeito a utilização de rotação de culturas. Conseqüentemente, devido a não utilização correta, podemos verificar, áreas de produção em solos mal manejados, seja pela formação de camadas compactadas, encrostamento superficial, perdas de solo, aumento nos problemas provocados por pragas, doenças e plantas daninhas (CONTE et al., 2020).

Para o cultivo da soja, é importante que haja uma diversidade de microrganismos no solo, para priorizar em interações favoráveis ao crescimento das raízes, além de favorecer o armazenamento de água e principalmente, diminuir a população de patógenos, pragas e nematoides, que podem comprometer o desenvolvimento favorável da cultura, para o amortecimento das quedas em produtividade, principalmente, em safras de clima desfavorável (OLIVEIRA et al., 2019). Dessa forma, a introdução espécies de cobertura no cultivo da soja, promovem benefícios para o sistema, através da adição de biomassa vegetal para o sistema, com o objetivo de promover um balanço positivo entre entradas, por restos culturais e plantas de cobertura, e as saídas, por meio dos processos de mineralização da matéria orgânica do solo pela ação microrganismos. A contribuição da adição através das raízes é imprescindível, pois ocorre em subsuperfície, enquanto a maior parte da adição de biomassa vegetal se dá em superfície (CONTE et al., 2019).

Estimativas preveem que o crescimento população global em 2050 atingirá 9 bilhões de habitantes. A agricultura deverá enfrentar o momento adverso com sustentabilidade, uma vez que a pressão para a produção de alimentos esbarre na questão ambiental, para que não seja necessário abrir mais fronteiras agrícolas ou desmatar áreas, e a dependência de insumos para produzir o alimento à esta demanda crescente (FAO, 2017). A criação de sistemas agrícolas mais eficientes será necessária.

3.2 Plantas de cobertura

A soja, quando cultivada em solo arenoso, como os solos do oeste paulista, necessitam de práticas para assegurar a presença de água no solo, além do aporte de material orgânico, para isso, precisa de uma cobertura vegetal, viva ou morta, para contribuir com menores oscilações de temperatura, evitando danos às sementes, a microbiota do solo, inclusive, podendo contribuir para a maior eficiência dos microrganismos que realizam o processo de fixação biológica de nitrogênio (SMIDERLE et al., 2019).

Há, portanto, a necessidade intervir a tempo, com a adoção de práticas de manejo adequadas, que atendam a demanda crescente de alimento e que preservem o meio ambiente, como o sistema de plantio direto sobre a palha e a rotação de

culturas, visando aporte de matéria orgânica e saúde do solo e água, além do aumento nas produções agrícolas (SHARMA et al., 2020). Um dos pontos cruciais desta questão é a degradação do solo proveniente de preparos convencionais, muitas vezes manejados com culturas intensivistas e/ou de monoculturas, enfraquecendo a saúde do solo e água (TASKIN et al., 2021).

Áreas manejadas de forma intensiva e sob condições de monocultivo, aceleram os processos de deturpação do solo, pois a contribuição da rizodeposição no sistema solo é baixa em comparação com sistemas que visam a conservação e resiliência do solo, como o plantio direto sobre a palha em esquema de rotação de culturas, buscando a incorporação de matéria orgânica no sistema (TASKIN et al., 2021, SHARMA et al., 2020). A matéria orgânica proveniente de plantas de cobertura favorece a formação e estabilização de agregados no solo. As raízes contribuem para melhora significativa da estrutura do solo (KIM et al., 2020; TASKIN et al., 2021).

A atividade agrícola causa diversos impactos no sistema solo, pois altera a distribuição natural de agregados, afeta a ciclagem de nutrientes, padrões de rizodeposição e manutenção da matéria orgânica, além de que o agroecossistema é sensível devido à sua diversidade tipicamente baixa (TSIAFOULI et al., 2015).

A importância da rotação de culturas e sistema de plantio direto sobre a palha se dá não só ao fato da quebra do ciclo de pragas e patógenos, supressão de plantas daninhas, ou pela ciclagem de nutrientes proveniente da palhada, da homeostase da temperatura do solo ou pela proteção contra os efeitos erosivos, mas também a outros fatores, como a rizodeposição, alterando a estruturação do solo, com destaque na quantidade e qualidade das substâncias exsudadas, substratos fundamentais na interação e recrutamento dos microrganismos para a região rizosférica (TASKIN et al., 2021).

Resíduos culturais e a rizodeposição, são fontes de nutrientes e energia para a atividade microbiana e, portanto, melhoram o ambiente físico-químico do solo para o crescimento microbiano (WANG et al., 2015b; SHARMA et al., 2020). Em estudo de longo prazo, Schmidt et al. (2018) constataram que a introdução de diferentes espécies como plantas de cobertura, aumenta o C orgânico do solo, aliado ao estímulo da abundância e diversidade microbiana.

As culturas de cobertura podem melhorar a saúde biológica do solo, aumentando a abundância da comunidade microbiana em comparação com a não

utilização (MUHAMMAD et al., 2021). Portanto, é necessário a utilização de práticas, como a rotação de culturas, e também a deposição de resíduos vegetais, para proporcionar efeitos benéficos sobre a microbiota, promovendo em consequência a restauração da fertilidade do solo e do manejo ambiental, processos atribuídos e mediados pela BMS (TIWARI et al., 2019).

Wittwer et al. (2017), estudando o efeito de plantas de cobertura, evidenciou que o cultivo de ervilhaca peluda, ervilhaca comum e mostarda branca sob sistema de plantio direto aumentou o rendimento de colheita em até 24% quando comparada com as mesmas culturas sob cultivo convencional de preparo de solo. A introdução de plantas de cobertura, sobretudo as leguminosas, no esquema de rotação de culturas permite além das primícias desta prática, a fixação biológica do nitrogênio, e o aporte deste nutriente no sistema, favorecendo ainda a maior atividade e densidade microbiológica e aumento na produtividade de culturas subsequentes (ARAÚJO et al., 2008; ADETUNJI et al., 2020; VENTER et al., 2016).

A relação entre as plantas de cobertura e a comunidade microbiana do solo é fundamental para a influência na produtividade da cultura comercial e no benefício para o agroecossistema. As plantas selecionam os microrganismos de sua rizosfera através da liberação de sinais químicos e estabelecem um microbioma do solo que pode beneficiar o crescimento vegetal. O efeito benéfico das misturas de culturas de cobertura exerce relação direta entre a biodiversidade de plantas, a maior disponibilidade e diversidade de exsudatos de raízes e do microbioma do solo (CASTELLANO-HINOJOSA; STRAUSS, 2020).

Kim et al. (2020) alerta que embora o cultivo de plantas de cobertura exerça efeitos positivos aos microrganismos do solo, a relação deve ser interpretada com cautela, pois é necessário discernir se houve o aumento na atividade microbiana pela abundância de microrganismos no solo, ou por meio da elevação na taxa de produção de metabólitos per capta.

3.3 Importância da água para o solo e atividade microbiológica

A água é essencial para todos os organismos vivos. Participa de vários processos, como solvente, tampão de temperatura e um metabólito em células vivas. As plantas e microrganismos dependem da disponibilidade de água (AUNG; JIANG;

HE, 2017). A presença de água é imprescindível para o solo, pois afeta processos físico-químicos, a atividade microbiana e a dinâmica de nutrientes (KUMAR et al., 2019). Ferreira et al. (2017) constataram variações significativas na população bacteriana do solo, as maiores comunidades bacterianas, foram obtidas em função da maior disponibilidade hídrica nos solos.

Os solos são formados por macro e microporos. Nos macroporos estão alocados os gases difundidos no solo e onde, efetivamente, crescem os microrganismos e raízes. Enquanto que, nos microporos estão associados com o armazenamento de água. Desta forma, os microagregados são sítios de ação necessários para a manutenção da microbiota do solo (KRAVCHENKO; GUBER, 2017). O estresse hídrico contribui para o menor aporte de carbono e nitrogênio em macroagregados (TASKIN et al., 2021). De acordo com Bargali, Padalia e Bargali (2019) a biomassa microbiana do solo é maior nas estações chuvosas e mínima durante o inverno, denotando assim, o fator sazonalidade na manutenção da vida do solo.

Os fatores abióticos relacionados na formação de agregados do solo, como períodos de congelamento/descongelamento, ou de estiagem/chuvas e percolação de água, possibilitam a criação de sítios de maior atividade microbiológica ao permitirem o acesso a nutrientes orgânicos e lábeis, aeração do solo e redistribuição de água no perfil, substratos estes, indispensáveis para que microrganismos desempenhem suas funções no solo. Porém os sítios de ação criados abioticamente são muito menos estáveis e ativos, quando comparados aos provenientes da interação biológica (KUZYAKOV; BLAGODATSKAYA, 2015).

Solos arenosos e sob condições climáticas adversas apresentam baixa capacidade de aporte de matéria orgânica e rápida decomposição de resíduos vegetais. Estabelecendo fracas interações com microrganismos e elevada taxa de percolação da água no perfil, associada com baixa capacidade de retenção hídrica e exposição das camadas superficiais do solo a mudanças abruptas de temperatura e secamento (ZANATTA et al., 2017; SEIBERT; BORSOI, 2020; BASSANEZI et al., 2021).

A seca é um dos estresses abióticos mais prejudiciais, e talvez o problema mais grave enfrentado pela sustentabilidade agrícola, levando a uma grave escassez na produtividade das culturas. A seca afeta o crescimento das plantas, causando

perturbações hormonais e de estabilidade da membrana, desequilíbrio de nutrientes e distúrbios fisiológicos.

3.4 Interações da rizosfera com os microrganismos do solo

A formação do solo depende de vários fatores que contribuem para a sua qualidade, mas é um sistema em constante transformação. Entre os quais, fatores bióticos e abióticos interagem fortemente na pedogênese, destacam-se o material de origem, clima, os vegetais e microrganismos que nele habitam e o modificam constantemente (SCHOMBURG et al., 2019).

As plantas exercem papel fundamental na pedogênese, pois ao alocar os recursos da fotossíntese na produção de raízes estruturam o solo, permitindo sítios de ação para que microrganismos colonizem fortemente o solo, principalmente relacionados a sua porosidade. Isto é uma forma estratégica para ambos os organismos garantirem recursos, possibilitando que haja a vida (SHARMA et al., 2020).

A rizosfera representa um espaço muito próximo em volta das raízes, numa escala milimétrica onde ocorrem diversas interações microbianas associado a ocorrências de várias reações bioquímicas que são importantes para o crescimento das plantas (SCHOMBURG et al., 2019).

Neste ambiente rizosférico tem-se concentrado uma grande atividade microbiana que podem interagir com o solo circunvizinho. Cada espécie vegetal irá contribuir de forma singular para o que encontramos no solo, seja pela configuração e arquitetura que as raízes ocupam ao longo do perfil, pela quantidade ou qualidade do material exsudado, ou ainda pela capacidade de agregação do solo. O estágio fenológico e a família botânica interferem neste processo (BARGAZ et al., 2017).

Manter o solo vegetado pelo maior espaço de tempo possível é fundamental na manutenção da taxa de rizodeposição, que é um processo ecológico importante, pois fornece fontes de carbono prontamente disponíveis aos microrganismos e pode gerar aumento da biomassa microbiana em torno das raízes e afetar tanto a atividade como a composição da comunidade microbiana (PUGLISI et al., 2009).

Nesse sentido, a rizodeposição, um fator-chave para o sucesso dos ecossistemas terrestres, por favorecer o estabelecimento e colonização da

comunidade microbiana, e desta, em contribuir na proteção de compostos aos vegetais e atuar fortemente na ciclagem de nutrientes (SHARMA et al., 2020).

O crescimento radicular promove a maior densidade do solo, ao aproximar e reorganizar diferentes partículas dos minerais, favorecendo o surgimento de microagregados. Além de fortalecer a estabilidade de tais agregados pela produção de complexos organominerais, resultado da interação de mucilagens, polissacarídeos e a superfície dos minerais (SIX et al., 2004).

Quanto maior a riqueza e diversidade de espécies vegetais no sistema, maior será o incremento no compartimento da matéria orgânica presente em macro e microagregados, sobretudo a inclusão de espécies leguminosas que contribuirão fortemente nas interações organominerais de microagregados e colonização de microrganismos fixadores de nitrogênio (VELOSO et al., 2019).

Os efeitos negativos dos estresses abióticos - em particular, a seca - podem ser superados por bactérias promotoras de crescimento em plantas, que são habitantes naturais da rizosfera. A maioria dessas bactérias têm a capacidade de melhorar as características de crescimento, adaptação frente aos estresses, além do rendimento das culturas em condições naturais, produção de aminoácidos e fitohormônios, bem como a disponibilidade de nutrientes (ABDELAAL et al., 2021).

O conteúdo de água no solo, principalmente na rizosfera, desempenha um importante papel na liberação de carbono pelas raízes e na formação dos perfis de exsudados radiculares, dessa forma, a liberação de mucilagem pode ser uma estratégia da planta para manter a rápida difusão de exsudatos e alta atividade microbiana mesmo sob limitação hídrica (HOLZ et al., 2018).

A comunidade e o metabolismo microbiano mudam de acordo com o tamanho dos agregados, sendo a biomassa, a respiração microbiana e a atividade enzimática maior em macroagregados, em função da presença de raízes e melhores condições de aeração. O processo de crescimento radicular favorece a exsudação de diversos compostos úteis aos microrganismos, como açúcares, aminoácidos, enzimas, ácidos orgânicos, compostos fenólicos e metabólitos secundários (GUPTA; GERMIDA, 1988).

A composição dos exsudados lançados no solo é determinante para a comunidade microbiana, pois afeta não só o número de microrganismos sensíveis aos compostos e que irão interagir com o vegetal em crescimento, bem como a quantidade e qualidade do material exsudado afetar o metabolismo dos microrganismos e

atividade enzimática no solo (KUZYAKOV; BLAGODATSKAYA, 2015; RAYNAUD, 2010).

Kuzyakov e Blagodatskaya (2015), em seu estudo definiram que microrganismos necessitam de sítios de ação específicos, devido a influência de fatores bióticos ou abióticos para a criação de agregados, nos quais, microrganismos os colonizam em busca de nutrientes e recursos necessários. A duração destes sítios de ação será determinada pela manutenção da entrada de carbono orgânico lábil, sendo beneficiada pela ação dos fatores bióticos na exsudação de raízes, queda de serapilheira, rizodeposição em um novo volume de solo, além das atividades de escavação de animais e macrorganismos.

Neste sentido, o solo pode ser manejado com culturas de crescimento radicular vigoroso e intenso, além de introduzir espécies de famílias botânicas diferentes, a fim de priorizar a exsudação com diferentes substâncias, para que mais sítios de ação sejam criados ao longo do perfil do solo. O aumento da taxa de entrada de substratos, como evidenciado por Raynaud (2010), com a maior densidade de raízes em pastagens, possibilitou a sobreposição de sítios de ação individuais, resultando em uma rede destes sítios de ação por todo o solo.

Em seu estudo, Abdelaal et al (2021) destaca o papel das bactérias promotoras de crescimento que impacta positivamente as características fisiológicas e bioquímicas das culturas, resultando em aumento do número de folhas, rendimento de açúcar, teor relativo de água, quantidades de pigmentos fotossintéticos e ácido ascórbico.

