

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

BEATRIZ SOUTO FREITAS

**BIOINDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO E PRODUTIVIDADE DA SOJA EM
FUNÇÃO DO RESIDUAL DA ADUBAÇÃO FOSFATADA E INOCULAÇÃO DAS
GRAMÍNEAS ANTECESSORAS COM *AZOSPIRILLUM BRASILENSE***

Ilha Solteira
2022

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

BEATRIZ SOUTO FREITAS

**BIOINDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO E PRODUTIVIDADE DA SOJA EM
FUNÇÃO DO RESIDUAL DA ADUBAÇÃO FOSFATADA E INOCULAÇÃO DAS
GRAMÍNEAS ANTECESSORAS COM *AZOSPIRILLUM BRASILENSE***

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Unesp como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre. Especialidade Sistemas de Produção Agrícola.

Marcelo Andreotti
Orientador

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação


F866b Freitas, Beatriz Souto.
Bioindicadores de qualidade do solo e produtividade da soja em função do residual da adubação fosfatada e inoculação das gramíneas antecessoras com *Azospirillum brasilense* / Beatriz Souto Freitas. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2022
74 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Sistemas de Produção, 2022

Orientador: Marcelo Andreotti

Inclui bibliografia

1. Bioindicadores. 2. Residual adubação fosfatada. 3. Sistema de plantio direto. 4. Bactérias diazotróficas.


Raiane da Silva Santos

Supervisora Técnica de Seção
Seção Técnica de Referência, Atendimento ao usuário e Documentação
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação
CRB/3 - 9999



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Bioindicadores de qualidade do solo e produtividade da soja em função do residual da adubação fosfatada e inoculação das gramíneas antecessoras com *Azospirillum brasilense*.

AUTORA: BEATRIZ SOUTO FREITAS

ORIENTADOR: MARCELO ANDREOTTI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA, área: Sistemas de Produção pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. MARCELO ANDREOTTI (Participação Virtual)
Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Prof. Dr. DEYVISON DE ASEVEDO SOARES (Participação Virtual)
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP

Profª Drª ELISÂNGELA DUPAS (Participação Virtual)
Faculdade de Ciências Agrárias / Universidade Federal da Grande Dourados

Ilha Solteira, 04 de maio de 2022

DEDICATÓRIA

Primeiramente a Deus, por não me desamparar nos momentos de angústia e dúvida, aos meus pais, Silvânia Gonçalves Souto e Jesus Antônio de Freitas por sempre fazerem tudo que estava ao alcance para que eu tivesse um estudo de qualidade.

AGRADECIMENTOS

Durante todos meus anos de Unesp, entre graduação e pós graduação, me deparei com várias pessoas nessa trajetória e cada uma da sua maneira me ajudaram a chegar até aqui.

Ao meu orientador Professor Dr. Marcelo Andreotti, que me acolheu nessa jornada, sempre atencioso e paciente. Obrigada pela porta sempre aberta.

Minha gratidão a Dra. Viviane Cristina Modesto, por toda disponibilidade e apoio em instruir em qualquer dúvida ao longo do desenvolvimento da pesquisa.

Aos companheiros do Grupo de Pesquisa Equipe Andreotti, que não mediaram esforços na colaboração de todas as etapas de coleta de dados do experimento.

Às minhas amigas de república, Gabriela Oliveira e Rafaela Guimarães na qual se tornaram minha segunda família e dividiram não só a casa e as alegrias, mas as dificuldades também.

Aos meus pais e ao meu noivo Daniel De Andrea Ferreira, por todo apoio que me dedicam e não poupam esforços para me ajudar. Agradeço por terem vibrado a cada pequena conquista minha durante todos esses anos.

Aos membros da banca examinadora, pela honra de tê-los avaliando o meu trabalho. Sei que serão valiosas as contribuições.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, pela concessão da bolsa de estudos.

A todos pelo meu caminho que contribuíram de alguma forma, meu carinho e gratidão.

RESUMO

O fósforo (P) é um dos nutrientes mais requeridos pelas culturas agrícolas. Sua liberação em solos mais velhos é naturalmente muito baixa, sendo necessário a prática da adubação fosfatada para o bom desenvolvimento das plantas. Tendo em vista que o maior gasto de uma lavoura são os custos com fertilizantes, alguns estudos têm exposto como alternativa o uso da inoculação das sementes por bactérias promotoras de crescimento, destacando-se a *Azospirillum brasilense*. Portanto, objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito residual da adubação fosfatada e se há interação ou não com a inoculação das culturas antecessoras a soja com a bactéria *Azospirillum brasilense* sobre os componentes de produção, produtividade da soja nas safras 2019/20 e 2020/21 e bioindicadores de qualidade do solo. O experimento foi realizado em sistema plantio direto (SPD), em um Latossolo Vermelho Distrófico típico argiloso, com delineamento experimental em blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema fatorial 5x2, sendo cinco doses de P₂O₅ na forma de MAP aplicadas em 2013 e 2020, com e sem inoculação das gramíneas em rotação à soja. Foi verificado que apenas na safra de 2019/20 houve efeito positivo da inoculação das plantas antecessoras à soja com incremento na população de plantas. Entretanto, nas áreas não inoculadas, pelo menor número de plantas, houve compensação com maior altura de plantas, número de vagens e número de grãos por planta, porém sem efeito na produtividade de grãos. O carbono orgânico total (COT), a atividade respiratória microbiana (ARM), carbono da biomassa microbiana (CBM) e o coeficiente metabólico (qCO₂), as áreas onde as culturas antecessoras à soja foram inoculadas apresentaram efeito positivo em relação às não inoculadas. A enzima β-glucosidase, mesmo em maior atividade, não significou incremento no qCO₂, mas aumento no COT do solo. A enzima arilsulfatase apresentou maior atividade nas áreas onde houve inoculação com *A. brasilense*. Sistemas de cultivo que mantem a saúde do solo adequada, aliado à inoculação das gramíneas com *A. brasilense*, mostraram um manejo de qualidade e baixo custo, aliada a atividade microbiológica e enzimática do solo.

Palavras-Chave atividade enzimática; sistema plantio direto; bactérias diazotróficas; efeito residual.

ABSTRACT

Phosphorus (P) is one of the nutrients most required by agricultural crops. Its release in older soils is naturally very low, requiring the practice of phosphate fertilization for the good development of plants. Considering that the biggest expense of a crop is the costs with fertilizers, some studies have exposed as an alternative the use of seed inoculation by plant growth promoting bacteria, especially *Azospirillum brasilense*. Therefore, the objective of this work was to evaluate the residual effect of phosphate fertilization and whether or not there is interaction with the inoculation of the predecessor cultures of soybean with the bacterium *A. brasilense* on the components of production, soybean yield in the 2019/20 and 2020/21 harvests, and soil quality bioindicators. The experiment was carried out in a no-tillage system (NTS), in a typical clayey Oxisol, with an experimental design in randomized blocks, with four replications, in a 5x2 factorial scheme, with five doses of P₂O₅ in the form of monoammonium phosphate applied in 2013 and 2020, with and without inoculation of predecessor grasses in rotation with soybean. It was verified that only in the 2019/20 crop there was a positive effect of the inoculation of the predecessor plants to soybean with an increase in the plant population. However, in the non-inoculated areas, due to the lower number of plants, there was compensation with higher plant height, number of pods and number of grains per plant, but with no effect on grain yield. Total organic carbon (TOC), microbial respiratory activity (MRA), microbial biomass carbon (MBC) and metabolic coefficient (qCO₂), the areas where the predecessor cultures of soybean were inoculated had a positive effect in relation to the non-inoculated area. The β-glucosidase enzyme, even in higher activity, did not mean an increase in qCO₂, but increased the TOC of the soil. The enzyme arylsulfatase showed higher results in areas where there was inoculation. Crop systems that maintain adequate soil health, combined with inoculation of grasses with *A. brasilense*, showed a quality and low cost management, combined with microbiological and enzymatic activity of the soil.

Keywords: enzymatic activity; no-tillage system; diazotrophic bacteria; residual effect.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1	Solo do Cerrado.....	14
2.2	Importância do fósforo no sistema produtivo	15
2.3	Aspectos gerais da cultura da soja	17
2.4	Sistema Plantio Direto (SPD).....	19
2.5	Aveia preta como planta de cobertura para o SPD.....	22
2.6	Inoculação de sementes de gramíneas com <i>Azospirillum</i> spp.	25
2.7	Bioindicadores de qualidade do solo	27
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	30
3.1	Localização, Histórico e Caracterização da área experimental	30
3.2	Avaliações realizadas antes da colheita	36
3.2.1	<i>População de Plantas (POP)</i>	36
3.2.2	<i>Altura de plantas (ALT)</i>	37
3.2.3	<i>Altura da inserção da primeira vagem (ALTPV)</i>	37
3.3	Avaliações realizadas após a colheita	39
3.3.1	<i>Número de vagens por Planta (NVP)</i>	39
3.3.2	<i>Número de grãos por Planta (NGP)</i>	39
3.3.3	<i>Massa de 100 grãos (M100)</i>	39
3.3.4	<i>Produtividade de Grãos de Soja (PG)</i>	39
3.4	Avaliações microbiológicas e enzimáticas do solo	42
3.4.1	<i>Atividade respiratória microbiana (ARM)</i>	42
3.4.2	<i>Carbono da biomassa microbiana (CBM)</i>	42
3.4.3	<i>Quociente metabólico (qCO₂)</i>	43
3.4.4	<i>Carbono orgânico total (COT)</i>	43
3.4.5	<i>Atividade Enzimática</i>	44
3.4.6	<i>β-Glucosidase</i>	44
3.4.7	<i>Fosfatase Ácida</i>	45
3.4.8	<i>Arilsulfatase</i>	46
3.5	Análise estatística	46
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.1	Componentes de produção e produtividade da soja.....	47
4.2	Bioindicadores de qualidade do solo	54

5	CONCLUSÕES	61
	REFERÊNCIAS.....	62

1 INTRODUÇÃO

Historicamente, devido a sua vasta área territorial, clima com volume de chuvas significativos, e como principal atrativo, a topografia plana, o Brasil possui excelente aptidão agrícola, principalmente em áreas de Cerrado (SEIXAS *et al.*, 2020). No entanto, grande parte dos solos do território brasileiro possuem limitações quanto ao desenvolvimento dos sistemas de produção devido a sua baixa fertilidade natural, decorrente dos processos de intemperização, com deficiências nutricionais e acidez (PARENT; GAGNÉ, 2010).