3.5 Biomassa microbiana dos solos (BMS)

A BMS, é um importante indicador da qualidade do solo (MOURA et al., 2018). Por isso, é necessário compreender o efeito do manejo de áreas de cultivo na dinâmica da BMS o que é importante para projetar melhores práticas de manejo e para restaurar a função do solo em sistemas agrícolas de manejo intensivo (LI et al., 2018a). A biomassa assim como a diversidade microbiana no solo, desempenha funções essenciais na saúde do solo, por meio da ciclagem de nutrientes e relações complexas com as plantas. Mesmo em solos com distúrbios, os que apresentam altas

concentrações de BMS podem ter maior capacidade para sustentar os processos ecológicos, devido à proteção microbiológica às plantas (SINGH; GUPTA, 2018).

De acordo com Bargali, Padalia e Bargali (2019), a maior quantidade de carbono e nitrogênio da BMS está diretamente relacionada a maior disponibilidade de raízes finas e cobertura morta. Nesse contexto a arquitetura radicular e também o manejo das espécies de plantas de cobertura utilizadas podem influenciar nesse indicador microbiano no solo.

O uso de fertilizantes minerais pode causar impactos sobre a atividade microbiana, em relação à sua biomassa. Zhang, Chen e Ruan (2018) em uma meta-análise global, constataram que a adição de fertilizantes nitrogenados reduz a BMS, a proporção de fungos para bactérias, a diversidade e abundância de fungos micorrízicos arbusculares, assim como de bactérias gram negativas. Esses efeitos da aplicação de fertilizantes nitrogenados minerais, podem ser minimizados, com a adição de plantas leguminosas, que possam aportar o elemento ao sistema, através principalmente da FBN.

No tocante ao reservatório de nutrientes no solo o nitrogênio da biomassa microbiana do solo (NBMS) é um parâmetro importante na avaliação da ciclagem desse elemento pelos microrganismos e no ciclo do N. (MUNKAGER et al., 2021). Mudanças físico-químicas do solo são fatores importantes que influenciam a distribuição de grupos funcionais na ciclagem do N, como o pH, níveis de oxigênio dissolvido, fertilidade do solo, salinidade, relação C/N do material e textura do solo (WANG et al., 2017).

3.6 Respiração basal do solo

Dentro do ciclo biogeoquímico do carbono uma das principais formas de saída de carbono no solo tem sido representada pela liberação do gás carbônico (CO₂). Nesse contexto a respiração basal do solo (RBS) é um dos atributos biológicos do solo de grande importância, sendo determinada pela atividade das raízes das plantas e dos microrganismos que vivem no solo, que resulta na produção de dióxido de carbono e emissão de CO₂ para a atmosfera (BURCEA, 2018; DACAL et al., 2019). A RBS, é influenciada pela biomassa de raízes, pela cobertura do solo, e pelas espécies

de plantas utilizadas em rotação, no manejo do solo (HUANG et al., 2017), e além disso, pelas condições abióticas, como umidade e temperatura (SILVA; AZEVEDO; DE-POLLI, 2007).

Li et al. (2018b) constataram, que a adição de resíduo com alta relação C/N (azevém) promoveu uma maior liberação de CO₂ via respiração microbiana, para a degradação do resíduo, e conseqüentemente, através da mineralização do nitrogênio microbiano, enquanto que a aplicação de nitrogênio mineral sob o resíduo do azevém, possibilitou a redução da respiração microbiana, liberando menores taxas de CO₂, indicando a importância do manejo de plantas e fertilização.

A respiração basal do solo, passa a ser uma importante análise para a avaliação da qualidade dos solos, pois, em situações de estresse, a BMS irá aumentar a RBS e conseqüentemente maior qCO₂, indicando em maior consumo energético (CUNHA et al., 2011). Altos níveis de respiração, podem ser devido a maior biomassa microbiana, ou podem demonstrar que a população microbiana está em situação de estresse, portanto, a análise nunca deve ser avaliada de forma isolada, e sempre comparada a análise do CBMS, indicando o nível do qCO₂ (DADALTO et al., 2015).

3.7 Atividade enzimática microbiana no solo

As atividades enzimáticas são utilizadas como indicadores confiáveis da qualidade do solo por estarem intimamente relacionadas a atributos físicos e químicos, conteúdo de matéria orgânica e atividade microbiana no solo como a sua biomassa (KIM et al., 2020). A atividade enzimática é um indicador potencial da qualidade do solo, pois responde rapidamente ao manejo e às mudanças induzidas no ambiente. Exerce papel fundamental na decomposição e mineralização da matéria orgânica por meio de vários processos metabólicos. Imediatamente após adicionar substrato ao solo, ocorre a resposta na decomposição da matéria orgânica, e para isto inúmeras atividades enzimáticas são ativadas no solo (TAO et al., 2021).

A atividade microbiana do solo é intimamente relacionada com a diversidade microbiológica, pois a produção de enzimas extracelulares é modificada de acordo com o grupo microbiano do solo e, desta forma, não é universal, especialmente para as enzimas relacionadas à serviços ecossistêmicos, como na ciclagem de nutrientes

(TOBIN et al., 2020). Portanto, quantificar a atividade bioquímica, como as enzimas do solo, têm significado ecológico e são mais sensíveis ao estresse ambiental e respondem rapidamente às mudanças no manejo adotado (TOBIN et al.,2020).

A atividade da enzima desidrogenase, tem sido considerado um parâmetro metabólico que reflete a atividade microbiana dos principais grupos de microrganismos no solo. É uma enzima que controla funções chave no solo, por estar presente somente em células intactas, sua atividade expressa a presença de microrganismos vivos, atuantes em diferentes metabolismos, já que essa enzima participa da transferência de prótons e elétrons na cadeia respiratória, não existindo extracelularmente ou acumulando no solo, correlacionada, portanto, com o número de microrganismos vivos do solo (BALOTA et al., 2013; AWET et al., 2018).

A atividade da β -glucosidase está muito relacionada a atividade de fungos e bactérias no solo, que a utilizam na degradação da parede celular, favorecendo a decomposição de material orgânico. A atividade dessa enzima é considerada o principal catalisador da formação de microagregados dentro de macroagregados, pois correlaciona-se positivamente com sítios de ação que favorece o ciclo e a incorporação de carbono e nitrogênio no solo, possibilitando com que estes substratos impulsionem a atividade microbiana do agroecossistema. Portanto há uma correlação forte entre o aumento da atividade da β -glucosidase e o estoque de C e N no solo (TASKIN et al.,2021).

O enxofre está presente no solo em sua maioria na forma orgânica, para que as plantas o absorvam é necessário transformá-lo em sulfato. A enzima arilsulfatase está relacionada na transformação do ciclo do enxofre no solo. De forma geral a presença desta enzima é correlacionada com a biomassa microbiana (BALOTA et al., 2013). Um ponto importante relacionado a arilsulfatase tem sido a sua maior estabilidade no solo por longos períodos, sendo considerada como uma memória biológica da atividade microbiana no solo.

As enzimas do grupo das fosfatases são relacionadas ao ciclo do fósforo no solo e são indicadoras da deficiência deste elemento, uma vez que pela ação enzimática da fosfatase moléculas que contenham fosfato são transformadas. Nos solos tropicais há mais estudos relacionados à fosfatase ácida, pois o predomínio são solos com pH ácido, desta maneira as fosfatases são indicadoras da fertilidade do solo (BALOTA et al., 2013). A hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA) expressa a atividade de um grupo de enzimas capazes de realizar lipases, esterases e

proteases. São importantes por reagirem apenas com células microbianas metabolicamente ativas e é correlacionada com o CBMS e conteúdo de ATP do solo. É sobretudo, um método bioquímico que mede a atividade microbiana total, o que indica a qualidade do solo sob mudanças de manejo (SHARMA et al., 2020).

3.8 Coeficientes da atividade microbiana do solo

Mudanças no manejo do solo influenciam o balanço de C orgânico, em resposta há o sequestro de carbono pelos microrganismos ou emissão de CO₂ para o ambiente (JÓZEFOWSKA et al., 2021). Batista et al. (2021), indica que há uma forte correlação entre o conteúdo de C orgânico do solo e a diversidade microbiana.

Para Oikawa et al. (2021) as condições do manejo do solo exercem grandes impactos nas mudanças do quociente metabólico (qCO_2) e no quociente microbiano ($qMic$). O qCO_2 tem aplicação como parâmetro relativo da eficiência a biomassa microbiana do solo na utilização de recursos de C e o grau de limitação de substrato para microrganismos do solo. Como resultado, a microbiota eficiente reflete em quociente metabólico inferior, mais próximo de zero (MAZZUCHELLI et al., 2020).

Por outro lado, valores aumentados de qCO_2 indicam baixa energia da população microbiana, e a restrição nutricional porque os substratos C tornam-se menos degradáveis. Sugerem ainda, a idade mais jovem da comunidade microbiana existente (ANDERSON; DOMSCH, 1990). A incorporação de resíduos de culturas tem sido componente essencial com papéis multifuncionais nas propriedades biológicas do solo.

O quociente microbiano ($qMic$) é a razão de entre o CBMS e o C orgânico do solo, tem sido usado como um indicador de mudanças futuras no estado da matéria orgânica que ocorrerá em resposta ao manejo do solo (LOPES et al., 2010). Quanto maior for este quociente, implica em um ecossistema com maior resiliência e eficácia no acúmulo de C orgânico por meio da microbiota frente às condições de cultivo (MAZZUCHELLI et al., 2020).

Elevados valores de $qMic$ nos ecossistemas e até mesmo nos agroecossistemas, podem ser explicados pela qualidade do substrato orgânico produzido e a regularidade na taxa de entrada no solo, o que resulta no fornecimento

de diferentes fontes de carbono a diferentes grupos de microrganismos do solo (CUNHA et al., 2021).

Em seu estudo, De Feudis et al. (2021) relata que solos ricos em C orgânico sugerem solos de boa qualidade, mas devido a práticas de alto impacto, apresentam condições de estresse quando correlacionado ao qMic. Portanto este é um parâmetro importante na avaliação da qualidade do solo. A ocorrência de condições de estresse, como as práticas agrícolas convencionais, afeta negativamente a eficiência do uso de carbono pela microbiota. Como consequência, essas condições de estresse não permitem a estabilização de C orgânico, conforme sugerido pelo menor qMic (DE FEUDIS, et al., 2021).

3.9 Fixação biológica de nitrogênio na cultura da soja

A soja, como uma espécie leguminosa, é capaz de estabelecer uma simbiose com bactérias, *Rhizobium*, bactérias capazes de realizar a quebra da tripla ligação do nitrogênio na atmosfera disponibilizando para as plantas, no processo conhecido como fixação biológica do nitrogênio - FBN. No cultivo da soja, esses microrganismos são adicionados através dos inoculantes (PRADO; NOGUEIRA; HUNGRIA, 2019).

O nitrogênio (N) é o macronutriente necessário em maior quantidade para o cultivo da soja. Para cada 1000 kg de grãos são necessários, aproximadamente, 80 kg de N (HUNGRIA; NOGUEIRA, 2020). Através da FBN, é possível produzir soja sem a adição de adubação nitrogenada, que além do custo elevado, apresenta potencial de contaminação de mananciais hídricos, além de baixa eficiência. Anualmente, a economia estimada pela não utilização de adubos nitrogenados, para o cultivo de soja é da ordem de US\$ 9 bilhões de dólares por ano (EMBRAPA, 2016).

De acordo com Hungria e Nogueira (2020), ao realizar o processo de inoculação da soja, no sulco de semeadura, a dose do inoculante deve ser equivalente a pelo menos 2,5 milhões de células por sementes, já em solos não inoculados a anos e solos arenosos, a recomendação deve ser no mínimo o dobro da dose recomendada.

Para que o processo de FBN, ocorra com eficiência é necessário que os rizóbios consigam colonizar e permanecer ativos nas raízes. Este processo está associado a fatores bióticos e abióticos, como a presença de outros microrganismos,

disponibilidade nutricional, temperatura do solo, disponibilidade hídrica. Em relação a temperatura do solo, os rizóbios preferem dentro de uma faixa estreita, por volta dos 30°C. Em relação a disponibilidade hídrica, eles são altamente sensíveis a ausência de água no sistema, principalmente na ocorrência nos momentos do crescimento vegetativo da cultura (VIEIRA, 2017).

Um dos processos importantes para garantir altas produtividades da soja é o processo de inoculação anual, mesmo em solos que já receberam inoculantes em safras anteriores. Os microrganismos podem sobreviver no solo, de uma safra para outra, entretanto sua velocidade em formar o nódulo e sua funcionalidade no processo são inferiores aos microrganismos provenientes diretamente da inoculação (PRADO; NOGUEIRA; HUNGRIA, 2019). A nodulação das plantas, principalmente na raiz principal pode ser então avaliada como indicador eficaz para avaliar a condição da soja quanto o suprimento de N.

Atualmente, para a realização da inoculação no cultivo da soja são indicadas quatro estirpes de rizóbio: duas da espécie *Bradyrhizobium elkanii* (SEMIA 587 e SEMIA 5019), uma da espécie *Bradyrhizobium japonicum* (SEMIA 5079 ou CPAC 15) e outra da espécie *B. diazoefficiens* (SEMIA 5080 ou CPAC 7), que anteriormente era também nomeada *B. japonicum* (VIEIRA, 2017).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido de maio de 2018 a março de 2020, em área com histórico de cultivo de *Urochloa brizantha*, por vários anos, na Fazenda Experimental da Unoeste, localizada no município de Presidente Bernardes-SP, coordenadas geográficas: 22° 28' 25" Latitude Sul e 51° 67' 88 Longitude Oeste, com altitude média de 430 metros e relevo suave ondulado em um solo classificado como Argissolo Vermelho Amarelo distrófico de textura arenosa (EMBRAPA, 2006)

A caracterização da fertilidade do solo apresentou na camada de 0 – 20 cm de profundidade: pH (CaCl₂) =5; M.O. (g dm³) =17,5; P (mg dm³)= 2,9; S-SO₄²⁻(mg dm³)=10,8; Al³⁺(mmol_c dm³)=0; H+Al (mmol_c dm³)=22,9; K, Ca e Mg trocáveis de 2,9, 12,6 e 5,9 mmol_c dm⁻³, respectivamente, SB (mmol_c dm³)=21,4; CTC (mmol_c dm³)= 44,3; M% = 0; V% = 48,3; na camada de 20 – 40 cm de profundidade: pH (CaCl₂) =4,8; M.O. (g dm³) =13,6; P (mg dm³)= 1,4; S-SO₄²⁻(mg dm³)=1,4; Al³⁺(mmol_c dm³)=2,1; H+Al (mmol_c dm³)=21,8; K, Ca e Mg trocáveis de 0,5; 10,0 e 5,1 mmol_c dm⁻³, respectivamente, SB (mmol_c dm³)=15,6; CTC (mmol_c dm³)= 37,4; M% = 11,9; V% = 41,7. O solo foi corrigido utilizando 1,2 Mg ha¹ de calcário dolomítico (PRNT 85%) e 0,7 Mg ha¹ de gesso agrícola.

O clima da região de Presidente Prudente é classificada como clima Aw conforme Köppen-Geiger (Rolim et al., 2007), apresentando verão chuvoso e quente e inverno mais seco e frio. O período de baixo volume de precipitação ocorre de abril a setembro (Barbosa, 2020). A precipitação pluvial média anual é de 1.500 mm. O déficit de água no solo para o período de abril a setembro é de -176,0 mm, conforme dados das últimas 10 safras, calculado através do balanço hídrico de Thornthwaite e Mather (1955).

4.2 Delineamento experimental e tratamentos

A área experimental foi dessecada 30 dias antes da instalação do experimento, utilizando 5 L ha¹ de glifosato. O delineamento experimental fatorial 2x4 foi em faixas-subdivididas inteiramente casualizadas, com quatro repetições. Cada

faixa, com área de 6 m x 30 m, foram estabelecidas pelo sistema de cultivo de soja no verão e diferentes espécies de plantas de cobertura, constituindo os seguintes tratamentos: T1: Soja, milho safrinha; T2: Soja e *Urochloa brizantha*; T3: Soja, milho consorciado com *Urochloa brizantha*; T4: Soja, *Urochloa brizantha* com adubos verde - feijão guandu e crotalária.

Cada faixa foi subdividida em duas áreas com dimensões de 25 x 6 m, denominada sequeiro, e outra área de 5 x 6 m, cuja subparcela de 30 m² foi realizada a reposição hídrica, com lâmina total de água de 208,0 mm, distribuídas em 16 aplicações de 13,0 mm no período de abril – setembro de 2018 e 2019, a fim de diminuir o déficit hídrico para o período. A reposição da água foi realizada com tanque com bico tipo pato acoplado.

Os dados climáticos do período experimental e respectivas épocas de cultivo estão registrados na figura 1:

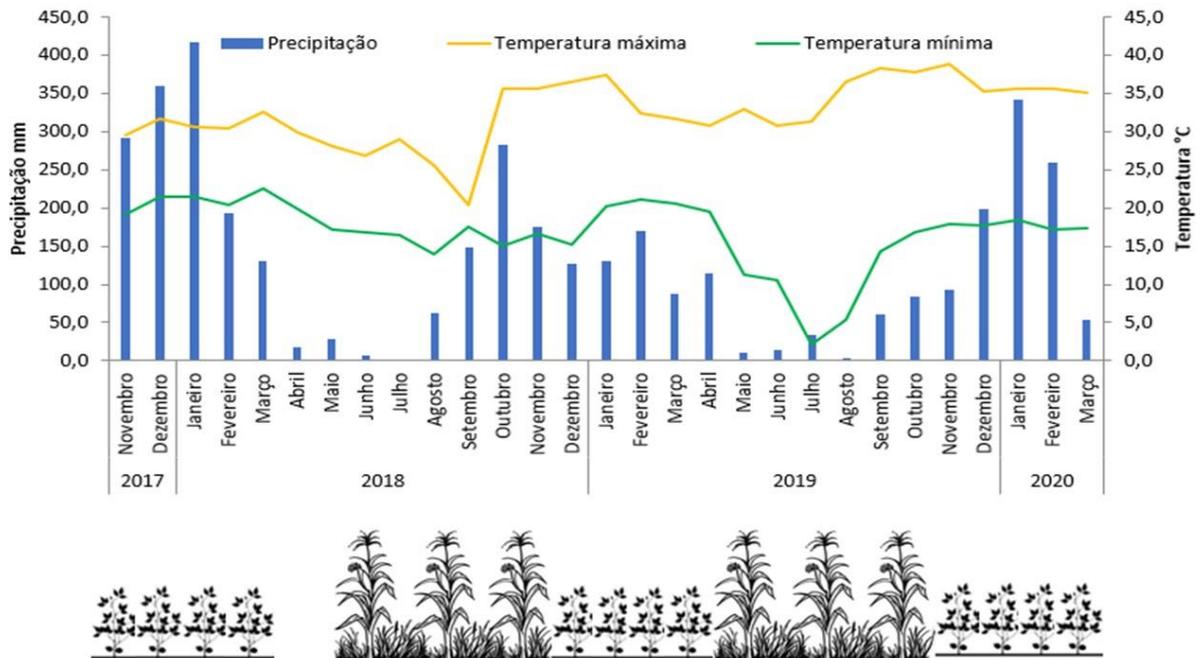


Figura 1. Precipitação, temperatura máxima e mínima registradas entre novembro de 2017 e março de 2020 em área experimental de Presidente Bernardes.

4.3 Instalação e condução do experimento

A cultivar utilizada na semeadura da soja foi a Potência RR, a qual foi semeada em novembro de 2017, com espaçamento de 0,45 m entre linhas. O tratamento de semente foi realizado, com Fipronil e Metalaxil-M + Fludioxonil nas dosagens de 300 mL e 500 mL ha⁻¹, respectivamente.

O equipamento utilizado para aplicação das doses inoculante líquido foi acoplado ao cabeçalho da semeadora, o mesmo possui tanque com capacidade de 200 litros com agitação constante, proporcionando uma melhor homogeneização da solução bacteriana. A liberação do inoculante foi realizada no momento em que a semeadora tocar o solo e iniciar o processo de semeadura, desta forma ocorre à injeção da solução em todos os sulcos de semeadura ao mesmo tempo, sem falhas de aplicação. Utilizou-se um volume de calda para aplicação de 50L ha⁻¹, a dosagem de inoculante aplicada na calda foi de oito doses de 150 mL por hectare do produto Masterfix L, que contém as estirpes: SEMIA 5019 (*Bradyrhizobium elkanii*) e SEMIA 5079 (*Bradyrhizobium japonicum*) com 5 bilhões de células viáveis mL⁻¹.

Todos os tratamentos receberam adubação na ocasião da semeadura, com 200 kg ha⁻¹ de 04-30-10 antecedendo o cultivo da soja e 300 kg ha⁻¹ de 15-15-15 por ocasião da semeadura das plantas de cobertura na safrinha.

A cada safra, após a colheita da soja, foi realizada a semeadura das culturas subsequentes de acordo com cada tratamento.

A densidade de semeadura do milho AG 5055 em T1 e T3 foi de 5 sementes m². Já o T2 e T3 e T4 foram semeados com *Urochloa brizantha* cv. Marandu, sendo semeados 8 kg ha⁻¹. Em T4 foi utilizado o feijão guandu anão e *Crotalaria spectabilis*, ambas com 20 sementes m².

As plantas de cobertura de adubos verdes foram semeadas consorciadas com pastagem em seu respectivo tratamento. O acúmulo de massa verde nas áreas foi de 18 Mg ha⁻¹ no T1. Já as áreas cultivadas com T2 e T3 foi de 9 e 22 Mg ha⁻¹, respectivamente e em T4, pouco mais de 10,5 Mg ha⁻¹. Todas as culturas foram cortadas, com auxílio de uma enxada rotativa, ou dessecadas antes da semeadura da soja.

O experimento seguiu a mesma sequência de semeadura da soja, plantas de adubos verde, milho e *Urochloa brizantha*, para os anos de 2018, 2019 e 2020.

4.4 Avaliações

4.4.1 Balanço hídrico

O balanço hídrico, das áreas de sequeiro e com reposição hídrica, no período experimental para os meses de maio de 2018 a março de 2020 foi calculado de acordo com Thornthwaite e Mather (1955) e Rolim et al. (1998).

4.4.2 Análise de fertilidade do solo

Foi realizada amostragem do solo antes da instalação do experimento e após a colheita da soja implantada na área experimental, em quatro pontos, e após homogeneização, extraiu uma alíquota de 500 g, para a constituição de uma amostra, sendo coletadas quatro amostras de cada tratamento, nas camadas de 0 a 10 cm.

As quais foram destinadas para as análises microbiológicas, no laboratório de microbiologia da Unoeste, e nas camadas de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm, para a realização da análise química de fertilidade, encaminhadas para o laboratório de análise de solos da Unoeste segundo a metodologia de Raij (2001).

4.4.3 Análise de tecido vegetal da soja

Para a análise do tecido foliar da soja foram coletadas quatro repetições por tratamento. A coleta de trifólios da soja, no terço médio, em pleno florescimento (R2), seguiu de forma aleatória dentro da área útil dos tratamentos. Após a coleta, as amostras foram secas em estufa com circulação forçada de ar e temperatura de 60-70°C, até atingir massa constante.

As amostras foram moídas em moinho do tipo Willey e encaminhadas ao laboratório de solos e tecido vegetal da Unoeste, para a análise nutricional de tecido vegetal, conforme a metodologia descrita por Malavolta et al. (1997).

4.4.4 Análises de atividade microbiana

A cada início de safra foram coletadas amostras de solo, na profundidade de 0-10 cm, em quatro pontos, que homogeneizadas constituíram uma amostra, em um

total de quatro amostras por tratamento, que foram encaminhadas para o laboratório onde passaram por peneiramento e adequação de umidade para condição de capacidade de campo.

Em seguida foram encaminhadas, para análises microbiológicas de: carbono e nitrogênio da biomassa microbiana (FERREIRA et al., 1999; TEDESCO et al., 1995), atividade enzimática da desidrogenase (VAN OS; GINKEL, 2001) e fosfatase ácida (TABATABAI, 1994), respiração basal do solo (JENKINSON; POWLSON, 1976), quociente metabólico (calculado a partir da razão entre o C-CO₂ liberado pela respiração do solo pelo carbono da biomassa microbiana) (ANDERSON; DOMSCH, 1993) e microbiano (calculado a partir da relação entre o carbono da biomassa microbiana com carbono orgânico total do solo) (SPARLING, 1992) e atividades enzimáticas.

4.4.5 Avaliação da nodulação na soja

Aos 50 dias após a semeadura foram coletadas 15 plantas por repetição, com quatro repetições, totalizando 60 plantas por tratamento, para análises de número de nódulos na raiz principal, número de nódulos nas raízes laterais, massa seca de nódulos na raiz principal, massa seca de nódulos nas raízes laterais.

4.4.6 Avaliação de rendimento da soja

As avaliações realizadas foram em 2 metros lineares, retirando três linhas de plantas, sendo determinada a estimativa de produtividade, com umidade ajustada para 14%, nas duas avaliações, de 2018/2019 e 2019/2020 foram realizadas com quatro repetições por tratamento.

4.5 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância e comparação entre médias pelo teste de Tukey a 1 e 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2008). Foi realizada a correlação de Pearson entre as variáveis estudadas, utilizando o PAST.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No período do estudo (maio de 2018 a março de 2020) foi registrado o volume de 2.591,6 mm de precipitação na condição de sequeiro e 2.799,2 mm na condição entrada de água no sistema pela proposta desse estudo. Isto representou uma introdução de 208 mm efetuadas por 16 reposições hídricas durante o período de entressafra da soja, ou seja, de abril - setembro de 2018 e 2019, equivalente ao período de estiagem no Oeste Paulista.

O tratamento de sequeiro teve -472,8 mm de déficit de água durante todo o período experimental e de -213,3 mm no período de abril a setembro dos anos de 2018 e 2019 (Tabela 1). Na condição de reposição hídrica, o déficit de água durante o período do experimento foi de -332,8 mm e de -97,9 mm no período de abril a setembro de 2018 e 2019. Portanto, a reposição hídrica aplicada reduziu o déficit de água no solo em 54,1% (115,4 mm) no período de abril a setembro dos dois anos.

TABELA 1 Balanço hídrico (mm) - déficit e excesso - de água no solo no período de abril de 2018 a março de 2020, no município de Presidente Bernardes - SP

Balanço Hídrico (mm)				
Períodos	Sequeiro		Reposição Hídrica	
	Déficit	Excesso	Déficit	Excesso
Período experimental	-472,8	827,4	-332,8	895,1
Abril a setembro 2018 e 2019	-213,3	82,6	-97,9	148,7
Abril a setembro 2018	-73,4	68,6	-30,8	117
Abril a setembro 2019	-139,9	14	-67,1	31,7
Entrada de Água (mm)				
Período experimental	2.591,60		2.799,20	

Nas figuras 2 e 3 observa-se o comportamento do balanço hídrico no decorrer do período experimental. É possível denotar mudanças no padrão dos gráficos nas duas condições de sequeiro e reposição hídrica. No primeiro ano do experimento, mesmo no mês de junho a subparcela com reposição hídrica apresentou um excesso em relação à área de sequeiro. Já no ano seguinte, em 2019, o déficit foi muito mais severo e prolongado na área de sequeiro em relação à área de reposição hídrica.

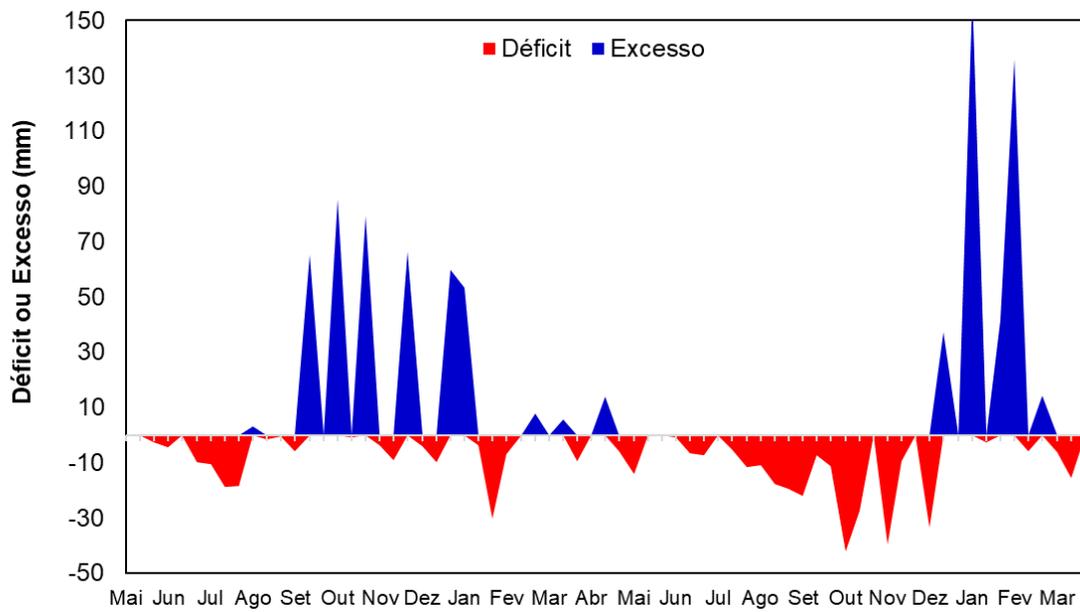


Figura 2 - Balanço hídrico de água no solo (déficit ou excesso) do tratamento sequeiro de maio de 2018 a março de 2020 conforme Thornthwaite e Mather (1955).