Em recente relatório sobre o estado dos recursos mundiais do solo (FAO, 2015) há indicação que a maioria dos solos mundiais está em condições pobres ou muito pobres de fertilidade. O fator mais preocupante é caracterizado por avançados níveis de erosão, levando a perdas de culturas, bem como aumento da acidez do solo com consequente falta de nutrientes, restringindo a produção de alimentos (LEGAZ *et al.*, 2017). Em contrapartida, a conceituação de qualidade do solo, proposta pela Sociedade Americana de Ciência do Solo (USDA) é a seguinte: “a capacidade de uma determinada classe de solo, dentro de um ambiente natural ou manejado, em manter a produtividade, sustentar a qualidade do ar e da água e promover a saúde dos seres humanos, animais e plantas” (USDA, 2001).

Desde o início da sua ocupação, o Cerrado vem apresentando grande potencial para o desenvolvimento de sistemas agrícolas, e sem dúvidas, os principais fatores para isso acontecer foi a geração de tecnologias que permitiram transformar solos altamente intemperizados, ácidos e de baixa fertilidade, em solos agricultáveis, investindo principalmente na correção e adubação da área, fazendo assim a construção da sua fertilidade (LONDERO *et al.*, 2020).

Dentre as deficiências nutricionais nos solos de Cerrado, o fósforo tem destaque, pois sua disponibilidade é naturalmente muito baixa, atrelado à predominância de acidez, fazendo com que o nutriente seja um fator limitante à produção, o que torna essencial a prática da adubação fosfatada, pois o P exerce na planta funções fundamentais desde os estágios iniciais do seu desenvolvimento (SOUSA; LOBATO, 2004).

Se comparado a outros macronutrientes, o fósforo é exigido em quantidades bem menores, porém normalmente sua recomendação na adubação é em doses altas. Isso acontece em função da sua baixa eficiência de aproveitamento pelas plantas, resultado da sua alta taxa de adsorção quando adicionado ao solo ácido, reduzindo sua disponibilidade às culturas (CONCEIÇÃO *et al.*, 2012).

Portanto, graças a sua baixa mobilidade no solo, a extensão do sistema radicular é de fundamental importância no incremento de sua absorção. Deste modo, para minimizar os custos de implantação da lavoura, deve-se considerar a importância e a avaliação do efeito residual dos fertilizantes fosfatados aplicados em culturas antecessoras no ciclo de rotação (ARAÚJO, 2011). Além de minimizar custos, alguns pesquisadores têm retratado como opção, o uso de bactérias promotoras de crescimento para diminuir a aplicação de fertilizantes em busca de uma agricultura mais sustentável. Assim, cada vez mais comum, o uso de inoculantes que apresentam em sua composição essas bactérias promotoras de crescimento (DICKMANN, 2019) tem ganho interesse nas pesquisas agrícolas.

Aliado às práticas de manejo do solo e o uso consciente de fertilizantes, a utilização de recursos biológicos como as bactérias diazotróficas e/ou promotoras do crescimento vegetal, particularmente as do gênero *Azospirillum*, é uma alternativa para a redução da utilização de fertilizantes minerais com manutenção ou até mesmo aumento da produção, reduzindo os custos e sem danos ao ambiente (NOVAKOWISKI *et al.*, 2011).

Estas bactérias possuem efeito hormonal nas plantas, resultando em aumento significativo do volume e comprimento radicular, incrementando a quantidade de solo explorado pelas raízes e conseqüentemente na absorção de água e nutrientes. Sendo promotoras de crescimento de plantas (BPCP), retratam um grupo de microrganismos vantajosos às plantas, pela capacidade de colonizar a superfície das raízes, tanto na rizosfera e/ou tecidos internos (GALINDO *et al.*, 2016).

Considerando a importância da inoculação para atender a demanda econômica e ambiental, o pressuposto da pesquisa foi a de que houvesse efeito hormonal do *Azospirillum brasilense* no crescimento de raízes e absorção de nutrientes com ênfase para o fósforo, refletindo na produtividade de grãos e de

palha, e se esse efeito apresentaria residual para a economia da adubação fosfatada.

Assim, o objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito residual da adubação fosfatada, bem como determinar se há interação ou não com a inoculação das culturas antecessoras com *Azospirillum brasilense* sobre os componentes de produção e produtividade da soja nas safras 2019/20 e 2020/21, em um Latossolo Vermelho Distrófico da região de Cerrado de baixa altitude.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Solo do Cerrado

Uma grande parte dos solos do território brasileiro possuem limitações quanto ao desenvolvimento dos sistemas de produção da grande maioria das culturas, isso acontece por conta dos efeitos da acidez na camada agricultável do solo. De maneira geral, esse problema está associado à presença de Al e Mn em altas concentrações, o que acaba se tornando tóxico para as plantas, como é o caso dos solos do Cerrado (PARENT; GAGNÉ, 2010).

O Cerrado é uma área que possui desenvolvimento vegetal característica do Centro-Oeste brasileiro, composto de árvores parcialmente pequenas e tortuosas, espalhadas em meio a arbustos, subarbustos e gramíneas. Originalmente, um quarto da área do Brasil é tomado pelo Cerrado. No entanto, na década de 1990, boa parte já havia sido substituída por pastagens plantadas ou culturas de grãos (WALTER, 2006).

A topografia plana é o principal fator para que a atividade agrícola consiga se desenvolver de maneira próspera em determinada região, sendo as áreas de Cerrado as mais valorizadas (FERREIRA *et al.*, 2009). A mudança desses ambientes nativos para lavouras de produção agrícola tem levado à deterioração do solo em consequência de sua exploração inadequada (FONSECA *et al.*, 2007; LEITE *et al.* 2010).

Quando se trata em uso agrícola, a fertilidade se torna um fator limitante, entretanto, quando combinadas ao uso adequado de corretivos e fertilizantes, com a época adequada de instalação das culturas, pode-se obter boa rentabilidade (FONSECA *et al.*, 2019).

Os solos do Cerrado são caracterizados por serem bastante intemperizados e apresentarem baixa reserva de nutrientes para as plantas, consequentemente também possuem baixa CTC. Nestas regiões a maior parte são de Latossolos distróficos e ácidos, com pH variando de 4,0 a 5,5; e teores de fósforo extremamente baixos, portanto, de modo geral possuem grandes problemas com fertilidade (SOUSA; LOBATO, 2004).

Graças a geração de tecnologias, tem se verificado que é possível transformar solos altamente intemperizados, ácidos e pobres em solos

agricultáveis. Contudo, são necessários grandes investimentos em correção e adubação no curto, médio e longo prazos, fazendo a chamada “construção” da fertilidade, desde o início de sua ocupação, promovendo assim, desenvolvimento adequado dos sistemas produtivos (LONDERO *et al.*, 2020).

É necessário usar o solo de acordo com sua aptidão agrícola, e o manejo da fertilidade é o ponto inicial para garantir adequada produtividade em qualquer tipo de solo. Alguns cuidados básicos devem ser tomados, como manter o solo sempre que possível coberto por palhada ou culturas, especialmente no início das chuvas, observar o teor de argila, pois quando muito próximos a 15%, deve-se tomar cuidado com manejos intensivos, principalmente em sistemas irrigados por conta da percolação da água no perfil (TIECHER, 2016).

Solos de textura argilosa ou muito argilosa quando muito mecanizados, tem sua estrutura extremamente prejudicada, causando grandes danos, podendo fazer com que a porosidade do solo seja reduzida, gerando camada compactada como consequência. Quando se trabalha com sistema irrigado, as adubações de manutenção das culturas devem ser mais elevadas do que as de sistema de sequeiro, pois a água deixa de ser um fator limitante e passa a ser um dos fatores controláveis para aumento da produtividade, entretanto, seu custo também passa a ser maior (SOUSA; LOBATO, 2004).

2.2 Importância do fósforo no sistema produtivo

O fósforo comumente encontrado no solo, de interesse agrônômico ou ambiental, é derivado de compostos como o ácido ortofosfórico e alguns de forma menos habitual, dos pirofosfatos. Os minerais primários fosfatados comuns em rochas são as apatitas, de onde o P é disponibilizado durante a intemperização, originando minerais secundários mais constantes termodinamicamente, ou incorporados a compostos orgânicos (SANTOS *et al.*, 2008).

O fósforo é um dos macronutrientes mais requeridos para as culturas agrícolas, devendo sempre estar em equilíbrio com a quantidade disponível dos outros nutrientes. Sua liberação em solos mais velhos, que possuem alta intemperização, como é o caso dos solos de Cerrado, é naturalmente muito

baixa, sendo de extrema necessidade a prática da adubação fosfatada para o adequado desenvolvimento das culturas (MARTINHÃO *et al.*, 2004).

A dinâmica do P no solo está relacionada a fatores ambientais que controlam a atividade dos microrganismos, os quais imobilizam ou liberam os íons ortofosfato, aos componentes físico-químicos e mineralógicas do solo. De acordo com o grau de estabilidade destes compostos, são representados como fosfatos lábeis e não-lábeis. A fração lábil é classificada pelo conjunto de compostos fosfatados capazes de repor rapidamente a solução do solo, ou seja, apesar de não estarem prontamente disponíveis para absorção, mantém uma relação de equilíbrio com a solução, disponibilizando P à medida em que ele é absorvido por plantas ou por microrganismos. Enquanto o P-não lábil consiste na fração que está fortemente fixada às partículas do solo. Por isso, as frações mais lábeis são dependentes do grau de intemperização do solo, da mineralogia, da textura, do teor de matéria orgânica, das características físico-químicas, da atividade biológica e da vegetação predominante (SANTOS *et al.*, 2008).

No quesito relacionado a quantidade, o P vem após o nitrogênio desempenhando papel importante no início do ciclo das culturas, pois é responsável pelo crescimento radicular, maior desenvolvimento das plantas no início do ciclo de vida e maior resistência a estresses. Na sua ausência ou fornecimento insuficiente, limita o crescimento das plantas, diminuindo seu ciclo de vida e limitando sua produtividade. As plantas absorvem o P da solução do solo, porém estes teores são baixos, fazendo com que o nutriente seja um fator limitante à produção. A maioria dos solos brasileiros são bastante intemperizados e apresentam altas concentrações de óxidos de ferro e alumínio dificultando a absorção de P pelas plantas, pois esses óxi-hidróxidos adsorvem o fósforo, tendo como consequência a alta aplicação de adubos fosfatados devido ao seu baixo aproveitamento e eficiência (SANTOS *et al.*, 2008).

Em áreas de baixa disponibilidade de P é necessário corrigir o solo para a instalação da cultura, fazendo adubações corretivas de forma que gradualmente os nutrientes vão se tornando disponíveis, ou seja, é preciso “construir” a fertilidade desse solo. Depois dessa primeira etapa de construção, a aplicação de fertilizantes passa a ser para a manutenção dos nutrientes, repondo para o solo aqueles que vão sendo extraídos e exportados pela planta para o produto final de colheita, e os demais processos de perda no solo. A

recomendação da adubação varia de acordo com cada cultura, estando ligada especialmente ao seu potencial produtivo e ao poder aquisitivo de cada produtor (PEREIRA JÚNIOR *et al.*, 2010).

De acordo com a Embrapa (2004), é necessário que quando feita a adubação fosfatada, as doses sejam superiores ao que a planta precisa para que o P seja acumulado no solo, aumentando seu potencial produtivo no decorrer dos anos. Entretanto, deve-se tomar cuidado na sua aplicação, pois é um nutriente pouquíssimo móvel no solo, e sua movimentação ocorre especialmente por difusão, ou seja, para que seja possível se movimentar, mesmo que em curtas distâncias é preciso de umidade no solo. Em solos com alta resistência a penetração (compactados) sua absorção também é limitada, pois o crescimento radicular fica extremamente comprometido (RAIJ, 1991).

Em decorrência disso é fundamental que a planta tenha um sistema radicular bem desenvolvido. No entanto, talvez ainda assim possa ser que não seja suficiente, pois o solo não é o único limitante, pois com a absorção do fósforo, ocorre uma depleção do nutriente da solução ao redor das raízes. O nutriente deve dissolver da fase sólida e movimentar-se, por difusão, até a superfície das raízes para que a absorção continue. Este processo é afetado por diversas propriedades do solo, que podem aumentar ou diminuir a sua intensidade, tais como a concentração do nutriente no solo, o teor de água disponível e o poder tampão presente do solo (RAIJ, 1991).

2.3 Aspectos gerais da cultura da soja

As regiões produtoras de soja no Brasil, historicamente possuem aptidão agrícola devido sua vasta área territorial, clima ameno, volume de chuva significativo e como principal atrativo para a produção agrícola a topografia, principalmente em áreas de Cerrado (SEIXAS *et al.*, 2020).

A soja (*Glycine max* L. Merrill) é uma leguminosa anual originária da China, sendo cultivada há séculos no Brasil, e em várias partes do mundo (CUNHA, 2015). É uma das culturas de maior importância econômica no mundo, e sua produção no período 2020/21 teve um crescimento de 4,1%, em comparação à safra anterior, na área plantada da safra brasileira, atingindo 38,5 milhões de

hectares, e esperada uma produção recorde de 135,5 milhões de toneladas, representando incremento de 8,6% em relação à safra passada (CONAB, 2021).

A utilização da soja é muito conhecida pela extração do óleo vegetal e de seu subproduto o farelo, com teor proteico de 44 a 48% de proteína bruta (se o grão for descascado antes da extração do óleo), que é usado basicamente como suplemento rico em proteínas para a nutrição de bovinos, suínos e aves domésticas, empregando-se ainda o farelo de soja como alimento de peixes na aquicultura, na produção de ração de animais domésticos e como substitutos do leite (MISSÃO, 2006).

Esse crescente avanço no setor produtivo, está diretamente ligado aos avanços tecnológicos e científicos na cultura da soja em muitos sistemas produtivos que a incluem em rotação. Frequentemente, devido a sua expansão por todo o território, a cultura encontra desafios para obtenção de altas produtividades, precisando encontrar maneiras para driblar os obstáculos tecnológicos. Para tanto, o melhoramento genético, possibilitou a implantação da cultura em regiões de baixa altitude, desenvolvendo cultivares com o florescimento mais tardio, mesmo em condições ambientais desfavoráveis, além do desenvolvimento de cultivares altamente adaptados, que apresentem caracteres agrônômicos desejáveis. Também houve a necessidade de desenvolver cultivares resistentes a pragas e doenças que atacam a cultura durante todo o seu ciclo, diminuindo a sua produtividade (FREITAS, 2011).

Outra ferramenta de grande auxílio para o produtor de soja, é a sua associação com bactérias diazotróficas, na qual possuem a capacidade de fixar o nitrogênio atmosférico (N_2) para as plantas, reduzindo o uso de fertilizantes nitrogenados e conseqüentemente o custo da lavoura, tornando a produção mais sustentável (BULEGON *et al.*, 2016).

De acordo com Kluthcouski e Stone (2003), a soja é uma das culturas mais adaptadas ao sistema plantio direto, e uma das principais opções para compor o sistema de integração lavoura pecuária, em função de seus aspectos econômicos e ambientais, além apresentar excelente simbiose com bactérias fixadoras N_2 . Essa leguminosa domina programas de rotação nas regiões de Cerrado, juntamente com o SPD, o qual se destaca pela manutenção da temperatura e da umidade do solo, condições que favorecem a infecção e o

desenvolvimento das bactérias que realizam a fixação biológica de nitrogênio (FBN) na cultura.

A produtividade da soja irá depender basicamente da interação da planta com o ambiente e o manejo adequado da cultura, sendo necessárias condições favoráveis e cultivares adaptados para cada região (PEREIRA JÚNIOR *et al.* 2010). Sendo assim, quando se objetiva altas produtividades de soja, o manejo da fertilidade é essencial para o sucesso da lavoura, ou seja, precisa-se diagnosticar constantemente a capacidade do solo de fornecer nutrientes para a cultura a ser instalada. Quase todo território de Cerrado possui problemas com acidez, alta concentração de Al^{3+} , baixos teores de Ca e Mg, abrangendo a camada superficial (0-0,20 m) e subsuperficial ($> 0,20$ m), diminuindo assim a capacidade da planta absorver água e nutrientes na quantidade adequada para seu desenvolvimento (BROCH *et al.* 2008).

2.4 Sistema Plantio Direto (SPD)

Os primeiros relatos de estudos em SPD no Brasil são da década de 1970, se difundindo a partir de então entre os agricultores, nas mais diferentes regiões e condições tecnológicas (CASÃO JR. *et al.*, 2008). Outro ponto que ajudou na expansão do SPD, foram os problemas com erosão que os agricultores vinham verificando em suas propriedades. Na intenção de minimizar os processos erosivos, esse tipo de manejo representou grande marco para a agricultura, motivando o interesse de técnicos, agricultores e pesquisadores em relação aos impactos do manejo inadequado do solo (KOCHHANN; DENARDIN, 2000).

Os pioneiros do sistema plantio direto na palha no Brasil procuraram buscar informações de onde a técnica surgiu, que segundo relatos, já era usada pelos norte americanos e ingleses, onde utilizavam o termo “no till”. Um dos pilares do SPD é o não revolvimento do solo, porém inicialmente quando foi inserido no Brasil, pela dificuldade de se ter implementos capazes de cortar a palhada, que apresentavam um volume alto sobre o solo, foi tolerado que se fizesse apenas uma linha de sulco de semeadura, até que se achasse uma outra alternativa enquanto o sistema era expandido e adaptado (SALOMÃO *et al.*, 2019).

A maior visibilidade desse sistema se deu a partir da década de 1990 e vem aumentando de forma significativa desde então no país, por ser um método de manejo que visa diminuir o impacto de maquinários agrícolas sobre o solo, revolvendo-o o mínimo possível, conservando a palhada de culturas anteriores, melhorando o ambiente de cultivo e aumentando a produtividade das culturas (CRUZ, 2015).

Segundo dados da FEBRAPDP (2021), houve aumento significativo das áreas sob SPD no Brasil, passando de 1 milhão de hectares no início dos anos 90 para 33,8 milhões de hectares em 2017/2018, representando 26,6% da área sob plantio direto no mundo, se tornando uma alternativa de cultivo mais sustentável.

Quando se utiliza o termo sustentabilidade, deve-se observar a qualidade do solo levando em consideração seus aspectos físicos, químicos e biológicos como um todo, e sua estrutura é o resultado de um conjunto dos seus componentes sólidos, minerais e orgânicos. Em contrapartida, a degradação do solo está relacionada a diversos fatores como o monocultivo, manejo inadequado do solo, excesso de tráfego de maquinários, e o uso de práticas que degradam sua estrutura (aração e gradagem) (BERTOLLO; LEVIEN, 2019).

É notório que o intenso tráfego de maquinários agrícolas em consequência da preparação do solo no sistema convencional, quando feita sucessivas vezes, ocasiona a compactação de camadas do solo, principalmente quando o mesmo não se encontra no ponto de friabilidade. Quando compactados, além das plantas encontrarem dificuldades para sua expansão radicular, a infiltração de água das chuvas também é prejudicada, o que quando ocorrem chuvas mais fortes acarreta no escoamento superficial do solo, e consequente redução da fertilidade pela perda da camada mais rica em matéria orgânica (SALOMÃO *et al.*, 2019).

Enquanto que no SPD, devido à baixa movimentação do solo e maior acúmulo de restos vegetais, ocorre maior estruturação do solo e o acúmulo de matéria orgânica, o que auxilia no aumento dos teores disponíveis de nutrientes, como o fósforo. Essa cobertura contínua do solo proporcionada no plantio direto pelos restos culturais de culturas anteriores e/ou de plantas de cobertura, provenientes do processo de rotação de culturas, confere uma camada de

proteção da parte superior do solo, na qual é denominada como palhada (ADAMS, 2016).

A palhada que é mantida na superfície, confere cobertura e proteção ao solo, servindo como um herbicida natural, reduzindo a germinação de plantas daninhas, o impacto das gotas de chuva, diminuindo erosões, mantendo a umidade do solo por um período maior, acúmulo de matéria orgânica, fornecimento de nutrientes devido a decomposição gradual, entre outros benefícios (POMPERMAYER, 2020).

Considerada como um dos principais atributos derivados da conservação e melhoramento do perfil do solo, a matéria orgânica é de extrema importância para manter a produtividade das culturas em altos patamares, pois ela aumenta a porosidade, a aeração e também fornece nutrientes para o solo. Nesse sentido, os resíduos vegetais garantem a formação da matéria orgânica, assegurando a sustentabilidade para o solo, sendo fundamental a rotação de culturas e a boa escolha de quais plantas vão ser utilizadas nesse sistema (RAMOS, 2018).