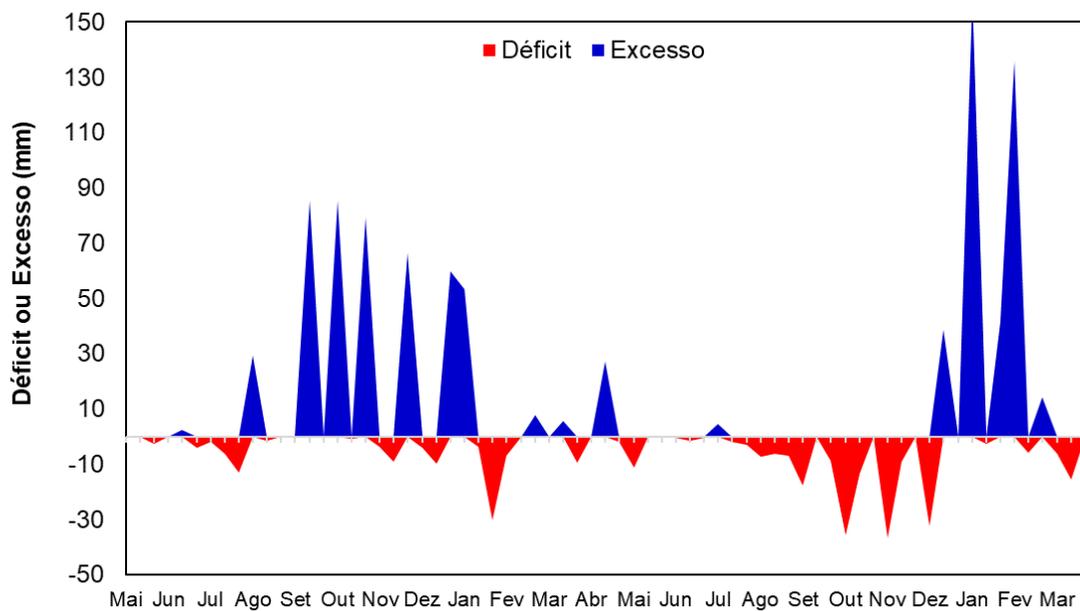


Figura 3 - Balanço hídrico de água no solo (déficit ou excesso) do tratamento com reposição hídrica de maio de 2018 a março de 2020 conforme Thornthwaite e Mather (1955).

Após implantação do sistema (2018) com o cultivo das plantas de cobertura no outono-inverno e também com reposição hídrica, não houve mudanças na fertilidade do solo após cultivo da soja, nos dois anos do estudo (Tabela 2 e 3).

A ausência de alteração na fertilidade do solo no período avaliado (2018 a 2020) revela que a mudança nesses atributos ocorrem de forma mais lenta com a implantação dos sistemas integrados, corroborando com trabalhos de Michelin et al. (2019), que perceberam respostas significativas de atributos do solo, como matéria orgânica, potássio e fósforo apenas no terceiro ano de cultivo experimental, no caso a condução deste experimento por dois anos pode não ter sido suficiente para a alteração de atributos químicos do solo.

Da mesma forma, Favarato et al. (2015) constataram que as plantas de cobertura utilizadas não diferiram entre si e não influenciaram os atributos químicos do solo. Vale ressaltar, que na média geral, o manejo dos cultivos na área, possibilitou a elevação de alguns elementos minerais, como o fósforo, com aumento de 2,2 vezes; e o cálcio com aumento de 38% em relação ao ano anterior, na camada de 0-10 cm (Tabelas 2 e 3).

TABELA 2 - Resumo da análise de variância com valores obtidos pelo teste F da análise fertilidade do solo retiradas na ocasião da semeadura da soja na safra 2018/2019, em função de cultivos anteriores e condição hídrica

Profundidade	F.V.	G.L	pH	M.O	P	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
			(CaCl ₂)	(g dm ³)	(mg dm ³)	------(mmol _c dm ³)-----						
0-10cm	Tratamento	3	0,55 ^{ns}	2,20 ^{ns}	1,02 ^{ns}	1,17 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,58 ^{ns}	1,18 ^{ns}	0,49 ^{ns}	0,51 ^{ns}	0,47 ^{ns}
	Cond Hídrica	1	0,01 ^{ns}	4,76 ^{ns}	2,67 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,01 ^{ns}	1,58 ^{ns}	1,31 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,35 ^{ns}
	Trat* R.H.	3	0,72 ^{ns}	1,78 ^{ns}	0,90 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,26 ^{ns}
	C.V.(%) ¹		3,47	4,21	70,03	11,14	56,85	32,61	36,11	28,39	21,13	7,67
	C.V.(%) ²		3,12	4,37	53,30	11,91	21,66	34,08	35,12	30,09	23,32	7,82
	Média		5,95	17,70	12,82	13,46	2,34	30,89	18,53	51,78	65,23	78,37
10-20cm	Tratamento	3	2,71 ^{ns}	1,64 ^{ns}	0,86 ^{ns}	1,32 ^{ns}	3,17 ^{ns}	0,55 ^{ns}	1,28 ^{ns}	0,49 ^{ns}	0,54 ^{ns}	0,47 ^{ns}
	Cond Hídrica	1	0,85 ^{ns}	4,54 ^{ns}	2,42 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,01 ^{ns}	1,26 ^{ns}	1,47 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,25 ^{ns}
	Trat* R.H.	3	0,71 ^{ns}	1,48 ^{ns}	0,67 ^{ns}	1,16 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,23 ^{ns}
	C.V.(%) ¹		1,30	4,58	68,88	10,73	56,05	31,87	35,46	28,33	21,05	7,85
	C.V.(%) ²		2,01	4,14	49,09	11,84	23,58	32,69	35,02	29,55	22,59	7,90
	Média		5,86	17,56	12,36	13,50	2,22	30,29	18,29	50,87	64,31	78,00

** Significativo ao Teste de Tukey a 1% de probabilidade. * Significativo ao Teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns} – Não significativo ao Teste de Tukey.

TABELA 3 - Resumo da análise de variância com valores obtidos pelo teste F da análise fertilidade do solo retiradas na ocasião da semeadura da soja na safra 2019/2020, em função de cultivos anteriores e condição hídrica

Profundidade	F.V.	G.L	pH	M.O	P	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
			(CaCl ₂)	(g dm ³)	(mg dm ³)	------(mmol _c dm ³)-----						
0-10cm	Tratamento	3	5,36 ^{ns}	3,08 ^{ns}	7,15 ^{ns}	6,45 ^{ns}	1,00 ^{ns}	4,27 ^{ns}	5,41 ^{ns}	4,66 ^{ns}	4,91 ^{ns}	5,24 ^{ns}
	Cond Hídrica	1	6,81 ^{ns}	3,82 ^{ns}	0,01 ^{ns}	1,49 ^{ns}	2,15 ^{ns}	4,20 ^{ns}	0,79 ^{ns}	2,88 ^{ns}	2,80 ^{ns}	5,25 ^{ns}
	Trat* C.H.	3	1,72 ^{ns}	1,42 ^{ns}	2,28 ^{ns}	2,75 ^{ns}	0,38 ^{ns}	1,82 ^{ns}	0,96 ^{ns}	1,39 ^{ns}	1,51 ^{ns}	1,49 ^{ns}
	C.V.(%) ¹		5,86	8,35	42,39	10,71	30,16	34,99	42,44	35,06	28,25	6,66
	C.V.(%) ²		5,21	5,77	70,76	14,48	33,54	36,75	31,37	32,15	26,85	4,95
	Média		5,78	18,40	40,62	9,09	1,55	40,87	15,70	58,07	67,07	84,59
10-20cm	Tratamento	3	2,51 ^{ns}	4,11 ^{ns}	5,97 ^{ns}	2,72 ^{ns}	0,33 ^{ns}	4,12 ^{ns}	5,99 ^{ns}	4,97 ^{ns}	5,01 ^{ns}	5,14 ^{ns}
	Cond Hídrica	1	2,38 ^{ns}	3,05 ^{ns}	0,01 ^{ns}	4,70 ^{ns}	1,19 ^{ns}	3,97 ^{ns}	0,83 ^{ns}	2,97 ^{ns}	2,73 ^{ns}	4,82 ^{ns}
	Trat* C.H.	3	0,45 ^{ns}	2,57 ^{ns}	2,59 ^{ns}	0,92 ^{ns}	0,28 ^{ns}	1,80 ^{ns}	1,08 ^{ns}	1,53 ^{ns}	1,56 ^{ns}	1,42 ^{ns}
	C.V.(%) ¹		6,71	7,81	38,26	14,64	34,58	35,75	40,86	34,38	28,34	6,90
	C.V.(%) ²		3,30	6,26	68,40	13,59	25,64	36,70	31,35	32,21	26,81	5,10
	Média		5,62	18,13	39,93	9,07	1,54	40,43	15,32	57,30	66,38	84,36

** Significativo ao Teste de Tukey a 1% de probabilidade. * Significativo ao Teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns} – Não significativo ao Teste de Tukey.
Cond Hídrica: Condição hídrica. C.H.: Condição hídrica. Trat: Tratamento.

Em relação a atividade microbiana do solo verificou-se que todas os atributos, com exceção do quociente metabólico, foram influenciados pelos tratamentos, na primeira avaliação, antes do cultivo da soja em 2018. Por outro lado, a reposição hídrica influenciou de forma positiva em todos atributos avaliados. Houve interação significativa, entre espécies e reposição hídrica para as todas as variáveis (carbono da biomassa microbiana do solo - CBMS, respiração basal do solo - RBS, quociente metabólico - qCO_2 e quociente microbiano - $qMic$), exceto o nitrogênio da biomassa microbiana do solo - NBMS (Tabela 4).

Após o cultivo da soja em 2019 todas as variáveis de atividade microbiana do solo continuaram com avaliação positiva nos tratamentos que tiveram as plantas de cobertura antes da soja e reposição hídrica, ocorrendo interação significativa, apenas com o CBMS (Tabela 4).

A atividade microbiana do solo antes do cultivo da soja (2019), após o cultivo das plantas de cobertura no segundo ano do experimento, expressou o mesmo efeito dos tratamentos e reposição hídrica nos atributos, encontrados no ano anterior. A reposição hídrica só não afetou o compartimento do NBMS. Já o CBMS, e a RBS, foram influenciados pela interação entre plantas e reposição hídrica (Tabela 4).

Na avaliação final em 2020, após o cultivo da soja, o efeito das plantas de cobertura continuou expressando ganhos nos atributos microbianos do solo e apenas a respiração basal do solo não foi afetada pela reposição hídrica efetuada (tabela 4). Somente o carbono da biomassa microbiana apresentou interação significativa, entre plantas e reposição hídrica.

TABELA 4 - Resumo da análise de variância com valores obtidos pelo teste F do carbono - CBMS e nitrogênio da biomassa microbiana do solo - NBMS, respiração basal do solo - RBS, quociente metabólico - qCO_2 e quociente microbiano - $qMic$, amostradas na ocasião da semeadura da soja na safra 2018/2019, plantas de cobertura na entressafra 2019, da soja na safra 2019/2020, após a colheita da soja em 2020 e condição hídrica

Causas de variação	-----2018/2019-----					-----2019-----			
	CBMS	NBMS	RBS	qCO_2	$qMic$	CBMS	NBMS	RBS	qCO_2
Tratamento	98,92**	41,02**	8,75*	7,76 ^{ns}	44,78**	103,14**	37,23**	26,10*	18,72*
Condição hídrica	127,27**	13,76*	69,03**	91,18**	53,73**	132,00**	11,84*	21,51*	22,01*
Trat* C.H.	17,59*	1,24 ^{ns}	59,06**	16,09*	11,28*	19,32*	1,04 ^{ns}	8,42 ^{ns}	7,64 ^{ns}
C.V.(%) ¹	7,91	13,80	14,55	18,15	10,96	7,69	14,56	8,82	24,11
C.V.(%) ²	9,75	14,41	34,70	42,02	9,87	9,71	14,89	11,23	19,48
Causas de variação	-----2019/2020-----					-----2020-----			
	CBMS	NBMS	RBS	qCO_2	$qMic$	CBMS	NBMS	RBS	qCO_2
Tratamento	80,82**	28,31*	24,42*	7,89 ^{ns}	83,75**	166,94**	53,14**	10,99*	38,30**
Condição hídrica	98,01**	4,01 ^{ns}	26,64*	52,36**	48,96**	207,05**	12,95*	7,72 ^{ns}	35,29**
Trat* C.H.	12,15*	1,10 ^{ns}	32,76**	7,50 ^{ns}	3,53 ^{ns}	30,70**	3,24 ^{ns}	2,12 ^{ns}	7,07 ^{ns}
C.V.(%) ¹	8,97	17,78	12,86	17,81	10,70	5,74	12,97	13,70	16,86
C.V.(%) ²	8,60	13,37	33,79	36,44	10,24	8,92	13,27	11,85	21,92

** Significativo ao Teste de Tukey a 1% de probabilidade. * Significativo ao Teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns} – Não significativo ao Teste de Tukey. C.H.: Condição hídrica. Trat: Tratamento.

Pelo desdobramento efetuado nas avaliações antecedendo o cultivo da soja nas safras 2018/2019 e 2019/2020, verificou-se que os atributos da biomassa microbiana (C e N) e o coeficiente microbiano foram impactados positivamente, com os maiores valores encontrados, chegando-se a aumento da ordem de 81% no atributo NBMS, no tratamento com a presença de adubos verdes (T4), associado a reposição hídrica, quando se comparada à T1 e T2 (Tabela 5).

No tocante a dinâmica do carbono do solo avaliado pela respiração basal do solo (RBS) e quociente metabólico (qCO_2), verificou-se que na condição de ausência da reposição hídrica os tratamentos T3 e T4, apresentaram maiores valores nesse quesito. Contudo, esse resultado reverte, com maior imobilização de C no solo, quando se tem a reposição hídrica no solo. No segundo ano de safrinha 2019/20, o qCO_2 não apresentou diferença significativa entre o uso de plantas de cobertura (Tabela 5).

TABELA 5 - Carbono da biomassa microbiana do solo – CBMS - $\mu\text{g g}^{-1}$, nitrogênio da biomassa microbiana do solo – NBMS - $\mu\text{g g}^{-1}$, respiração basal do solo – RBS em $\text{mg de C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ solo hora}^{-1}$, quociente metabólico do solo $q\text{CO}_2$ em $\text{mgC-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ BMS} - \text{C h}^{-1}$ e quociente microbiano do solo $q\text{Mic}$ em $\text{mg C-CO}_2 \text{ mg Cmic}^{-1}$ antes da soja na safra 2018/2019 e safra 2019/2020 em função de cultivos anteriores e condição hídrica

-----2018/2019-----									
Tratamentos	CBMS		NBMS	RBS		$q\text{CO}_2$		$q\text{Mic}$	
	Com R.H.	Sequeiro		Com R.H.	Sequeiro	Com R.H.	Sequeiro	Com R.H.	Sequeiro
T1-Milho	72,10 cA	73,94 bA	5,31 b	1,92 abA	2,57 bA	0,026 aA	0,036 aA	0,68 cA	0,76 bA
T2-Braquiária	99,10 bA	58,40 bB	6,94 b	3,07 aA	1,79 bB	0,031 aA	0,031 aA	0,98 bcA	0,57 bB
T3-Milho e Braç	130,53 aA	79,98 bB	6,14 b	1,24 bB	2,69 bA	0,009 bB	0,035 aA	1,23 abA	0,77 abB
T4-A.V. e Braç	148,54 aA	115,27 aB	10,43 a	1,21 bB	4,44 aA	0,008 bB	0,038 aA	1,40 aA	1,12 aB
Média.	97,23		7,21	2,37		0,027		0,94	
-----2019/2020-----									
Tratamentos	CBMS		NBMS	RBS		$q\text{CO}_2$	$q\text{Mic}$		
	Com R.H.	Sequeiro		Com R.H.	Sequeiro				
T1-Milho	82,29 bA	81,89 bA	5,78 b	1,94 bA	2,35 bA	0,026		0,76 c	
T2-Braquiária	110,68 bA	66,01 bB	6,84 ab	3,11 aA	2,03 bB	0,028		0,78 c	
T3-Milho e Braç	148,34 aA	91,23 bB	6,11 ab	1,50 bB	2,47 bA	0,019		1,07 b	
T4-A.V. e Braç	168,27 aA	132,12 aB	10,51 a	2,22 abB	4,25 aA	0,022		1,53 a	
Média	110,10		7,80	2,48		0,024		1,04	

Médias seguidas de mesma letra maiúscula indica a comparação entre o uso da reposição hídrica, minúsculas indicam que não houve diferenças entre plantas de cobertura; ns – não diferem significativamente pelo teste Tukey (5%). Com R.H.= Com a utilização da reposição hídrica.