Cardoso (2003) compara a ação do plantio direto e sua influência na melhoria da qualidade do ambiente solo semelhante ao que ocorre com serapilheiras nas matas, isso por conta do manejo propiciar a ciclagem dos compostos orgânicos, fazendo a manutenção desses compostos em decomposição que, depois de um certo período em contato com o solo, se transformam em repositores de substâncias orgânicas e minerais que auxiliam na manutenção da sustentabilidade de agroecossistemas.

Os índices de decomposição das plantas de cobertura dependem de vários fatores, tais como a origem e composição do material vegetal, produção de matéria seca, se são ou não incorporados ao solo e condições climáticas que são caracterizadas, principalmente, pela temperatura e índice pluviométrico. Sendo a decomposição de extrema relevância por desempenhar papel importante na ciclagem de nutrientes, assim, a palhada também funciona como uma reserva de nutrientes que de forma gradual são liberados para o solo (DICKMANN, 2019).

A adoção do SPD junto a inserção de gramíneas com alta relação C/N, além de propiciarem cobertura de solo com resíduos vegetais por mais tempo, tem ainda, seu sistema radicular vigoroso que proporciona efeitos positivos na

porosidade e estruturação do solo, melhorando suas propriedades físicas (CUNHA *et al.*, 2008).

Portanto, vale ressaltar que, o sucesso dos sistemas produtivos relaciona-se ao fato de que a palhada acumulada pelas plantas de cobertura ou das pastagens e dos restos culturais de lavouras comerciais, proporciona um ambiente favorável à recuperação ou manutenção dos atributos físicos, químicos e microbiológicos do solo, promovendo a ciclagem de nutrientes e a redução da emissão de gases de efeito estufa (FLORES *et al.*, 2007; SANTOS *et al.*, 2008, COSTA *et al.*, 2015).

Pode-se destacar também o efeito benéfico dos sistemas de manejo do solo, como SPD, associados às práticas agrícolas como rotação de culturas e cultivos de cobertura, sobre características químicas e físicas do solo decorrentes da ciclagem de nutrientes e decomposição da palhada, uma vez que o uso de culturas que possuem sistema radicular volumoso e profundo com o objetivo de cobertura do solo, tem efeito na produção agrícola de forma sustentável, aumentando a quantidade de matéria orgânica via palhada, que fica acumulada na sua superfície e que constituem importante reserva de nutrientes no sistema solo-planta. Assim, as plantas da rotação absorvem nutrientes das camadas mais profundas do solo e os liberam, posteriormente, na camada superficial pela decomposição dos seus resíduos (PEREIRA *et al.*, 2010).

2.5 Aveia preta como planta de cobertura para o SPD

Para garantir a sustentabilidade do solo, é essencial a associação do SPD a um programa de rotação e sucessão diversificada de culturas, que produza quantidade de resíduos vegetais adequados na superfície do solo. Além da proteção do solo, essa diversificação da rotação e sucessão de culturas, propicia a quebra de ciclo de pragas e doenças, além da palhada acabar servindo como herbicida natural, diminuindo a infestação de plantas daninhas. Também de grande valia, as espécies que entram nesse sistema de rotação, pelos diferentes sistemas radiculares, contribuem para manutenção da estrutura do solo (SILVA *et al.*, 2007).

A introdução das plantas de cobertura no SPD deve ser uma prática planejada antecipadamente, devendo levar em consideração as diferentes características das espécies que apresentam potencial para esse fim. Além disso, é importante que o produtor tenha em mente que as melhorias em seu sistema de produção quase sempre não virão de imediato, pois, como se trata de sistema, é preciso que se dê tempo para que o processo possa dar resposta (BARRADAS, 2010).

O SPD pode vir a ser usado também como alternativa para diminuir a demanda por fertilizantes no Brasil, onde atualmente, o maior gasto que se tem com a instalação de uma lavoura são os custos com fertilizantes, podendo representar mais de 25% do valor total (RICHETTI, 2012). Além do encarecimento do processo agrícola, há o fato de que se usados de maneira incorreta ou excessiva, os fertilizantes podem causar grandes prejuízos para o solo e até mesmo mananciais d'água (PAULO; SERRA, 2015). Logo, o ponto chave entre lucro e prejuízo está relacionado à correta utilização dos recursos e ferramentas disponíveis, como a introdução do sistema de rotação de culturas entre leguminosas e gramíneas.

De forma generalizada, as gramíneas possuem elevada rusticidade e alta relação C/N, ou seja, possuem menor velocidade de decomposição de fitomassa, fazendo com que sejam constantemente cotadas na escolha de culturas para compor um sistema de rotação, principalmente em condições tropicais (BARRADAS, 2010).

Entre as espécies usadas como plantas de cobertura, a aveia preta (*Avena strigosa*) vem se destacando por sua rusticidade, facilidade de aquisição de sementes e implantação da cultura, principalmente antecedendo cultivos de soja e milho (SILVA *et al.*, 2007). Segundo Machado (2000), há estudos que relatam que a soja, quando semeada em sucessão à aveia, ainda tem o benefício de diminuição de agentes causadores de doenças como a *Rhizoctonia* e *Sclerotinia*.

A aveia preta é uma planta pertencente à família das *Poaceae*, de origem Asiática, Mediterrâneo e Oriente Médio, e tal gênero compreende várias espécies silvestres, daninhas e cultivadas distribuídas nos continentes. As principais espécies cultivadas no Brasil são a aveia branca (*Avena sativa* L.), a aveia amarela (*Avena byzantina* C. Koch) e a aveia preta (*Avena strigosa*

Schreb). A cultura possui várias formas de utilização, tanto para consumo humano quanto animal, sendo o seu maior uso no Brasil para a formação de pastagens de inverno para pastejo, e/ou preparação de feno ou de silagem para alimentação animal, ou ainda de cobertura do solo via adubação verde, visando a implantação das culturas de verão, em sucessão (EMBRAPA, 2012).

A aveia preta vem se destacando por ser uma planta que se adapta à diferentes condições de clima e solo, com excelente capacidade de perfilhamento e produção de matéria seca, possui também baixa exigência em fertilidade do solo, graças ao seu sistema radicular fasciculado com raízes fibrosas, além de possuir alta tolerância a seca. Devido sua alta relação C/N, seus resíduos vegetais possuem menor velocidade de decomposição, atribuindo liberação mais lenta e gradual de nutrientes quando comparada a outras gramíneas utilizadas como adubos verdes (CRUSCIOL *et al.*, 2008).

As culturas chamadas adubos verdes ou plantas de cobertura, consistem em introduzir, em um sistema de produção, espécies pertinentes para deixar massa vegetal sobre o solo ou para incorporação (BARRADAS, 2010). Pelo seu sistema radicular mais agressivo do que de outras espécies, extraem os nutrientes disponíveis das camadas mais profundas do solo, de maneira a disponibiliza-los superficialmente. A liberação destes nutrientes, depende da relação C/N, parte da planta e clima, portanto, pode ser rápida e abundante ou lenta e gradativa (ROSOLEM *et al.*, 2003).

Logo, é necessário definir dentro do sistema de produção, espécies que conciliem alta produção de palhada para a cobertura do solo com um crescimento intenso do sistema radicular, resultando em melhorias estruturais do solo. Outro exemplo de gramíneas bastante utilizadas são as braquiárias (*Urochloas*), que possuem sistema radicular fasciculado e de rápido estabelecimento. Essas espécies são plenamente adaptadas às condições edafoclimáticas que ocorrem em regiões de clima tropical (SALTON; TOMAZI, 2014), assim como a aveia preta.

No entanto, existem até o momento poucas publicações que descrevem a produção de matéria seca e o processo de degradação dos resíduos vegetais da aveia preta, com intuito de estudar mais sobre a quantidade de nutrientes disponíveis na fitomassa após o seu manejo. Estima-se que mesmo em condições climáticas desfavoráveis ou em cultivos tardios, a cultura pode

proporcionar em matéria seca mais de 4 t ha⁻¹, e em relação à sua composição química foram verificados na matéria seca da parte aérea valores de 17; 1,0; 16; 2,5 e 1,7 g kg⁻¹ de N, P, K, Ca e Mg, respectivamente. Dois anos após a avaliação inicial foram verificados acúmulos expressivos de N, P e K iguais a 42,5; 10 e 89,5 kg ha⁻¹ (CRUSCIOL *et al.*, 2008).

Apesar de possuir baixa exigência em fertilidade do solo, a aveia preta é uma planta que responde bem a adubação nitrogenada, fosfatada e potássica (DICKMANN, 2019), no entanto, a velocidade de liberação de nitrogênio dos resíduos vegetais é lenta, sendo apenas 40 % do total acumulado disponibilizado para as plantas em sucessão 60 dias após sua dessecação e corte, portanto, uma alternativa para aumentar a disponibilidade do nutriente é o uso de plantas leguminosas no sistema de rotação, por apresentarem capacidade de fixar o N₂ atmosférico na simbiose com bactérias diazotróficas e/ou promotoras do crescimento vegetal (ALVES DA SILVA *et al.*, 2007).

2.6 Inoculação de sementes de gramíneas com *Azospirillum* spp.

Com a expansão das áreas produtoras de grãos no Brasil, há necessidade de pesquisas para incrementar a produção e ao mesmo tempo visões estratégicas para o futuro, como a Agricultura de Baixo Carbono, que leva em conta a FBN por bactérias promotoras de crescimento (BPC) em um dos seus programas (Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura, 2012), sendo de grande valia para o desenvolvimento do país e de uma agricultura com menor impacto, mais sustentável (GÍRIO *et al.*, 2015) e com custo reduzido.

Logo, em situações de crise, deve-se analisar o comércio frente à produção de fertilizantes, tendo em vista que o maior gasto que se tem com a instalação de uma lavoura são os custos com fertilizantes, sendo a maioria importados (RICHETTI, 2012), portanto é ponto chave entre lucro ou prejuízo da lavoura.

Apesar da maioria das plantas forrageiras responder às aplicações de nitrogênio, é uma prática com custo alto e com efeitos de curta duração em solos

tropicais (CANTO *et al.*, 2013). Além do mais, se usados de forma indiscriminada, sem o auxílio de um profissional capacitado, podem causar sérios danos ao meio ambiente, uma vez que aproximadamente 50 % do N é volatilizado ou lixiviado, podendo causar contaminação de lençóis freáticos e o próprio solo (DUARTE *et al.*, 2020).

Alguns estudos têm exposto como recurso alternativo para a economia de fertilizantes, o uso da inoculação das sementes por bactérias diazotróficas, destacando-se entre os diversos gêneros o *Azospirillum*. Calcula-se que com o uso de inoculantes envolvendo cepas selecionadas de *A. brasilense*, pode haver economia de U\$ 2 bilhões por ano em fertilizantes minerais, diminuindo também os custos com transporte e redução na poluição resultante da produção de fertilizantes nitrogenados (HUNGRIA, 2011).

O uso de bactérias diazotróficas para fixação biológica, disponibiliza NH_3 ou aminoácidos para as plantas a partir do N_2 atmosférico, podendo com isso suprir a necessidade total ou parcial da demanda do nitrogênio requerido pelas plantas para completarem seu ciclo. Os estudos com plantas leguminosas vêm desde o início do século XX, o que permitiu um grande avanço na prática de inoculação de sementes com bactérias simbióticas. No entanto, as pesquisas com gramíneas são mais recentes e já é notado que os resultados vêm sendo positivos (ROSÁRIO, 2013).

A fixação biológica do N atmosférico é realizada por um grupo específico de bactérias, nomeadas como diazotróficas. Dentre elas, destaca-se um dos gêneros de bactérias promotoras do crescimento de plantas (PGPB) mais estudados atualmente, devido à sua capacidade de colonização de várias espécies de plantas, o gênero *Azospirillum*, especialmente a espécie *brasilense*, que tem sido empregada como inoculante em diversas culturas, tais como cereais, algodão, cana-de-açúcar, café, braquiárias e outras (CASSAN; DIAZ-ZORITA, 2016).

A principal característica destas bactérias está em colonizar o sistema radicular e o colmo das gramíneas, promovendo o crescimento das raízes das plantas, induzido pela produção de substâncias promotoras de crescimento, como auxinas, giberelinas e citocininas (DOMINGUES NETO *et al.*, 2014).

2.7 Bioindicadores de qualidade do solo

A conceituação de qualidade do solo, proposta pela Sociedade Americana de Ciência do Solo (USDA) é a seguinte: “a capacidade de uma determinada classe de solo, dentro de um ambiente natural ou manejado, em manter a produtividade, sustentar a qualidade do ar e da água e promover a saúde dos seres humanos, animais e plantas” (USDA, 2001).

Em relatório sobre o estado dos recursos mundiais do solo (FAO, 2015) há indicação que a maioria dos solos mundiais está em condições baixa ou muito baixa de fertilidade. O fator mais preocupante é caracterizado por avançados níveis de erosão, levando a perdas de culturas, bem como aumento da acidez do solo com conseqüente falta de nutrientes, restringindo a produção de alimentos (LEGAZ *et al.*, 2017).

As características de qualidade do solo podem ser avaliadas pelo uso de indicadores físicos, químicos e biológicos, que estão relacionados com atributos que mensuram ou refletem o status ambiental ou a condição de sustentabilidade do sistema (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007).

Estes indicadores de qualidade são essenciais para acompanhar os impactos causados no solo, sejam eles bons ou ruins, decorrentes de fenômenos naturais ou de atividades antrópicas (ARSHAD; MARTIN, 2002).

No solo acontecem reações químicas e bioquímicas que proporcionam a ciclagem e reutilização de nutrientes na natureza. Dentre os constituintes do solo que provocam esse processo existem moléculas de caráter proteico, especializadas em catalisar reações químicas, nomeadas enzimas, que nos ciclos biogeoquímicos, transformam o material orgânico, aceleram a ciclagem dos nutrientes e são usadas como critérios para a identificação da qualidade biológica do solo (BALOTA *et al.*, 2013).

O manejo realizado no solo interfere diretamente na sua qualidade física como um todo, e conseqüentemente, nas comunidades de microorganismos e na biomassa microbiana. A atividade enzimática e a respiração microbiana são alguns dos parâmetros utilizados para quantificar essa atividade no solo e os microorganismos chave que fazem parte da dinâmica da matéria orgânica (JANUSCKIEWICZ *et al.*, 2019).

A biomassa microbiana do solo é descrita como a parte viva e ativa da matéria orgânica (M.O.), executando valioso papel nas funções-chave, controlando a taxa de decomposição e o acúmulo de matéria orgânica no ambiente, regulando o fluxo de energia do solo, ciclagem e/ou solubilização de nutrientes (ROSCOE *et al.*, 2006)

Essa população de microorganismos que colonizam o solo é o principal responsável pela decomposição dos substratos orgânicos presentes no ambiente, assim como pela ciclagem de nutrientes, influenciando na transformação da matéria orgânica e na estocagem de nutrientes e carbono no sistema. Análises da biomassa microbiana não oferecem indicações específicas sobre os níveis de atividade das populações, sendo importante também avaliar outros parâmetros que estimem o desenvolvimento dessas colônias (MATSUOKA *et al.*, 2003).

A respiração basal do solo, o quociente metabólico (qCO_2) e atividade enzimática fornecem medidas da atividade microbiana, que são indicadores sensíveis das alterações da qualidade do solo em resposta às mudanças ambientais (CREAMER *et al.*, 2014). As enzimas comumente analisadas são as hidrolases ligadas aos ciclos dos principais elementos do solo como carbono, nitrogênio, fósforo e enxofre (SILVEIRA, 2006; MATSUOKA, 2006).

De acordo com Melo *et al.* (2010), as enzimas responsáveis pela atividade no solo podem ser intracelulares, relacionadas às células microbianas, e extracelulares, produzidas por organismos vivos que o habitam, os quais as excretam para o ambiente com finalidade de degradar moléculas de alta massa molecular.

A arilsulfatase é uma enzima do solo que catalisa a hidrólise de ésteres de sulfatos, que compõem uma das formas orgânicas do enxofre. Esse grupo de enzimas pertencem à classe das hidrolases que catalisam a hidrólise extracelular da ligação éster de sulfato ligado ao radical arila (MELO *et al.*, 2010). Acredita-se que esta enzima seja a responsável pela ciclagem do enxofre no solo por meio dos processos de mineralização (AL-KHAFAJI; TABATABAI, 1979), liberando sulfato, que é a forma com que o nutriente é assimilado pelas plantas.

A β -Glicosidase é outra enzima no solo que atua na etapa final do processo de decomposição da celulose, pela hidrolisação dos resíduos de

celobiose, e mudanças em sua atividade podem ter, por consequência, influência sobre a qualidade do solo (PASSOS *et al.*, 2008). Entre os indicadores estudados no experimento de Chaer e Tótola (2007), a atividade da enzima β -glicosidase ficou entre as mais sensíveis ao efeito do uso ou manejo do solo, em áreas com eucalipto. Assim, a determinação da atividade da β -glicosidase, é potencialmente relevante na avaliação do ciclo do carbono no solo, pois são enzimas que catalisam a hidrólise de diferentes glicosídeos e desempenham um papel importante na quebra de oligossacarídeos de baixa massa molecular para a produção de monossacarídeos, sendo a principal fonte de energia para os microrganismos no solo (MARTÍNEZ *et al.* 2007)

Enquanto que a fosfatase ácida atua no processo de mineralização de ésteres e anidridos de ácido fosfórico, sendo fundamentais na mineralização do fósforo pela hidrólise de ésteres de fosfatos, promovendo sua liberação na forma inorgânica a partir do P orgânico, disponibilizando-o para as plantas e demais organismos no solo (TABATABAI, 1994; KEDI *et al.*, 2013). Ainda segundo os autores, a enzima fosfatase ácida também é produzida por vegetais, porém, com maior participação da microbiota do solo, ao contrário da fosfatase alcalina.

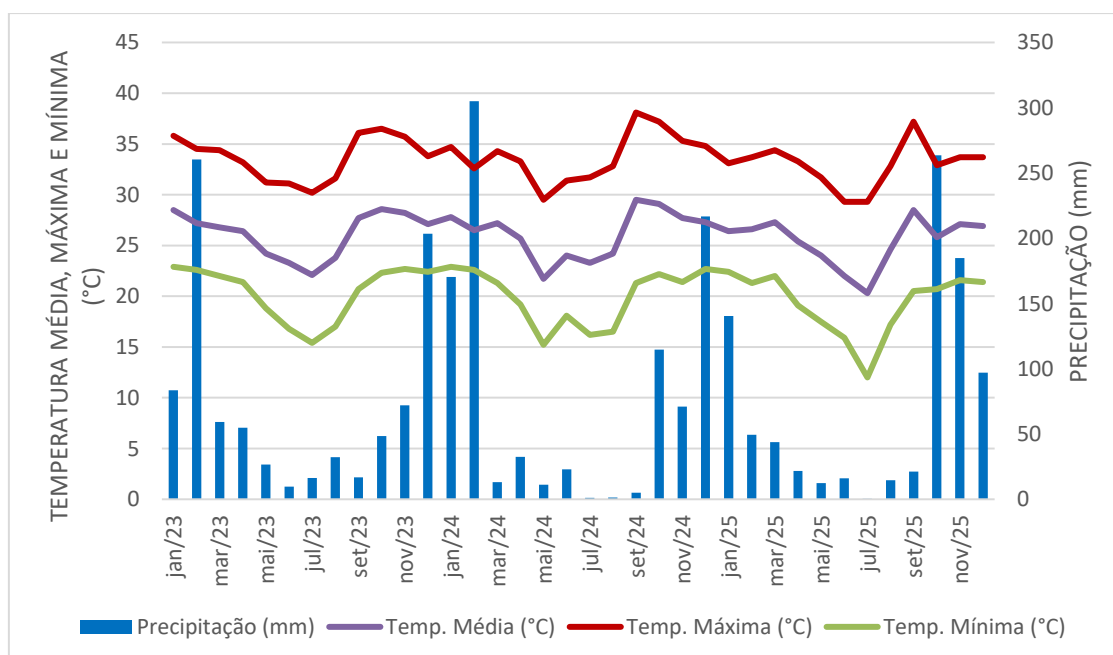
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização, Histórico e Caracterização da Área Experimental

A pesquisa é parte de um experimento de longa duração e foi realizado em condições de campo, na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE) – Setor de Produção Vegetal, da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – SP (UNESP), localizada no município de Selvíria - MS (20°20'S e 51°24'W, altitude de 335 m).