Verificou-se que após o cultivo da soja a atividade microbiana apresentou no quesito de acúmulo de C e N na biomassa maior resposta quando se teve a presença de espécies leguminosas na entressafra da soja, condição do tratamento T4. Quando utilizada a reposição de água, T3 e T4, foram superiores à T1 e T2. Destaca-se que no atributo de N microbiano (NBMS) foi superior aproximadamente, cerca de 50% em T4, em relação aos demais tratamentos nos dois anos após a soja (Tabela 6).

Na avaliação da respiração do solo (RBS) verificou-se que os valores encontrados foram superiores no tratamento T1, em relação à T3 e T4. Já no segundo ano (2020) esse efeito de aumento da respiração repetiu-se com valores superiores em T4 (Tabela 5). Destaca-se que o qCO_2 nos dois anos avaliados indicou que o tratamento T4 foi o mais baixo (redução de 50%) comparando-se com T1 ou T2.

TABELA 6 - Carbono da biomassa microbiana do solo – CBMS - $\mu\text{g g}^{-1}$, nitrogênio da biomassa microbiana do solo – NBMS - $\mu\text{g g}^{-1}$, respiração basal do solo – RBS em $\text{mg de C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ solo hora}^{-1}$ e quociente metabólico do solo $q\text{CO}_2$ em $\text{mgC-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ BMS} - \text{C h}^{-1}$ amostradas na ocasião da semeadura das plantas de cobertura na entressafra 2019, após a colheita da soja em 2020 em função de cultivos anteriores e condição hídrica

-----2019-----					
Tratamentos	CBMS		NBMS	RBS	$q\text{CO}_2$
	Com R.H.	Sequeiro			
T1-Milho	70,07 cA	81,15 bA	5,82 b	7,75 a	0,100 a
T2-Braquiária	107,32 bA	63,24 bB	7,59 b	6,16 b	0,081 a
T3-Milho e Braç	141,35 aA	86,61 bB	6,61 b	6,42 ab	0,062 ab
T4-A.V. e Braç	160,85 aA	124,81 aB	11,39 a	5,28 b	0,038 b
Média		105,43	7,85	6,41	0,070
-----2020-----					
	CBMS		NBMS	RBS	$q\text{CO}_2$
	Com R.H.	Sequeiro			
T1-Milho	89,94 cA	92,72 bA	6,26 b	7,16 a	0,079 a
T2-Braquiária	123,45 bA	82,70 bB	7,97 b	5,69 ab	0,058 ab
T3-Milho e Braç	162,68 aA	100,22 bB	7,13 b	5,80 ab	0,049 bc
T4-A.V. e Braç	184,27 aA	141,98 aB	12,63 a	4,87 b	0,031 c
Média		122,25	8,50	5,88	0,054

Médias seguidas de mesma letra maiúscula indica a comparação entre o uso da reposição hídrica, minúsculas indicam que não houve diferenças entre plantas de cobertura; ns – não diferem significativamente pelo teste Tukey (5%). Com R.H.= Com a utilização da reposição hídrica.

O desempenho da atividade enzimática no solo, efetivados dois anos de cultivos, antes e depois do cultivo da soja, verificou-se que houve efeito dos tratamentos na maioria dos quesitos avaliados, com exceção da avaliação inicial em 2018 (Tabela 7). A reposição hídrica também propiciou diferença significativa na maioria dos quesitos, com exceção na avaliação final. Por outro lado, ocorreu interação apenas em 2019 na avaliação da desidrogenase.

TABELA 7 - Atividade da enzima desidrogenase, arilsulfatase, fosfatase ácida, β glucosidase e hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA), amostradas na ocasião da semeadura da soja na safra 2018/2019, plantas de cobertura na entressafra 2019, da soja na safra 2019/2020, após a colheita da soja em 2020, em função de cultivos anteriores e condição hídrica

	-----2018/2019-----					-----2019-----				
Causas de variação	Desidro.	Arilsulf.	Fosf.ác	β glucos.	FDA	Desidro.	Arilsulf.	Fosf.ác	β glucos.	FDA
Tratamento	5,76 ^{ns}	73,78 ^{**}	4,25 ^{ns}	69,20 ^{**}	3,06 ^{ns}	391,37 ^{**}	21,14 [*]	3,15 ^{ns}	37,90 ^{**}	9,63 [*]
Condição hídrica	17,36 [*]	16,72 [*]	1,64 ^{ns}	50,87 ^{**}	21,95 [*]	98,71 ^{**}	15,15 [*]	0,27 ^{ns}	16,21 [*]	1,18 ^{ns}
Trat* C.H.	1,10 ^{ns}	8,49 ^{ns}	1,10 ^{ns}	1,96 ^{ns}	2,07 ^{ns}	30,19 ^{**}	0,77 ^{ns}	0,53 ^{ns}	2,52 ^{ns}	2,46 ^{ns}
C.V.(%) ¹	22,60	5,72	7,96	9,80	14,38	4,49	16,12	15,74	10,23	13,84
C.V.(%) ²	19,44	7,72	10,08	12,59	10,54	8,91	10,77	16,24	10,55	6,24
	-----2019/2020-----					-----2020-----				
Causas de variação	Desidro.	Arilsulf.	Fosf.ác	β glucos.	FDA	Desidro.	Arilsulf.	Fosf.ác	β glucos.	FDA
Tratamento	8,35 [*]	43,59 ^{**}	12,07 [*]	38,24 ^{**}	3,47 ^{ns}	14,40 [*]	35,27 ^{**}	3,52 ^{ns}	38,64 ^{**}	10,91 [*]
Condição hídrica	21,85 [*]	9,66 ^{ns}	13,34 [*]	27,34 ^{**}	23,51 ^{ns}	6,87 ^{ns}	17,98 [*]	0,13 ^{ns}	16,92 [*]	2,81 ^{ns}
Trat* C.H.	2,37 ^{ns}	5,85 ^{ns}	5,16 ^{ns}	1,85 ^{ns}	2,14 ^{ns}	2,16 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,50 ^{ns}	2,66 ^{ns}	2,17 ^{ns}
C.V.(%) ¹	16,79	7,39	4,88	12,76	13,97	19,85	11,68	14,32	10,22	13,96
C.V.(%) ²	20,30	7,93	9,16	11,65	10,62	12,67	8,01	14,41	10,50	7,35

** Significativo ao Teste de Tukey a 1% de probabilidade. * Significativo ao Teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns} – Não significativo ao Teste de Tukey. C.H.: Condição hídrica. Trat: Tratamento.

Na primeira avaliação da atividade enzimática do solo em 2018, antes do cultivo da soja, os valores da atividade da arilsulfatase nos tratamentos T2 e T4 foram superiores aos demais tratamentos. Enquanto que a atividade da β glucosidase foi superior no tratamento T4 em relação aos demais tratamentos, dobrando a sua atividade se comparada à T1 (Tabela 8).

No segundo ano de avaliação antecedendo o cultivo da soja em 2019/20, também foram encontrados aumento da atividade da desidrogenase e fosfatase ácida, no tratamento com adubos verdes (T4) em relação à área cultivada com milho na entressafra (T1). Já a atividade da arilsulfatase e β glicosidase foi maior no tratamento T4 comparando-se com os cultivos solteiros de milho e braquiária (T1 e T3).

TABELA 8 - Atividade da enzima desidrogenase $\text{mg TTF g}^{-1} \text{ solo}^{-1} 24\text{h}^{-1}$, arilsulfatase $-\mu\text{g p- nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$, fosfatase ácida (ρ -nitrofenol liberado) $\mu\text{g g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ solo, β glucosidase $-\mu\text{g p- nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ e hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA) $\mu\text{g hidrolisada } 5\text{g}^{-1}$ no solo, amostradas na ocasião da semeadura da soja na safra 2018/2019, e da soja na safra 2019/2020 em função de cultivos anteriores e de condição hídrica.

-----2018/2019-----					
Tratamentos	Desidro.	Arilsulf.	Fosf.ác	β glucos.	FDA
T1-Milho	3,96	85,37 c	279,50	120,37 c	79,25
T2-Braquiária	4,62	124,50 a	290,25	168,62 b	94,37
T3-Milho e Braq	5,18	101,75 b	295,00	180,37 b	94,75
T4-A.V. e Braq	5,89	123,87 a	320,12	245,50 a	96,87
Média	4,84	108,87	296,28	178,71	91,31
-----2019/2020-----					
	Desidro.	Arilsulf.	Fosf.ác	β glucos.	FDA
T1-Milho	4,78 b	104,17 b	271,04 b	113,95 b	95,52
T2-Braquiária	5,90 ab	151,89 a	297,19 ab	154,22 b	114,76
T3-Milho e Braq	6,20 ab	123,01 b	288,22 ab	164,08 b	114,53
T4-A.V e Braq	7,30 a	149,60 a	313,04 a	224,83 a	117,72
Média	6,04	132,17	292,37	164,27	110,64

Médias seguidas de mesma indicam que não houve diferenças entre plantas de cobertura pelo teste Tukey (5%)

As avaliações das atividades enzimáticas após a colheita da soja em 2019 revelaram que a atividade da desidrogenase aumentou no tratamento T4 proporcionando diferença todos os outros com ou sem reposição hídrica. O tratamento T3 também diferenciou do T1 nesse quesito. Na média dos sistemas as atividades das enzimas arilsulfatase e β glucosidase mantiveram-se superiores em T4 em relação à T1 e T2.

Já última avaliação da atividade microbiana no solo em 2020, os valores das atividades enzimáticas da desidrogenase, arilsulfatase e β glucosidase e FDA se comportaram de forma semelhante, sendo favorecidos pelo cultivo de T4 em relação à T1 comparando-se o cultivo na entressafra da soja (Tabela 9).

TABELA 9 - Atividade da enzima desidrogenase mg TTF g⁻¹ solo⁻¹ 24h⁻¹, arilsulfatase -µg p- nitrofenol g⁻¹ solo h⁻¹, fosfatase ácida (p-nitrofenol liberado) µg g⁻¹ h⁻¹ solo, β glucosidase -µg p- nitrofenol g⁻¹ solo h⁻¹ e hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA) µg hidrolisada 5g⁻¹ no solo, amostradas na ocasião da semeadura das plantas de cobertura na entressafra 2019, após a colheita da soja em 2020 em função de cultivos anteriores e condição hídrica

-----2019-----						
Tratamento	Desidro.		Arilsulf.	Fosf.ác	β glucos.	FDA
	Com R.H.	Sequeiro				
T1-Milho	4,34 cA	3,62 cB	51,60 b	224,27	189,91 c	50,44 b
T2-Braquiária	4,55 cA	4,98 bA	63,45 b	266,67	226,60 bc	54,97 ab
T3-Milho e Braq	7,12 bA	5,28 bB	78,57 ab	242,06	259,87 ab	61,18 ab
T4-A.V. e Braq	8,84 aA	7,34 aB	95,32 a	280,30	320,62 a	71,31 a
Média	5,76		72,24	253,33	249,25	59,47
-----2020-----						
	Desidro.		Arilsulf.	Fosf.ác	β glucos.	FDA
T1-Milho	4,73 b		57,38 c	207,34	227,41 c	55,11 b
T2-Braquiária	5,87 ab		65,52 bc	242,49	271,32 bc	60,21 ab
T3-Milho e Braq	6,86 ab		85,78 ab	223,89	311,87 ab	66,66 ab
T4-A.V. e Braq	8,87 a		98,74 a	258,33	385,41 a	79,80 a
Média	6,58		76,86	233,01	299,00	65,45

Médias seguidas de mesma letra maiúscula indica a comparação entre o uso da reposição hídrica, minúsculas indicam que não houve diferenças entre plantas de cobertura; ns – não diferem significativamente pelo teste Tukey (5%). Com R.H.= Com a utilização da reposição hídrica.

É sabido que o manejo efetuado em sistemas de produção agrícola influencia nas atividades microbianas do solo, principalmente no quesito de atividade enzimática, sendo reconhecidas como indicadores sensíveis das mudanças do manejo (MOGHIMIAN et al., 2017).

O uso de leguminosas em manejos consorciados, resultam em melhorias nas atividades dentro da propriedade biológica do solo como o que foi encontrado principalmente na avaliação da biomassa microbiana, no presente estudo, detectando-se incrementos da ordem de 80% quando se comparou ao cultivo do milho solteiro após a soja, ficando o solo sob pousio por alguns meses durante o ano. Isto reforça o que foi relatado por Araujo et al. (2019) que evidenciaram que o uso de

espécies leguminosas eleva a biomassa microbiana a níveis próximos de áreas em condição natural, sem a intervenção antrópica.

Somenahally et al. (2018), também observaram que o cultivo com leguminosas é eficaz em aumentar a biomassa microbiana e a interação das plantas com micorrizas, proporcionando maior crescimento do sistema radicular, das culturas cultivadas em sua sucessão. Os valores médios do incremento de biomassa microbiana nas quatro avaliações com a utilização da reposição hídrica foram de aproximadamente 52% comparado a sua não utilização.

Assim como o evidenciado por Xue et al. (2017), que verificaram que os teores desse atributo são 50% menores em solos mantidos sem reposição hídrica, em relação a sua utilização, demonstrando a importância da água para a atividade microbiológica do solo.

No Brasil cerca de 15 milhões de hectares são cultivados com milho safrinha (CONAB, 2021), destas áreas, grande percentual é cultivado com a cultura de forma solteira, sem a realização de consórcios com outras plantas de cobertura, como no caso da braquiária.

Solos arenosos, como frequentemente encontrado no oeste paulista, normalmente, apresentam baixos teores de matéria orgânica e com isso, baixo aporte de nitrogênio no sistema, por isso é importante o manejo de plantas que possibilitem o aumento da atividade microbiológica, favorecendo a compartimentalização do nitrogênio na biomassa microbiana do solo (MAZZUCHELLI et al., 2020).

Ao contrário do carbono na biomassa microbiana o nitrogênio não foi influenciado pela reposição hídrica aplicada nesse estudo, de forma semelhante, Wang et al. (2007) também não verificou influência da irrigação no compartimento de nitrogênio microbiano no cultivo do tomateiro. Entretanto, o uso das leguminosas na forma de adubo verde nesse estudo proporcionou aumentos da ordem de 50% no compartimento de nitrogênio dentro da biomassa microbiana, mostrando com isto um resultado interessante e muito importante para sistemas mais frágeis como os encontrados na situação de cultivo em solos arenosos.

A utilização de plantas leguminosas, fixadoras de nitrogênio nos sistemas agrícolas é fundamental para manter a biodiversidade, e a manutenção do agroecossistema de forma sustentável, garantindo aporte do elemento. Tais entradas, de nitrogênio via fixação biológica exercem efeitos benéficos para a microbiota do solo (CHEN et al., 2019; BOLAT, 2019).

A presença de leguminosas aumenta a mineralização bruta de N, o consumo de NH_4^+ microbiano e as taxas de imobilização de N inorgânico, devido ao melhor suprimento do elemento pelo processo de FBN (LAMA et al., 2020). Os efeitos positivos desse estudo para o cultivo de soja, podem ser atribuídos ao aumento da rizodeposição, estimulando o crescimento microbiano.