O relevo é caracterizado como moderadamente plano, o clima é descrito como tropical úmido, Aw, conforme classificação de Köppen, com estação chuvosa no verão e seca no inverno. Durante a realização do experimento foram coletados junto à estação meteorológica situada na FEPE da FE/UNESP os dados mensais referentes à temperatura média, máxima e mínima do ar e a precipitação pluvial no período em que foi realizado o experimento (Figura 1).

Figura 1. Dados climáticos de temperatura média, máxima, mínima e precipitação pluvial, no município de Selvíria - MS, durante o período de condução do experimento.



Nota: Dados coletados na estação meteorológica do laboratório de irrigação e drenagem localizado na FE/Unesp-Ilha Solteira. Fonte: Elaborado pela própria autora.

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico argiloso (SANTOS *et al.*, 2018). A área experimental possui histórico de cultivo com culturas anuais em SPD há 18 anos. Anteriormente à condução dos experimentos propostos nessa pesquisa houve uma sequência de culturas, assim descritas:

Quadro 1. Histórico de cultivo das culturas implementadas na área antes da implantação do experimento e durante:

Junho a outubro/2013	Dez./2013 a abril/2014	Junho a setembro/2014	Outubro/2014 a maio/2015
Aveia Preta	Consórcio de milho e capim-Marandu	Feijão de inverno	Capim-Marandu
Junho a outubro/2015	Dez./2015 a abril/2016	Junho a setembro/2016	Outubro a nov./2016
Aveia preta	Consórcio de milho e capim-Marandu	Feijão de inverno	Capim-Marandu
Nov./2016 a março/2017	Março a setembro/2017	Nov./2017 a março/2018	Março a setembro/2018
Soja	Consórcio de milho e capim-Marandu	Soja	Sorgo granífero em consórcio com capim Piatã
Outubro/2018 a março/2019	Junho a outubro/2019	Nov./2019 a março/2020	Mai a setembro/2020
Soja	Aveia Preta	Soja	Aveia Preta
Nov./2020 a março/2021			
Soja			

Fonte: Elaborado pela própria autora.

É importante ressaltar que na safra de 2019/20 e 2020/21 não houve rotação de culturas, pois em ambos os anos agrícolas ocorreu uma alta pressão de cigarrinha (*Dalbulus maidis*), causadora do enfezamento pálido e enfezamento vermelho na cultura do milho, por isso foi optado o uso da aveia preta em sucessão com a soja. O histórico de culturas apresentado anteriormente foi obtido a partir do momento em que foi instalado o experimento em 2013.

Na implantação do experimento (14/04/2013) foi realizada a caracterização química inicial do solo (RAIJ *et al.*, 2001), obtendo-se os seguintes resultados: pH 5,0 (CaCl₂); 25 g dm⁻³ de M.O.; 16 mg dm⁻³ de P (resina); 19; 2,2 e 14 mmol_c dm⁻³, respectivamente, para cálcio (Ca), potássio (K) e magnésio (Mg), 36 mmol_c dm⁻³ de acidez potencial (H+Al), 71,2 mmol_c dm⁻³ de capacidade de troca catiônica (CTC), 49% de saturação por bases (V %).

Com base nos resultados da análise química do solo e com a finalidade de elevar a saturação de base a 70%, realizou-se a aplicação de calcário dolomítico (PRNT de 87%) à lanço e em área total, na dose de 1,7 t ha⁻¹ (superficial e sem incorporação). Vale ressaltar que não foi feita a incorporação do calcário na implantação do experimento, pois a área já era oriunda do SPD, sendo que o não revolvimento do solo é um dos fundamentos do sistema.

O delineamento experimental utilizado durante a condução do estudo foi o de blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema fatorial 5 x 2, ou seja, cinco doses de P₂O₅ na forma de MAP (0; 30; 60; 120 e 240 kg ha⁻¹ de P₂O₅), aplicados a lanço na semeadura da aveia preta (cultivar IAPAR 61), no ano de 2013 e com ou sem a inoculação das sementes com a bactéria *Azospirillum brasilense* (estirpes AbV5 e AbV6 (garantia de 2x10⁸ UFC/mL)) nas gramíneas da rotação de 2013 a 2020, fornecida via inoculante líquido na dose comercial de 100 mL 25 kg⁻¹ de sementes.

A inoculação das sementes foi efetuada momentos antes da semeadura, à sombra. Cada unidade experimental (parcela) constituiu-se de 4,4 m de largura e 10 m de comprimento, perfazendo 44 m², sendo que todos os cultivos foram conduzidos sob as mesmas áreas das parcelas.

As adubações de semeadura e cobertura foram realizadas de acordo com a análise inicial do solo, seguindo as recomendações de Cantarella, Raij e Camargo (1997) para a cultura da aveia. No ano de 2013, os teores iniciais de

fósforo no solo encontravam-se médios (RAIJ *et al*, 1996), assim optou-se por realizar a adubação fosfatada a lanço e sem incorporação.

Desta forma, um dia antes da semeadura da aveia preta foram aplicadas as doses de P_2O_5 em cada parcela experimental, utilizando o MAP como fonte (52% P_2O_5 e 12% N). Cabe destacar que, no dia da adubação de semeadura, corrigiu-se a quantidade de N pelo uso de ureia, uma vez que o MAP continha 12% de N. A adubação de cobertura foi realizada no estágio fenológico de início de perfilhamento em 03/07/2013 por meio da aplicação de 60 kg ha^{-1} de K_2O , via cloreto de potássio, e 60 kg ha^{-1} de N, via ureia, seguindo as recomendações de Cantarella, Raij e Camargo (1997) para a cultura da aveia.

Até o ano 2019 não houve a necessidade de adubação fosfatada, sendo até então avaliado somente o efeito residual do fósforo aplicado em 2013, aplicando-se conforme a necessidade, apenas N e/ou K_2O em cobertura, de acordo com cada cultura em rotação.

Após toda colheita de soja foi realizada análise química de solo, nas profundidades de 0-0,10 e 0,10-0,20 m, coletadas em 10 pontos distintos dentro de cada parcela, que após secas ao ar foram homogeneizadas, moídas e passadas em peneiras a 100 mesh e analisadas segundo metodologia proposta por Raij *et al*. (2001). Na safra 2019/20 após a coleta de solo e análise dos resultados (Figura 2) foram obtidos os seguintes valores: pH 4,8 ($CaCl_2$); $23,2 \text{ g dm}^{-3}$ de M.O.; $4,7 \text{ mg dm}^{-3}$ de P (resina); 17, 13 e $2,1 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente, para Ca, Mg e K, $36 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de acidez potencial (H+Al), $67 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de capacidade de troca catiônica (CTC) e 45,3% de saturação por bases (V %). Assim, constatou-se que os teores de P encontravam-se, em média, abaixo de 5 mg dm^{-3} , optando então pela reaplicação do fósforo na área, que foi realizada na safra da aveia preta em maio de 2020 na forma de MAP (0; 30; 60; 120 e 240 kg ha^{-1} de P_2O_5), aplicadas a lanço na semeadura da aveia preta (cultivar EMBRAPA 29).

Figura 2. Coleta de amostras de solo para caracterização da área e semeadura da soja. Selvíria, 2020



Fonte: Elaborado pela própria autora.

Novamente, no dia da adubação de semeadura da aveia preta, corrigiu-se a quantidade de N pelo uso de ureia, uma vez que o MAP continha 12% de N, portanto, a quantidade total de N foi de 52 kg por ha⁻¹.

Anteriormente à implantação de cada cultura da rotação, com o objetivo de formação de palhada (Figura 3), as plantas da área foram dessecadas com os herbicidas Glyphosate (4 L ha⁻¹ do p.c.). Assim, para continuidade do estudo, foram realizados 3 cultivos (experimentos): soja (novembro/2019), aveia preta (maio/2020) e soja (novembro/2020), onde foram avaliados os componentes de produção e produtividade da cultura da soja.

Figura 3. Cultura da aveia preta em pleno desenvolvimento (A) e dessecada (B) para formação de palhada. Selvíria/2020



Fonte: Elaborado pela própria autora.

A semeadura da soja (05/11/2019 e 05/11/2020) foi realizada com o cultivar TMG 7063 IPRO, com uso de semeadora-adubadora com mecanismo sulcador do tipo haste (facão) para SPD, com espaçamento de 0,45 metros entre linhas e aproximadamente 14,9 sementes por metro de sulco.

Antes da semeadura, as sementes foram tratadas com Standak Top (2 mL por kg de semente), e inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* (100 g do produto comercial para 40 kg de sementes), na formulação sólido turfoso. A inoculação foi feita com o auxílio de uma betoneira, momentos antes da semeadura (Figura 4), enquanto que a adubação de base foi com 136 kg ha⁻¹ de KCl, em ambos os anos, não sendo realizada nenhuma adubação adicional na soja.

Figura 4. Inoculante usado na semeadura da soja (A), semeadura da soja safra 20/21 (B) e conferência de estande de plantas e germinação da soja (C)



Fonte: Elaborado pela própria autora.

Os tratos culturais da soja foram realizados durante o ciclo, com o objetivo de controlar preventivamente o ataque de pragas e doenças, com aplicações de herbicidas para plantas daninhas nas fases iniciais, até o completo fechamento das entrelinhas da cultura.

3.2 Avaliações realizadas antes da colheita

As avaliações biométricas foram realizadas um dia antes da colheita da soja para determinação da população de plantas, a altura de plantas e a altura de inserção da primeira vagem.

3.2.1 População de Plantas (POP)

Contagem do número de plantas nas 3 linhas centrais, em 9 metros de linha das parcelas (Figura 5) e posteriormente convertido por hectare.

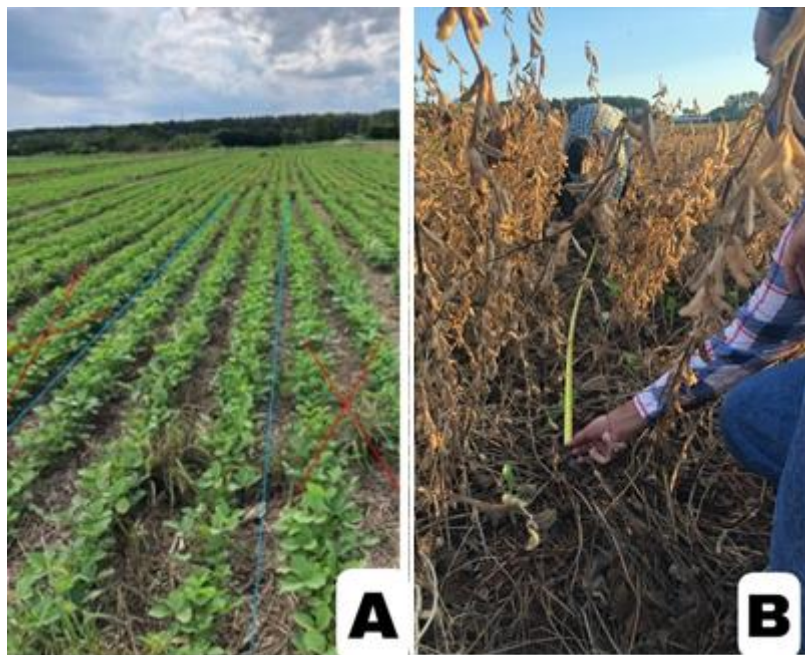
3.2.2 *Altura de plantas (ALT)*

A medição foi realizada na área útil da área experimental, determinada em dez plantas por parcela, avaliando a distância média compreendida da superfície do solo até a extremidade superior da soja, utilizando-se régua graduada (Figuras 5 e 6).

3.2.3 *Altura da inserção da primeira vagem (ALTPV)*

A medição foi realizada na área útil, nas mesmas dez plantas por parcela, a distância média compreendida da superfície do solo até a inserção da primeira vagem, utilizando-se régua graduada (Figuras 5 e 6).

Figura 5. Avaliações biométricas realizadas antes da colheita: Avaliação das linhas centrais para determinar a população de plantas (A) e Medição dos 9 metros para determinação da população (B)



Fonte: Elaborado pela própria autora.

Figura 6. Avaliações biométricas realizadas antes da colheita: Avaliação de inserção da primeira vagem (A) e Avaliação da altura de plantas (B)



Fonte: Elaborado pela própria autora.

3.3 Avaliações realizadas após a colheita

As colheitas da soja foram realizadas nos dias 04/03/2020 e 24/02/2021, no qual foram determinados os componentes de produção: número de vagens por planta, número de grãos por planta, massa de 100 grãos e produtividade de grãos de soja.

3.3.1 Número de vagens por planta (NVP)

Determinado pela contagem do número de vagens em 10 plantas da área útil das parcelas e posteriormente calculada a média por planta (Figura 8).

3.3.2 Número de grãos por Planta (NGP)

Determinado pela contagem do número de grãos das vagens em 10 plantas na área útil das parcelas e posteriormente calculada a média por planta (Figura 8).

3.3.3 Massa de 100 grãos (M100)

De cada tratamento foram separadas quatro amostras de 100 grãos e levadas ao laboratório para contagem em contador eletrônico e determinação da massa de 100 grãos em balança eletrônica de precisão (0,01 g), corrigindo a umidade para 13% (base úmida).

3.3.4 Produtividade de Grãos de Soja (PG)

As plantas de soja (Figura 7), contadas nas 3 linhas centrais e em 9 m de linhas das parcelas foram colhidas manualmente, trilhadas e os grãos pesados

para determinação da produtividade por parcela. Posteriormente foi extrapolada para kg ha^{-1} , corrigindo a umidade para 13% (base úmida).

Figura 7. Colheita dos feixes de soja separados por parcelas



Fonte: Elaborado pela própria autora.

Figura 8. Avaliações Biométricas realizadas após a colheita



Nota: Vagens separadas para avaliações após a colheita.
Fonte: Elaborado pela própria autora.

3.4 Avaliações microbiológicas e enzimáticas do solo

Para realização das análises referentes à biomassa microbiana e enzimáticas foram coletadas amostras de solo na camada de 0 - 0,10 m, ao final de cada ciclo da cultura da soja (2019/20 e 2020/21), e em cada parcela (média de 15 subamostras por parcela). Em laboratório, as amostras foram tamisadas em peneira com malha de 2 mm, armazenadas em geladeira e posteriormente realizadas as análises microbianas.

3.4.1 Atividade respiratória microbiana (ARM)

A atividade respiratória microbiana foi determinada em 100 g de solo seco, inserido em recipiente de vidro com capacidade para 2,5 L, conforme metodologia de Rezende *et al.* (2004), com adaptações, com a umidade do solo ajustada para 100% da capacidade de retenção de água (CRA).

Cada recipiente recebeu 2 béqueres de 50 mL, um contendo 20 mL e água destilada e outro 20 mL de solução de NaOH 0,5 mol L⁻¹. Os recipientes foram vedados com filme plástico PVC, tampa, e incubados em sala com ausência de luz a temperatura ambiente durante 7 dias. Após o período de incubação, o béquer com NaOH 0,5 mol L⁻¹ foi retirado e adicionado 2 mL de solução de BaCl₂ 30%, três gotas de solução de fenolftaleína 1%, e titulado com solução de ácido clorídrico 0,5 mol L⁻¹, até a viragem de cor rosa para branco leitoso. Foram adicionados dois controles com ausência de solo.

3.4.2 Carbono da biomassa microbiana (CBM)

Para determinação do carbono da biomassa microbiana, utilizou-se os procedimentos descritos por Jenkinson e Powlson (1976), modificado por Oliveira; Mendes e Vivaldi (2001). Após a coleta no campo, o teor de umidade das amostras de solo (20 g) foi elevado a 100% da capacidade de retenção de água (equivalente ao teor de H₂O retido no solo a 6 KPa). A seguir, metade das amostras foi fumigada (F) por 48 horas em um dessecador que continha uma

placa de Petri com 25 mL de clorofórmio livre de álcool. Neste período, as amostras não fumigadas (NF) foram mantidas na temperatura ambiente. Após a fumigação, as amostras F e NF foram transferidas para recipientes de vidro com tampas rosqueáveis e capacidade de 500 mL, que continham um frasco com 10 mL e utilizou-se KOH 1 mol L⁻¹, em virtude das elevadas taxas de respiração.

As amostras foram então incubadas, no escuro, por 2 dias, à temperatura ambiente. A quantidade de CO₂ liberado do solo foi determinada após titulação com HCl 0,1 mol L⁻¹, usando fenolftaleína 1% como indicador. Antes da titulação, foram adicionados 3 mL de BaCl₂ 20%. A quantidade de carbono da biomassa microbiana do solo (CBM) foi determinada pela diferença entre o CO₂ liberado das amostras F e NF, no período de 10 dias após a fumigação, utilizando um fator de correção (Kc) de 0,41 (ANDERSON; DOMSCH, 1978).

3.4.3 Quociente metabólico (qCO₂)

O quociente metabólico, que representa a quantidade de CO₂ liberado por unidade de biomassa microbiana, foi estimado pela razão entre a atividade respiratória microbiana (ARM) e o carbono da biomassa microbiana do solo (CBM) (ANDERSON; DOMSCH, 1993), seguindo as equações:

$$CO_2 = TRM/CBM \quad (1)$$

$$TRM = RM/d \quad (2) \quad \text{em que:}$$

qCO₂= quociente metabólico (mg C-CO₂ mg C mic⁻¹ dia⁻¹);

TRM= taxa de respiração microbiana (mg C-CO₂ kg⁻¹ dia⁻¹);

RM= respiração microbiana (mg C-CO₂ kg⁻¹);

d= dias de incubação para a determinação da respiração microbiana;

CBM= carbono da biomassa microbiana (mg C kg⁻¹).

3.4.4 Carbono orgânico total (COT)

O carbono orgânico total foi determinado pelo método Walkley e Black (1934). Foram usados 500 miligramas de amostra de solo passados em peneira de abertura de malha 0,5 mm e colocadas em erlenmeyer de 500 mL. Em seguida, adiciona-se 10 mL de solução de dicromato de potássio 0,167 mol L⁻¹ e 20 mL de ácido sulfúrico concentrado, agitando. Após repouso de 30 minutos, adicionaram-se 200 mL de água destilada, 10 mL de ácido fosfórico concentrado e 1,0 mL de difenilamina 0,16%. A titulação do excesso de dicromato foi realizada com sulfato ferroso amoniacal.

3.4.5 Atividade Enzimática

As amostras foram coletadas com o auxílio de trado de rosca, com quinze amostras simples para compor uma amostra composta de solo, na profundidade de 0 a 0,10 m por parcela, ao final de cada ciclo produtivo. Posteriormente, as amostras foram tamisadas em peneira de malha de 2 mm, acondicionadas em recipientes plásticos de 250 mL e mantidas em câmara fria (10°C) até o momento das análises.

Para cada amostra de solo, coletada no campo, foram efetuadas três repetições analíticas no laboratório. A atividade enzimática do solo foi expressa em µg p-nitrofenol liberado por grama de solo seco por hora. As metodologias de extração enzimáticas seguem descritas a seguir:

3.4.6 β-Glucosidase

O substrato utilizado na reação desta enzima é o *p*-nitrofenil-β-D-Glucopyranosídeo 0,05 M (PNG 0,05 M).

As amostras de solo (1,0 g) foram colocadas em erlenmeyer de 50 mL, sendo utilizado um controle onde só foi adicionado o substrato após a incubação. Em seguida, foi adicionado 250 µL de Tolueno, 4,0 mL da solução MUB pH 6 a todas as amostras e 1,0 mL de PBG 0,05 M, com exceção aos controles. Os erlenmeyers foram fechados com rolhas de borracha e incubados a 37 °C por 1h. Após a incubação, foi adicionado 1,0 mL de CaCl₂ 0,5 M, 4,0 mL de Tris-

hydroxymethyl-Amino-Metano (THAM pH 12) e 1,0 mL de PNG 0,05 M (somente aos controles). Procedeu-se em seguida, a filtração em papel filtro nº2. A intensidade da coloração amarela do filtrado foi determinada em espectrofotômetro a 410 nm.

A quantidade de *p*-nitroferol formada em cada amostra foi determinada com base em curva padrão preparada com concentrações conhecidas de *p*-nitroferol (0, 10, 20, 30, 40, 50 mg de *p*-nitroferol mL⁻¹). A atividade enzimática foi expressa em µg *p*-nitroferol h⁻¹ g⁻¹ solo seco.