A respiração basal do solo representa uma forma principal de saída de carbono no solo (BURCEA, 2018). Em solos arenosos, com baixos teores de matéria orgânica, devemos priorizar manejos que promovam menor perda de carbono e o aporte constante de carbono, como na rizodeposição, principal forma de introdução de carbono no solo. No presente estudo, em áreas com reposição hídrica, observa-se menores valores de respiração basal do solo nas áreas cultivadas com as leguminosas, possivelmente por terem um ambiente mais estável e eficiente na respiração da comunidade microbiana em relação ao tratamento conduzido com milho solteiro.

Por outro lado, Araujo Neto et al. (2014), avaliando o desempenho de plantas de cobertura ao longo do ano, constataram que em condições de oxigenação e umidade do solo adequadas, a crotalária potencializou a atividade microbiana, juntamente com o feijão guandu, estimulando a elevação da respiração basal do solo.

Valores elevados do quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) indicam condições de alta atividade metabólica na comunidade microbiana, os tratamentos apenas com milho ou braquiária solteiros após a soja, proporcionaram elevação do $q\text{CO}_2$, ou seja, a comunidade microbiana poderia estar usando mais energia para manter os processos metabólicos sem aumento da sua biomassa. Araujo et al. (2019), também verificaram altos índices de quociente metabólico em sistema com monocultivo de milho.

O maior $q\text{CO}_2$ pode refletir na redução do coeficiente microbiano do solo ($q\text{Mic}$), o que foi verificado de forma significativa, no tratamento apenas com milho, na avaliação antes do cultivo da soja em 2019. Consequentemente, é importante tratamentos que possibilitem menores valores de $q\text{CO}_2$, pois, proporciona maior eficiência dos microrganismos em utilizar o carbono, conferindo um maior aporte do elemento no solo, resultando em menores perdas para a atmosfera (PIRES et al., 2020).

Em solos arenosos, busca-se que comunidade microbiana possa manter os níveis metabólicos em equilíbrio com a sua biomassa promovendo aumento nos

teores de matéria orgânica e q_{Mic} no solo, contribuindo para o desenvolvimento de uma agricultura sustentável.

Os aumentos da atividade enzimática encontrados de forma geral nesse estudo (Tabela 8) confirmam a importância de priorizar as melhorias no ambiente solo, principalmente no quesito da umidade e rizodeposição. Sabe-se que a atividade enzimática do solo está diretamente relacionada com sua funcionalidade para o ecossistema (SILVA et al., 2021), e que a mesma responde rapidamente às mudanças nas intervenções de manejo do solo do que outras variáveis do solo (AMOAKWAH, 2021).

A atividade enzimática, além de ser um fator sensível à essas alterações, passa a funcionar nos processos de elucidação microbiológica, como “impressões digitais biológicas” (BANDYOPADHYAY; MAITI, 2021). No presente estudo, o aumento na atividade da desidrogenase, arilsulfatase e β glicosidase acompanharam o aumento da biomassa microbiana, indicando que o manejo com leguminosas, consideradas adubos verdes, favoreceu a microbiota e ampliou o metabolismo em relação ao cultivo apenas com milho após a soja.

Aponte et al. (2020) observaram que as atividades da desidrogenase e arilsulfatase são fortemente correlacionadas com a biomassa microbiana dos solos, sendo enzimas sensíveis ao manejo realizado. Como o observado neste estudo, Awet et al. (2018) constataram que o aumento na atividade da β glicosidase, contribuiu para o aumento na concentração de diversos grupos microbianos no solo. A atividade da β glicosidase resultou em incrementos na ordem de 81% no sistema com braquiária e adubo verde, em relação ao sistema apenas com milho após a soja.

Muzangwa et al. (2019) observaram melhorias nos parâmetros biológicos do solo, como a elevação da atividade da FDA, e fosfatase ácida, com a adoção de rotação de leguminosas nos sistemas de plantio direto, em oposição ao cultivo de milho solteiro, indicando que a utilização dessas espécies constitui como potencial para a saúde do solo e melhoria da qualidade do solo.

Os resultados obtidos no presente estudo, mostraram poucas alterações na atividade da fosfatase, mas houve aumento da atividade da FDA, principalmente após o cultivo da soja nos tratamentos com cultivos que ficaram durante os meses de inverno. Laroca et al. (2018) avaliando espécies de cobertura consorciadas ou não, observaram incrementos significativos do consórcio entre gramíneas e leguminosas

no aumento dos teores de biomassa microbiana no solo, entretanto, constataram que a atividade da fosfatase ácida foram indicadores pouco sensíveis ao manejo adotado.

Assim como encontrado no aumento na biomassa microbiana a atividade da desidrogenase na avaliação final do estudo em 2020 expressou aumento com a reposição hídrica efetuada ao longo do experimento (Tabela 9).

Edesi et al. (2020) também verificaram maior atividade da desidrogenase nos períodos de maior disponibilidade hídrica e também sob a adição de água ao sistema, já que a redução da umidade do solo, apresenta efeitos negativos sobre a população microbiana em atividade.

A região do Oeste Paulista, apresenta solos arenosos, fortemente marcados por processos erosivos, com baixo aporte de matéria orgânica, baixo suporte animal e de fertilidade (ZANATTA et al., 2017). Aliado a isso, outro problema significativo para os produtores são os veranicos e estiagem, que diminuem o potencial produtivo e provoca efeitos deletérios sobre a microbiota do solo (SEIBERT; BORSOI, 2020). Desta forma, ações positivas com a introdução de umidade ao solo como efetuada neste estudo são muito importantes para manutenção de atividade na microbiota do solo.

Os teores de nutrientes foliares na soja, nas safras 2018/19 e 2019/20 não diferiram entre si, em função dos tratamentos e regime de reposição hídrica, com exceção do magnésio (Mg) para o segundo ano de cultivo (Tabela 10).

A ausência de respostas significativas a curto prazo, detectadas no presente trabalho, corroboram com o trabalho de Acharya et al. (2019), que constataram influência na nutrição foliar da soja, no manejo de plantas de cobertura cultivadas em solo arenoso, apenas no terceiro cultivo das mesmas. Tanaka et al. (2019) avaliando a utilização de *Urochloa* antes da semeadura da soja, constataram que sua utilização aumentou os conteúdos de macronutrientes foliares apenas quando houve a aplicação de fertilizante nitrogenado em cobertura.

Para a cultura da soja, Malavolta (2006) estabeleceu faixas de suficiência para os nutrientes N (55–58g kg⁻¹), P (4–5 g kg⁻¹), K (22–25 g kg⁻¹), Ca (9-10 g kg⁻¹), Mg (3,5–4,0 g kg⁻¹), S (2,5–3,5 g kg⁻¹). No presente estudo verificou-se que no primeiro ano a soja apresentou, na média, suficiência apenas nos teores de cálcio e magnésio.

Contudo, o nitrogênio (N) e fósforo (P), alcançaram os níveis de suficiência no segundo ano de cultivo, já que se tratando de um solo arenoso, com menor atividade microbiológica e menor quantidade de matéria orgânica, é através da melhoria desses

atributos, com o manejo do solo e plantas, que podemos contribuir para a melhoria dos rendimentos das culturas (MAZZUCHELLI et al., 2020).

Pode também ser ressaltado que o N e P são elementos com forte interação com a atividade microbiana no solo pela fixação biológica e solubilização, respectivamente. O que não é o caso do potássio onde a maior atividade biológica pode aumentar sua solubilidade na maioria dos casos em solos argilosos com presença de argilas do tipo 2:1 (MEDEIROS et al. 2014).

TABELA 10 - Teores de nutrientes foliares para a cultura da soja, coletadas em pleno florescimento (R2) nas safras 2018/19 e 2019/20 em função de plantas de cultivos anteriores e condição hídrica

-----2018/2019-----						
F.V.	N	P	K	Ca	Mg	S
-----g Kg ⁻¹ -----						
Tratamento	0,15 ^{ns}	0,62 ^{ns}	0,04 ^{ns}	9,38 ^{ns}	7,25 ^{ns}	0,51 ^{ns}
Cond Hídrica	1,76 ^{ns}	1,98 ^{ns}	0,05 ^{ns}	6,84 ^{ns}	9,28 ^{ns}	0,11 ^{ns}
Trat* C.H.	0,26 ^{ns}	0,89 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,99 ^{ns}	3,43 ^{ns}	0,26 ^{ns}
C.V.(%) ¹	10,21	4,57	78,49	7,97	6,73	18,84
C.V.(%) ²	5,23	5,04	28,69	18,76	14,55	14,39
Média	38,42	2,22	6,16	17,72	4,31	1,94
-----2019/2020-----						
Tratamento	0,02 ^{ns}	1,43 ^{ns}	0,68 ^{ns}	1,70 ^{ns}	11,45*	0,36 ^{ns}
Cond Hídrica	0,21 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,49 ^{ns}	1,82 ^{ns}	11,38*	1,95 ^{ns}
Trat* C.H.	0,32 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,07 ^{ns}	2,08 ^{ns}	0,29 ^{ns}
C.V.(%) ¹	15,90	9,74	48,78	21,95	4,65	10,86
C.V.(%) ²	7,66	6,70	20,64	15,73	14,44	6,44
Média	62,90	4,10	12,65	8,40	4,61	2,79

* Significativo ao Teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns} – Não significativo ao Teste de Tukey. Cond Hídrica: Condição hídrica. C.H: Condição hídrica. Trat: Tratamento.

Os teores de magnésio foliar na cultura da soja safra 2019/20 foram superiores no tratamento da braquiária com o milho em relação ao consórcio com leguminosas (T4) (Tabela 11). Isto pode ser devido a maior extração pelas leguminosas no cultivo outono-inverno. Mas, mesmo sendo inferior, nesse tratamento, os valores de magnésio encontrados na soja foram considerados adequados para o cultivo da soja (MALAVOLTA, 2006; CASTRO et al., 2020). Também se verificou que a soja sob sequeiro, apresentou maiores teores de magnésio em relação à área conduzida com a reposição de água periodicamente (Tabela 12).

TABELA 11 - Análise foliar soja 2019/20 para o nutriente magnésio -Mg- (g Kg⁻¹) em função de cultivos anteriores e condição hídrica

Tratamento	Magnésio (Mg)
T1-Milho	4,48 ab
T2-Braquiária	4,51 ab
T3-Milho e Braq	5,00 a
T4-A.V. e Braq	4,46 b
D.M.S.	0,075
Com reposição hídrica	4,48 b
Sequeiro	4,74 a
D.M.S.	0,053

Médias seguidas de mesma letra minúscula indica a comparação entre o uso de plantas de cobertura e ns- não diferem significativamente pelo teste Tukey (5%).

TABELA 12 - Análise foliar soja safra 2019/2020 para magnésio -Mg- (g Kg⁻¹) em função de cultivos anteriores e condição hídrica

Condição hídrica	Magnésio (Mg)
Com reposição hídrica	4,48 b
Sequeiro	4,74 a
D.M.S.	0,053

Médias seguidas de mesma letra minúscula indica a comparação entre o esquema de reposição hídrica e ns- não diferem significativamente pelo teste Tukey (5%).

No cultivo da soja na safra 2018/19 verificou-se efeito significativo dos tratamentos sobre o número de nódulos nas plantas, sendo que no ano seguinte todos os atributos de nodulação avaliados apresentaram efeito significativo com tratamentos. A reposição hídrica e também a interação dos fatores não apresentaram efeitos significativos (Tabela 13).

Nos dois anos avaliados o incremento de nodulação na raiz principal da soja no tratamento com braquiária e adubos verdes (T4), foi da ordem de mais de três vezes, em relação aos demais tratamentos. Também ocorreu aumento de duas vezes na nodulação nas raízes laterais (Tabela 14).

TABELA 13 – Componentes da nodulação da soja nas safras 2018/19 e 2019/20. Número de nódulos da raiz principal (NNRP); Massa de nódulos da raiz principal (MNRP) em gramas; Número de nódulos na raiz lateral (NNRL); Massa de nódulos na raiz lateral (MNRL) em gramas aos 50 dias após a emergência, em função de cultivos anteriores e condição hídrica

----- 2018/2019 -----				
Causas de variação	NNRP	MNRP	NNRL	MNRL
Tratamento	216,34**	9,03 ^{ns}	11,26*	13,63*
Cond Hídrica	2,60 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,96 ^{ns}
Trat* C.H.	2,17 ^{ns}	0,84 ^{ns}	0,31 ^{ns}	1,90 ^{ns}
C.V.(%) ¹	15,10	45,25	36,03	19,02
C.V.(%) ²	38,65	37,84	19,47	13,03
Média	3,55	0,065	33,49	0,180
----- 2019/2020 -----				
Causas de variação	NNRP	MNRP	NNRL	MNRL
Tratamento	309,36**	15,82*	18,36*	29,78**
Cond Hídrica	0,78 ^{ns}	0,86 ^{ns}	1,70 ^{ns}	0,39 ^{ns}
Trat* C.H.	3,28 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,88 ^{ns}	2,22 ^{ns}
C.V.(%) ¹	12,32	38,74	19,16	8,47
C.V.(%) ²	35,67	45,61	11,18	12,15
Média	7,13	0,087	53,09	0,250

** Significativo ao Teste Tukey a 1% de probabilidade. * Significativo ao Teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns} – Não significativo ao Teste de Tukey.
Cond Hídrica: Condição hídrica. C.H.: Condição hídrica. Trat: Tratamento.

TABELA 14 - Componentes da nodulação da soja nas safras 2018/19 e 2019/20. Número de nódulos da raiz principal (NNRP); Massa de nódulos da raiz principal (MNRP) em gramas; Número de nódulos na raiz lateral (NNRL); Massa de nódulos na raiz lateral (MNRL) em gramas aos 50 dias após a emergência, em função de cultivos anteriores e condição hídrica

----- 2018/2019 -----				
Tratamentos	NNRP	MNRP	NNRL	MNRL
T1-Milho	2,21 b	0,057	25,67 ab	0,142 b
T2-Braquiária	2,13 b	0,050	21,91 b	0,165 ab
T3-Milho e Braq	2,12 b	0,041	32,47 ab	0,168 ab
T4-A.V. e Braq	7,73 a	0,111	53,96 a	0,244 a
Média	3,55	0,065	33,49	0,180
----- 2019/2020 -----				
	NNRP	MNRP	NNRL	MNRL
T1-Milho	4,27 b	0,062 b	40,38 b	0,222 b
T2-Braquiária	4,33 b	0,086 ab	44,21 b	0,238 b
T3-Milho e Braq	4,58 b	0,046 b	52,96 ab	0,230 b
T4-A.V. e Braq	15,32 a	0,154 a	74,82 a	0,311 a
Média	7,13	0,087	53,09	0,250

Médias seguidas de mesma letra minúscula indica a comparação entre o cultivo de plantas de cobertura e ns- não diferem significativamente pelo teste Tukey (1 e 5%)

Para fornecimento de quantidades adequadas de nitrogênio para o cultivo da soja, é importante que ocorra uma boa nodulação da planta, destacando-se os nódulos na raiz principal que são formados mais precocemente.

Esse componente de avaliação radicular na soja foi superior com a utilização de leguminosas na entressafra, indicando que este manejo no sistema pode proporcionar maior fixação de N e conseqüentemente em maiores rendimentos da soja. Assim como evidenciado por Moretti et al. (2018), que constataram que o aumento na nodulação resulta diretamente em aumento no rendimento de grãos da soja, conseqüentemente, cultivos de plantas que possam estimular a maior nodulação da leguminosa, são importantes mecanismos para a elevação da produtividade.

É importante ressaltar que o sistema de semeadura direta contribuí de forma significativa no aumento dos microrganismos que realizam o processo de fixação biológica de nitrogênio - FBN, e que leguminosas como plantas de cobertura proporcionam maior nodulação para o cultivo subsequente da soja (TYLER, 2021).

Ao introduzir espécies leguminosas em consórcio com plantas gramíneas, possibilita a melhoria da fertilidade do solo, através da adição de nitrogênio ao sistema, principalmente em solos arenosos, naturalmente ácidos, com menores índices de fertilidade. Juntamente há também o fornecimento de palhada em quantidade e qualidade, a fim de promover a proteção do solo, além das espécies gramíneas apresentarem crescimento radicular vigoroso no perfil do solo (VICENT-CABOUD et al., 2019).

Conseqüentemente, é de suma importância o planejamento das espécies cultivadas, que proporcionem atenuação de fatores edafoclimáticos adversos e participem na quebra do ciclo de pragas e doenças, além de estimular a fixação biológica de nitrogênio e visando o aporte desse elemento no sistema (GULWA; MGUJULWA; BEYENE, 2018).

Segundo Wang e Gao (2020), o consórcio de espécies leguminosas e gramíneas, pode promover a fixação simbiótica de nitrogênio principalmente devido à depleção de nitrogênio da rizosfera pela gramínea e que o nitrogênio mineral do solo é mais absorvido pelas gramíneas do que pelas leguminosas. Obrigando a leguminosa a aumentar sua dependência da fixação simbiótica de nitrogênio, por isso, o cultivo de espécies leguminosas anteriores ao cultivo da soja, pode proporcionar melhorias do processo de FBN e produtividade dessa commodity.

Com cultivo de espécies leguminosas na entressafra da soja, a FBN do cultivo subsequente poderá ser beneficiada, pela melhoria dos atributos biológicos do solo e melhores condições para a ativação dos mecanismos de fixação requeridos pelos rizóbios, se tratando de sítios de atuação semelhantes, proporcionando incrementos de sua atuação no processo simbiótico (SIBI et al., 2019; WANG; GAO 2020; DU et al., 2020).

Verificou-se efeitos significativos apenas dos tratamentos sobre o rendimento da soja nos dois anos avaliados (Tabela 15). Também se observou que o efeito foi maior no segundo ano pelo aumento do valor de F encontrado na análise de variância na safra 2019/2020.

TABELA 15 - Rendimento da soja (Mg ha⁻¹) safras 2018/19 e 2019/20 em função de cultivos anteriores e condição hídrica

F.V.	Produtividade soja	
	2018/2019	2019/2020
Tratamento	75,17**	763,65**
Cond Hídrica	0,52 ^{ns}	0,29 ^{ns}
Trat* C.H.	2,04 ^{ns}	0,91 ^{ns}
C.V.(%) ¹	5,83	1,93
C.V.(%) ²	8,16	4,00

** Significativo ao Teste Tukey a 1% de probabilidade. * Significativo ao Teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns} – Não significativo ao Teste de Tukey. Cond Hídrica: Condição hídrica. C.H.: Condição hídrica. Trat: Tratamento.

Na avaliação de rendimento da soja verificou-se que os tratamentos baseados em consórcios com a braquiária na entressafra proporcionaram aumentos significativos quando comparados ao cultivo apenas com milho nos dois anos avaliados (tabela 16). Contudo, pode ser destacado que o consorcio da braquiária com adubo verde (T4) obteve o melhor desempenho, nos dois anos avaliados, com aumento da ordem de 35% a 48% no rendimento da soja.

O cultivo de milho com braquiária (T3) veio em seguida, sendo o responsável pelo incremento na produção de grãos na soja na safra 2019/20 em relação aos

cultivos apenas com milho ou braquiárias solteiros, com ganhos significativos de 26 e 30%, respectivamente (Tabela 16).

TABELA 16 - Produtividade soja (Mg ha⁻¹) 2018/19 e 2019/20 em função de cultivos anteriores e condição hídrica

Tratamento	Produtividade	
	2018/2019	2019/2020
T1-Milho	1,48 b	1,58 c
T2-Braquiária	1,35 b	1,63 c
T3-Milho e Braç	1,79 a	2,06 b
T4-A.V. e Braç	2,01 a	2,28 a
Média	1,66	1,88

Médias seguidas de mesma letra minúscula indica a comparação entre o cultivo de plantas de cobertura e ns- não diferem significativamente pelo teste Tukey (1 e 5%).

O uso de adubos verdes antecessores ao cultivo da soja, pode promover melhorias da qualidade do solo, resultando em maior potencial de produção. Da mesma forma, Acharya et al. (2019) avaliando plantas de cobertura anteriores ao cultivo da soja, constataram que o uso de leguminosas (ervilhaca) possibilitou maior produção da soja, quando comparada ao uso de gramíneas (trigo).

Laroca et al. (2018) constataram que a melhoria dos atributos de qualidade do solo, proporcionada pela inserção de leguminosas em consórcio, refletindo em aumento da produtividade da soja. Da mesma forma que o obtido no presente estudo, o uso do consórcio das leguminosas proporcionou aumento médio de 40% em relação ao cultivo solteiro de gramíneas. O benefício do consórcio de leguminosas e gramíneas, em cultivo anterior a soja, é benéfico para o aumento do rendimento da cultura, em respostas principalmente às melhorias da qualidade biológica e bioquímicas do solo (MORAES et al., 2021; MIGUEL et al., 2018).

A utilização da reposição hídrica, não apresentou diferenças significativas nos parâmetros avaliados na soja. Sabe-se, que a região do Oeste Paulista, historicamente possui precipitação de 1500mm ao longo do ano, mas é caracterizada

por períodos de veranico e estiagem, desfavorecendo a obtenção de altas produtividades para algumas culturas (BASSANEZI et al., 2021).

Pela análise de correlação efetuada no final do experimento verificou-se que dentre os atributos microbianos apenas a fosfatase não correlacionou com a produtividade, entretanto a respiração do solo e o quociente metabólico (qCO_2) correlacionaram inversamente proporcionais com a produtividade da soja, denotando que solos com altas taxas de respiração e/ou com elevados índices de qCO_2 podem ser indicativos de solos com algum tipo de perturbação na comunidade microbiológica, e com isto, houveram reflexos diretos na menor produtividade (Figura 4). Para todos os demais parâmetros microbiológicos avaliados houve correlação positiva com a produtividade da soja, indicando que os parâmetros avaliados são sensíveis indicadores de qualidade do solo, ou seja, onde houve melhor aproveitamento de recursos e interação com a comunidade microbiológica do solo, favorecendo a manutenção de altas produtividades com a microbiota do solo mais desenvolvida/estabelecida. Também ocorreu este mesmo perfil de correlação no tocante a nodulação da soja, denotando que a maioria dos atributos microbianos interagem positivamente com esta variável. Observa-se também que não houve correlação dos teores de nutrientes foliares avaliados com o rendimento da soja.

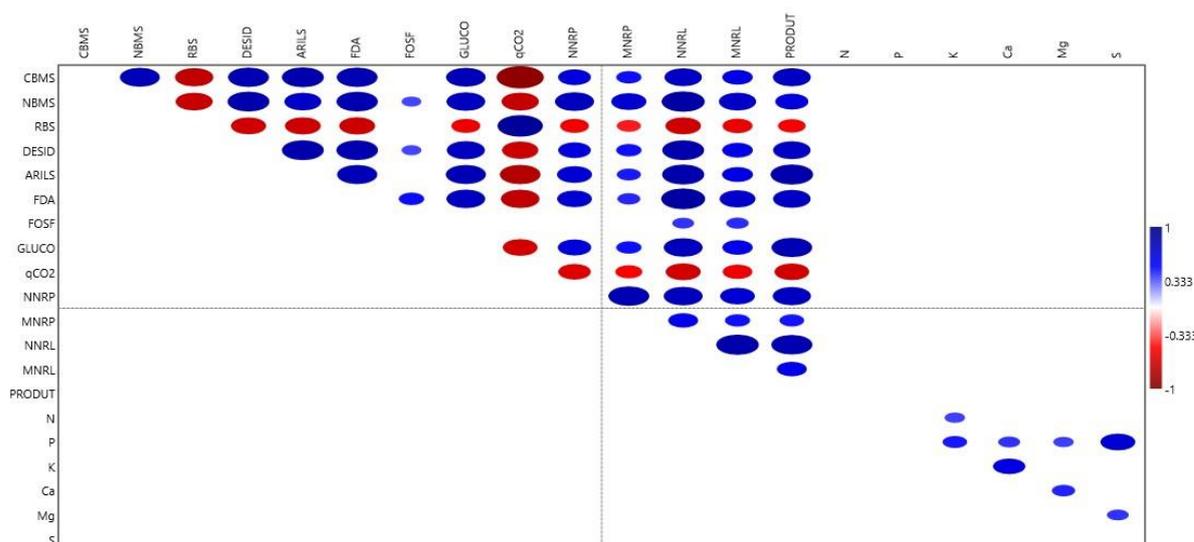


Figura 4 - Correlação das análises microbiológicas do solo, produtividade e nodulação da soja e teores nutricionais foliares da soja na safra 2019/2020, em função de cultivos anteriores e reposição hídrica

Segundo Kuzyakov e Blagodatskaya (2015), períodos intercalares de estiagem e chuvas, além da percolação de água, possibilitam a criação de sítios de maior atividade microbiológica ao permitirem o acesso a nutrientes orgânicos e lábeis, aeração do solo e redistribuição de água no perfil, substratos estes, indispensáveis para que microrganismos desempenhem suas funções no solo. Mesmo considerando uma lâmina de água reduzida, como foi utilizada nesse estudo, o fato de fazer a umidificação em períodos intercalares definidos, entre o outono inverno, pode ter contribuído para se encontrar respostas no aumento da atividade microbiana no solo.

A promoção do crescimento vegetal sob estresse hídrico, relatada por Abdelaal et al. (2021), pode ser devido ao fato de que certas bactérias promotoras de crescimento em plantas, expressam a enzima ACC-desaminase, responsável pelo aporte na absorção de nutrientes importantes como N, P e K. Além disso, as bactérias promotoras de crescimento em plantas, desempenham papel vital na mitigação da tolerância ao estresse hídrico devido ao acúmulo de ácido abscísico, antioxidantes e osmoprotetores que podem melhorar o crescimento das raízes como resposta ao estresse. Nas condições de estresse hídrico, fato que tem ocorrência frequente nas regiões de cultivo de soja em solos tropicais, torna-se fundamental desenvolver ações que promovam o aumento de grupos específicos, como de bactérias, dentro da atividade microbiana no solo. Em estudo com plantas de cobertura e rotação de cultivo em solos tropicais verificou-se mudanças no microbioma do solo, com abundância de grupos bacterianos relacionados com a saúde do solo (LEITE et al. 2021).

Em seu estudo, Oliveira et al. (2016), destaca a importância das condições de umidade para as análises microbiológicas sob sistemas de cultivo. Denotando que em baixas condições de umidade do solo, os microrganismos se mantêm em condições latentes, aguardando o retorno da estação chuvosa para retomar o crescimento e atividade da comunidade microbiana, e a esta retomada é diretamente relacionada ao aporte de material orgânico lábil no solo e cobertura vegetal fotossinteticamente ativa durante a estação seca.

A reposição hídrica que foi realizada ao longo do período do estudo pode ter influenciado na qualidade biológica do solo e contribuir para melhorar o desenvolvimento dos tratamentos baseados em cultivos com duas espécies vegetais que proporcionaram melhor diversidade vegetal e cobertura do solo ao longo dos meses do outono inverno, que acabaram contribuindo para um ambiente de produção

de melhor qualidade e com reflexos positivos para a melhoria do crescimento da soja nesses tratamentos.

Evidenciamos a importância da introdução de diferentes espécies no manejo consorciados, para a melhoria dos atributos microbiológicos, através da rizodeposição constante de materiais fornecido pelas raízes, e a configuração espacial dessas raízes no solo, durante todo o período, desde sua introdução, até o cultivo da soja. Diferentemente de uma cultura anual, como o milho, quando cultivado de forma isolada, essa contribuição é curta, superficial pelo baixo volume radicular, e muitas vezes insuficiente para a elevação da atividade microbiana no sistema.

A proposta inicial desse estudo foi de fornecer uma lâmina de água mínima que pudesse atenuar de alguma forma o déficit hídrico do solo nos meses mais secos. Verificou-se que a introdução de mais umidade no solo pode ser um diferencial para manutenção e incremento da atividade microbiana conforme encontrado nesse estudo. Este acréscimo de umidade não alterou a fertilidade do solo, apenas proporcionou um ambiente mais favorável a microbiota do solo. Nesse sentido, as contribuições desse estudo podem estimular outros trabalhos onde se tenham avaliações de outras formas alternativas de repor ou manter a umidade do solo. Também pode ser destacado que a utilização de plantas de coberturas ou espécies de adubos verdes, na entressafra da soja são decisivos para proporcionar aumentos de rendimento de grãos na cultura.

6 CONCLUSÕES

O sistema de produção com o cultivo de braquiárias e leguminosas nos meses de outono inverno, promoveu aumento da nodulação, produtividade da soja e atividade microbiana no solo.

O uso da reposição hídrica influenciou positivamente atributos microbianos do solo, especificamente biomassa microbiana, coeficiente metabólico e microbiano e atividade da desidrogenase.

Houveram correlações positivas entre os atributos microbianos do solo, a nodulação e produtividade da soja.

Os atributos de fertilidade química do solo e os teores de nutrientes foliares na soja não foram influenciados em função dos tratamentos e manejo hídrico conduzidos.

REFERÊNCIAS

- ABDELAAL, K. et al. The role of plant growth-promoting bacteria in alleviating the adverse effects of drought on plants. **Biology**, v. 10, n. 6, p. 520, 2021.
- ACHARYA, B. S. et al. Winter cover crops effect on soil moisture and soybean growth and yield under different tillage systems. **Soil and Tillage Research**, v. 195, p. 104430, 2019.
- ADETUNJI, A. T. et al. Management impact and benefit of cover crops on soil quality: A review. **Soil and Tillage Research**, v. 204, p. 104717, 2020.
- AMOAKWAH, E. Cover Crops Influence Soil Microbial and Biochemical Properties. In: **Cover Crops and Sustainable Agriculture**. CRC Press, 2021. p. 299-308.
- APONTE, H. et al. Meta-analysis of heavy metal effects on soil enzyme activities. **Science of The Total Environment**, v. 737, p. 139744, 2020.
- ARAÚJO NETO, S. E. et al. Atividade biológica de solo sob cultivo múltiplo de maracujá, abacaxi, milho, mandioca e plantas de cobertura. **Revista Ciência Agrônômica** [online]. 2014, v. 45, n. 4, pp. 650-658.
- ARAUJO, T. S. et al. Biomassa e atividade microbiana em solo cultivado com milho consorciado com leguminosas de cobertura. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 2, p. 347-357, 2019.
- AUNG, K.; JIANG, Y.; HE, S. Y. The role of water in plant–microbe interactions. **The Plant Journal**, v. 93, n. 4, p. 771-780, 2018.
- AWET, T. T. et al. Effects of polystyrene nanoparticles on the microbiota and functional diversity of enzymes in soil. **Environmental Sciences Europe**, v. 30, n. 1, p. 1-10, 2018.
- BALOTA, E. L. et al. Enzimas e seu papel na qualidade do solo. In: ARAÚJO, A. P.; ALVES, B. J. R. **Tópicos em ciência do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa. 2013. v. VIII, p. 189-250.
- BANDYOPADHYAY, S.; MAITI, S. K. Different Soil Factors Influencing Dehydrogenase Activity in Mine Degraded Lands—State-of-Art Review. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 232, n. 9, p. 1-17, 2021.
- BARGALI, S. S.; PADALIA, K.; BARGALI, K. Effects of tree fostering on soil health and microbial biomass under different land use systems in the Central Himalayas. **Land Degradation & Development**, v. 30, n. 16, p. 1984-1998, 2019.
- BASSANEZI, I. L. A. et al. Produtividade de cultivares de amendoim no Oeste Paulista—safra 2020/2021. **South American Sciences** ISSN 2675-7222, v. 2, n. edesp1, p. e21120-e21120, 2021.

BASTIDA, F. et al. Soil microbial diversity–biomass relationships are driven by soil carbon content across global biomes. **The ISME Journal**, p. 1-11, 2021.

BOLAT, İ.. Microbial biomass, basal respiration, and microbial indices of soil in diverse croplands in a region of northwestern Turkey (Bartın). **Environmental monitoring and assessment**, v. 191, n. 11, p. 1-13, 2019.

BURCEA, M. Research on the soil breathing activity under the impact of agricultural technological processes. **Scientific Papers Series-Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development**, v. 18, n. 4, p. 65-68, 2018.

CASTELLANO-HINOJOSA, A.; STRAUSS, S. L. Impact of cover crops on the soil microbiome of tree crops. **Microorganisms**, v. 8, n. 3, p. 328, 2020.

CASTRO, C. de et al. Magnésio: manejo para o equilíbrio nutricional da soja. **Embrapa Soja-Documentos (INFOTECA-E)**, 2020.

CHEN, J. et al. The composition of nitrogen-fixing microorganisms correlates with soil nitrogen content during reforestation: a comparison between legume and non-legume plantations. **Frontiers in microbiology**, v. 10, p. 508, 2019.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos safra 2020/2021 1º levantamento. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras>. Acesso em 02 set. 2021.

CONTE, O.; et al. Manejo do solo no cultivo da soja. Soja. Embrapa. 2019. 280p.

CONTE, O.; et al. Manejo do solo. In: SEIXAS et al. Tecnologias de produção de soja. – Londrina: Embrapa Soja, 2020. 347p.

CUNHA, E. Q. et al. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho: II-atributos biológicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 603-611, 2011.

CUNHA, J. R. et al. Soil biological attributes in monoculture and integrated systems in the Cerrado region of Piauí State, Brazil. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 43, 2021.

DACAL, M. et al. Soil microbial respiration adapts to ambient temperature in global drylands. **Nature ecology & evolution**, v. 3, n. 2, p. 232-238, 2019.

DE FEUDIS, M. et al. Carbon cycle related indicators better describe soil quality compared to total organic carbon content. In: **EGU General Assembly Conference Abstracts**. p. EGU21-2013. 2021.

DU, M.; GAO, Z.; LI, X.; LIAO, H. Excess nitrate induces nodule greening and reduces transcript and protein expression levels of soybean leghaemoglobins, *Annals of Botany*, Volume 126, Issue 1, 29 June 2020, Pages 61–72, <https://doi.org/10.1093/aob/mcaa002>

EDESI, L. et al. Effects of lake sediment on soil chemical composition, dehydrogenase activity and grain yield and quality in organic oats and spring barley succession. **Agronomy Research** 18(3), 2022 2032, 2020.

EMBRAPA. Tecnologia de fixação biológica de nitrogênio. 2016. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/1355008/0/Folder+tecnologia+FBN/72690c5d-c076-4f9f-b48a-7f6ebec0183d>. Acesso em 02 set. 2021.

FAO. FAO no Brasil: Representante da FAO Brasil apresenta cenário da demanda por alimentos. Disponível em: <http://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/pt/c/901168/>. 2017.

FERREIRA, E. P. B.; et al. População e atividade microbiana do solo em sistema agroecológico de produção1. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 48, p. 22-31, 2017.

» <http://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/pt/c/901168/>
GULWA, U., MGUJULWA, N., & BEYENE, S. T. (2018). Benefits of grass-legume inter-cropping in livestock systems. *African Journal of Agricultural Research*, 13(26), 1311-1319.

HAN, Q. et al. Variation in rhizosphere microbial communities and its association with the symbiotic efficiency of rhizobia in soybean. *ISME J* 14, 1915–1928 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41396-020-0648-9>

HOLZ, M. et al. Rhizodeposition under drought is controlled by root growth rate and rhizosphere water content. **Plant and soil**, v. 423, n. 1, p. 429-442, 2018.

HUANG, W. et al. Diferentes coberturas de plantas alteram a respiração do solo e suas fontes em regiões subtropicais. **Biologia e fertilidade dos solos**, v. 53, n. 4, pág. 469-478, 2017.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A. Fixação biológica de nitrogênio. In: SEIXAS et al. Tecnologias de produção de soja. – Londrina: Embrapa Soja, 2020. 347p.

JÓZEFOWSKA, A.; SOKOŁOWSKA, J.; ZALESKI, T. Dynamics of soil organic carbon during natural forest succession in the Polish Carpathian Mountains. In: **EGU General Assembly Conference Abstracts**. 2021. p. EGU21-11093.

LEITE H.M. et al., Cover crops shape the soil bacterial community in a tropical soil under no-till, **Applied Soil Ecology**, Volume 168, 2021.

KIM, N. et al. Do cover crops benefit soil microbiome? A meta-analysis of current research. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 142, p. 107701, 2020.

KUMAR, A. et al. Effects of water deficit stress on agronomic and physiological responses of rice and greenhouse gas emission from rice soil under elevated atmospheric CO₂. **Science of the Total Environment**, v. 650, p. 2032-2050, 2019.

LAMA, S. et al. Plant diversity influenced gross nitrogen mineralization, microbial ammonium consumption and gross inorganic N immobilization in a grassland experiment. **Oecologia**, v. 193, n. 3, p. 731-748, 2020.

LAROCA, J. V. S. et al. Soil quality and soybean productivity in crop-livestock integrated system in no-tillage. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** [online]. 2018, v. 53, n. 11, pp. 1248-1258. Available from: <<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2018001100007>>. ISSN 1678-3921.

LI, L.-J. et al. Soil microbial biomass size and soil carbon influence the priming effect from carbon inputs depending on nitrogen availability. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 119, p. 41-49, 2018b.

LI, Y. et al. Conservation agriculture practices increase soil microbial biomass carbon and nitrogen in agricultural soils: A global meta-analysis. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 121, p. 50-58, 2018a.

LOPES, M. M. et al. Changes in soil microbial biomass and activity in different Brazilian pastures. **Spanish Journal of Agricultural Research**, n. 4, p. 1253-1259, 2010.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Sao Paulo: Agronômica Ceres, 2006.

MALAVOLTA, E. et al. Avaliação do estado nutricional das plantas 2.ed. Piracicaba: Potafos, 319p.1997.

MAZZUCHELLI, R. C. L. et al. Changes in soil properties and crop yield as a function of early desiccation of pastures. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 20, n. 3, p. 840-848, 2020.

MEDEIROS, J. S. et al. Formas de potássio em solos representativos do Estado da Paraíba. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 45, n. 2, p. 417-426, 2014.

MICHELON, C. J. et al. Atributos do solo e produtividade do milho cultivado em sucessão a plantas de cobertura de inverno. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 2, p. 230-239, 2019.

MIGUEL, A. S. D. C. et al. Phytomass and nutrient release in soybean cultivation systems under no-tillage. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** [online]. v. 53, n. 10, pp. 1119-1131. 2018.

MOGHIMIAN, N. et al. Impacts of changes in land use/cover on soil microbial and enzyme activities. **Catena**, v. 157, p. 407-414, 2017.

MORAES, J. M. A. S. et al. Grass–legume intercropping in integrated crop-livestock systems: a strategy to improve soil quality and soybean yield in the Brazilian Cerrado. 2021.

MORETTI, L. G. et al. Can additional inoculations increase soybean nodulation and grain yield?. **Agronomy Journal**, v. 110, n. 2, p. 715-721, 2018.

MOURA, R. T. A. et al. Comparison of methods to quantify soil microbial biomass carbon. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 40, 2018.

MUHAMMAD, I. et al. Cover cropping enhances soil microbial biomass and affects microbial community structure: A meta-analysis. **Geoderma**, v. 381, p. 114696, 2021.

MUNKAGER, V. et al. Soil microorganisms decrease barley biomass uniformly across contrasting nitrogen availability. **European Journal of Soil Biology**, v. 104, p. 103311, 2021.

MUZANGWA, L.; et al. The use of residue retention and inclusion of legumes to improve soil biological activity in maize-based No-till systems of the eastern cape province, South Africa. **Agricultural Research**, v. 9, n. 1, p. 66-76, 2020.

NEUMAIER, N.; et al. Ecofisiologia da soja. In: SEIXAS et al. Tecnologias de produção de soja. – Londrina: Embrapa Soja, 2020. 347p.

OIKAWA, R. T.; et al. Validation of soil quality index in soil using bioindicator plant. In: **Colloquium Agrariae**. ISSN: 1809-8215. Vol. 17, No. 3, p. 59-69. 2021.

OLIVEIRA, A. B. et al. Estruturas da planta e fases de desenvolvimento da soja. In: Soja. Embrapa. 2019. 280p.

OLIVEIRA, W. R. D. et al. Dynamics of soil microbiological attributes under integrated production systems, continuous pasture, and native cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 1501-1510, 2016.

PIRES, M. F. M. et al. Conservation system improves soil microbial quality and increases soybean yield in the Northeastern Cerrado. **Bragantia**, v. 79, p. 599-611, 2020.

PRADO; A. M.; NOGUEIRA; M. A.; HUNGRIA, M. Fixação biológica de nitrogênio. In: Soja. Embrapa. 2019. 280p.

PUGLISI, E. et al. Effects of a humic acid and its size-fractions on the bacterial community of soil rhizosphere under maize (*Zea mays* L.). **Chemosphere**, v. 77, n. 6, p. 829-837, 2009.

SCHOMBURG, A. et al. Composition and superposition of alluvial deposits drive macro-biological soil engineering and organic matter dynamics in floodplains. **Geoderma**, v. 355, p. 113899, 2019.

SEIBERT, C. M.; BORSOI, A. Milho segunda safra consorciado com diferentes densidades de semeadura de *Brachiaria ruziziensis*. **Revista Cultivando o Saber**, v. 13, n. 2, p. 94-103, 2020.

SEIXAS et al. Tecnologias de produção de soja. – Londrina: Embrapa Soja, 2020. 347p.

SHARMA, S. et al. Responses of Soil Carbon Pools, Enzymatic Activity, and Crop Yields to Nitrogen and Straw Incorporation in a Rice-Wheat Cropping System in North-Western India. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 4, p. 203, 2020.

SIBI, G. et al. Quantitative analysis of biological nitrogen fixation in various models of legumes and the factors influencing the process: a review. **Journal of Critical Reviews**, v. 6, n. 6, 2019.

SILVA, E. E.; AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, H. Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO₂). **Embrapa Agrobiologia-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2007.

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.

SILVA, M. P. et al. Plantas de cobertura e qualidade química e física de Latossolo Vermelho distrófico sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 1, p. 60-67, 2017.

SINGH, J. S.; GUPTA, V. K. Soil microbial biomass: a key soil driver in management of ecosystem functioning. **Science of the Total Environment**, v. 634, p. 497-500, 2018.

SIX, J. et al. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil and tillage research**, v. 79, n. 1, p. 7-31, 2004.

SMIDERLE, O. J. Cultivo de Soja no Cerrado de Roraima Embrapa Roraima, 2019. 146p.

SOMENAHALLY, A. et al. Microbial communities in soil profile are more responsive to legacy effects of wheat-cover crop rotations than tillage systems. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 123, p. 126-135, 2018.

TANAKA, K. S. et al. Nutrients released by *Urochloa* cover crops prior to soybean. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 113, n. 3, p. 267-281, 2019.

TAO, K. et al. Kinetics and catalytic efficiency of soil fluorescein diacetate hydrolase under the pesticide parathion stress. **Science of The Total Environment**, v. 771, p. 144835, 2021.

TASKIN, E. et al. Combined Impact of No-Till and Cover Crops with or without Short-Term Water Stress as Revealed by Physicochemical and Microbiological Indicators. **Biology**, v. 10, n. 1, p. 23, 2021.

TIECHER, T. et al. Soil fertility and nutrient budget after 23-years of different soil tillage systems and winter cover crops in a subtropical Oxisol. **Geoderma**, v. 308, p. 78-85, 2017.

- TIWARI, S. et al. Land use change: A key ecological disturbance declines soil microbial biomass in dry tropical uplands. **Journal of environmental management**, v. 242, p. 1-10, 2019.
- TOBIN, C. et al. Demonstrating short-term impacts of grazing and cover crops on soil health and economic benefits in an integrated crop-livestock system in South Dakota. **Open Journal of Soil Science**, v. 10, n. 03, p. 109, 2020.
- TYLER, H. L. Shifts in bacterial community in response to conservation management practices within a soybean production system. **Biology and Fertility of Soils**. <https://doi.org/10.1007/s00374-021-01550-8>. **57**, p.575–586 (2021)
- VICENT-CABOUD, L. et al. Using mulch from cover crops to facilitate organic no-till soybean and maize production. A review. **Agronomy for sustainable development**, v. 39, n. 5, p. 1-15, 2019.
- VIEIRA, R. F. Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 163 p.
- WANG, H. et al. Changes of microbial population and N-cycling function genes with depth in three Chinese paddy soils. **Plos one**, v. 12, n. 12, p. e0189506, 2017.
- WANG, Q. R.; et al. Changes of soil microbial biomass carbon and nitrogen with cover crops and irrigation in a tomato field. **Journal of plant nutrition**, v. 30, n. 4, p. 623-639, 2007.
- WANG, X.; GAO, Y. Advances in the mechanism of cereal/legume intercropping promotion of symbiotic nitrogen fixation. **Chinese Science Bulletin**, v. 65, n. 2-3, p. 142-149, 2020.
- WANG, Y. et al. Seasonal dynamics of soil microbial biomass C and N of *Keteleeria fortunei* var. *cyclolepis* forests with different ages. **Journal of Forestry Research**, v. 31, n. 6, p. 2377-2384, 2020.
- XUE, R.; et al. Soil water content during and after plant growth influence nutrient availability and microbial biomass. **J. Soil Sci. Plant Nutr.**, Temuco, v. 17, n. 3, p. 702-715, sept. 2017.
- ZANATTA, F. A. S.; et al. Morfometria do relevo e dinâmica erosiva linear em área rural degradada no Oeste Paulista. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 41, p. 82-97, 2017.
- ZHANG, T.; CHEN, H. Y. H.; RUAN, H. Global negative effects of nitrogen deposition on soil microbes. **The ISME journal**, v. 12, n. 7, p. 1817-1825, 2018.