3.4.7 Fosfatase Ácida

O substrato utilizado na reação desta enzima é o *p*-nitrofenil-β-D-Glucopyranosídeo 0,05 M (PNG 0,05 M).

As amostras de solo (1,0 g) foram colocadas em erlenmeyer de 50 mL, sendo utilizado um controle onde só foi adicionado o substrato após a incubação. Em seguida, foi adicionado 200 µL de Tolueno, 4,0 mL da solução MUB pH 6,5 em todos os frascos e 1,0 mL de PNF 0,05 M, com exceção aos controles. Os erlenmeyers foram fechados com rolhas de borracha e incubados a 37 °C por 1h. Após a incubação, foram adicionados 1,0 mL de CaCl₂ 0,5 M, 4,0 mL de NaOH 0,5M e 1,0 mL de PNF 0,05 M (somente aos controles). Procedeu-se em seguida, a filtração em papel filtro nº2. A intensidade da coloração amarela do filtrado foi determinada em espectrofotômetro a 410 nm. A atividade desta enzima foi expressa na mesma unidade da β-Glucosidase.

3.4.8 Arilsulfatase

O substrato para determinação da atividade enzimática da enzima arilsulfatase foi o *p*-nitrofenil 0,05 M (PNG 0,05 M).

Para cada amostra de utiliza-se 1,0 g de solo, colocou-se em erlenmeyer de 50 mL, 4,0 mL da solução tampão de acetato, 1,0 mL de solução PNS, incubou-se por 1 h sob temperatura de 37 °C, e após esse período, procedeu-se de forma idêntica à análise de β -glucosidase. A atividade desta enzima foi expressa na mesma unidade da β -Glucosidase.

3.5 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($P < 0,05$). As médias por efeito de inoculação ou não com *Azospirillum brasilense* foram comparados pelo teste t (Student) ($P < 0,05$). Enquanto que o efeito da adubação fosfatada residual foi avaliado por análise de regressão, adotando-se nos modelos significativos, o de equação com maior coeficiente de determinação (R^2) ($P < 0,05$). As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software SISVAR® (FERREIRA, 2011).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Componentes de produção e produtividade da soja

No cultivo do ano de 2019/20, no qual foi a última safra com efeito residual da adubação fosfatada aplicada em 2013, com teores de fósforo abaixo do adequado, pode ser observado que, na área onde não houve inoculação com *Azospirillum brasilense* nas gramíneas antecessoras, via de regra, houve maior população de plantas com plantas menores do que a área onde foi feita a inoculação. Por outro lado, a menor população de plantas não influenciou na produtividade, pois a soja tem capacidade de compensar as falhas, produzindo mais ramos laterais, equilibrando na produção de vagens e grãos (Tabela 1).

De acordo com Rebelato *et al.* (2018), esse resultado provavelmente está relacionado a maior extração e exportação de nutrientes das áreas inoculadas, uma vez que vinham também de cultivos com produção de matéria seca e produtividade de grãos maiores, ou seja, conforme ocorre o aumento da produtividade, demandando maiores exigências nutricionais pelo aumento da extração e exportação de nutrientes pelas culturas da rotação.

É notório que diferentes culturas, com diferentes produtividades tenham também níveis de extração de nutrientes diferentes. Tal afirmação pode ser verificada no trabalho realizado por Pitta *et al.* (2001), onde a extração média de nutrientes pela cultura do sorgo em diferentes níveis de produtividade, aumentam linearmente com o acréscimo na produtividade.

Na safra 2019/20 apesar dos resultados não apresentarem efeito significativo em relação à altura (ALTP) e na população de plantas (POP), houve influência da inoculação por *Azospirillum brasilense*. Na safra 2020/21, houve um ajuste linear da adubação fosfatada residual na altura (ALTP) (Tabela 1), ou seja, à medida que se aumentou as doses de fósforo houve incremento no crescimento, passando de 113 cm sem adubação fosfatada para 119 cm com a dose 240 kg ha⁻¹, entretanto, sem efeito na produtividade de grãos (Tabela 2).

Tabela 1. Médias de altura de plantas (ALT), de inserção da primeira vagem (ALTPV) e população de plantas (POP) de soja, em função da inoculação por *Azospirillum brasilense* das culturas antecessoras e residual da adubação fosfatada. Selvíria, MS.

Tratamentos	ALTP		ALTPV		POP	
	cm		cm		Plantas ha ⁻¹	
	2019/20	2020/21	2019/20	2020/21	2019/20	2020/21
Inoculação – I						
Sem	114a	116	14	18	238.148b	224.938
Com	107b	114	13	17	265.185a	238.395
Pr > Fc	0,008*	0,220 ^{ns}	0,111 ^{ns}	0,389 ^{ns}	0,0001*	0,163 ^{ns}
Doses P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹) – D						
0	112	113 ⁽¹⁾	14	18	250.926	228.703
30	115	114	15	17	245.833	220.062
60	109	117	13	18	260.185	247.839
120	109	115	12	18	244.444	231.173
240	109	119	15	17	256.944	230.556
Pr > Fc	0,538 ^{ns}	0,588 ^{ns}	0,127 ^{ns}	0,893 ^{ns}	0,441 ^{ns}	0,467 ^{ns}
DMS	4,94	4,94	1,55	1,36	12.721	19.239
Modelo de equação – E	-	L	-	-	-	-
R ² (%)	-	72,6	-	-	-	-
Teste F – E	-	0,0001	-	-	-	-
Pr > F – I x D	0,290 ^{ns}	0,880 ^{ns}	0,133 ^{ns}	0,830 ^{ns}	0,099 ^{ns}	0,331 ^{ns}
CV (%)	6,9	6,6	17,3	11,9	7,8	12,9

Nota: Médias seguidas por mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade. *: significativo a 5% de probabilidade pelo Teste F, respectivamente. ns não significativo. Em que: DMS: diferença mínima significativa, CV: coeficiente de variação. ⁽¹⁾ y = 113,5+ 0,0206x (R² = 72,6%).

Fonte: Elaboração da própria autora.

Tabela 2. Médias de número de vagens por planta (NVP), de grãos por planta (NGP), massa de 100 grãos (M100) e produtividade de grãos de soja (PG), em função da inoculação por *Azospirillum brasilense* das culturas antecessoras e residual da adubação fosfatada. Selvíria, MS.

Tratamentos	NVP		NGP		M100		PG	
	2019/20	2020/21	2019/20	2020/21	g		kg ha ⁻¹	
Inoculação – I								
Sem	41a	46	81a	111	18,4	15,2	2965	3956
Com	36b	44	65b	105	18,7	15,2	2483	3895
Pr > Fc	0,033*	0,552 ^{ns}	0,007*	0,421 ^{ns}	0,272 ^{ns}	0,919 ^{ns}	0,053 ^{ns}	0,567 ^{ns}
Doses P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹) – D								
0	42	41	77	97	18,3 ⁽¹⁾	15,6	2875	3909
30	35	49	66	118	18,3	15,2	2722	4015
60	39	45	81	102	18,6	15,0	2810	3893
120	38	48	74	119	18,4	15,3	2653	3833
240	39	44	67	103	19,0	15,0	2560	4008
Pr > Fc	0,511 ^{ns}	0,331 ^{ns}	0,381 ^{ns}	0,233 ^{ns}	0,560 ^{ns}	0,720 ^{ns}	0,927 ^{ns}	0,745 ^{ns}
DMS	4,66	5,5	11,2	15,3	0,61	0,63	489	
Modelo de equação – E	-	-	-	-	L	-	-	-
R ² (%)	-	-	-	-	78,6	-	-	-
Teste F – E	-	-	-	-	0,0001*	-	-	-
Pr > F – I x D	0,748 ^{ns}	0,946 ^{ns}	0,591 ^{ns}	0,933 ^{ns}	0,732 ^{ns}	0,599 ^{ns}	0,996 ^{ns}	0,098 ^{ns}
CV (%)	18,7	18,8	23,7	22,0	5,1	6,5	27,8	8,5

Nota: Médias seguidas por mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade. *: significativo a 5% de probabilidade pelo Teste F, respectivamente. ns não significativo. Em que: DMS: diferença mínima significativa, CV: coeficiente de variação. ⁽¹⁾ $y = 18,28 + 0,0027x$ ($R^2 = 78,6\%$).

Fonte: Elaboração da própria autora.

Pode ser inferido que tal efeito pode estar associado a relação de simbiose dos microorganismos com a planta, o que favorece a produção de substâncias promotoras de crescimento melhorando a morfologia do sistema radicular, o que interfere de forma positiva na absorção de nutrientes pouco móveis disponíveis no solo, como é o caso do P (ESTRADA *et al.*, 2013).

De maneira geral, Santos *et al.* (2016) verificaram em plantas de milho, que depois de diferentes tempos de incubação, apesar de num primeiro momento ocorrer adsorção do fósforo nos coloides do solo, no decorrer do tempo o nutriente foi sendo liberado de forma gradual, contribuindo para o desenvolvimento das culturas. Entretanto, no presente trabalho, não se pode desconsiderar a composição mineralógica do solo com teores adequados de nutrientes, acidez corrigida, e o histórico da área com 18 anos de SPD, onde a palhada tem grande contribuição no fornecimento de P pela ciclagem de nutrientes da palhada.

Em um trabalho realizado por Heckler e Salton (2002) verifica-se que a persistência da palha sobre a superfície do solo resulta em processo de acúmulo gradativo de material orgânico no decorrer do tempo. Portanto, a partir de um dado momento, quando a taxa de aumento deste material orgânico superar a taxa de decomposição, a concentração de matéria orgânica tende a aumentar, aumentando assim da fertilidade do solo. Se há maior concentração de nutrientes e de teor de matéria orgânica nas camadas superficiais, haverá também aumento na eficiência de uso dos nutrientes, o que em muitas situações pode possibilitar a redução nas doses dos adubos.

As plantas de cobertura têm a aptidão de extrair elementos menos solúveis e de mobilizar nutrientes de camadas mais profundas do solo, isso se deve em função do alto crescimento do sistema radicular. As leguminosas com sistema radicular mais profundo aumentam a eficiência de utilização dos adubos, uma vez que trazem para as camadas superficiais do solo alguns nutrientes que seriam perdidos por lixiviação, principalmente K, Ca, Mg e N-NO₃. Até mesmo as plantas daninhas podem contribuir para esse sistema de cobertura do solo, produção de biomassa e ciclagem de nutrientes juntamente com as plantas introduzidas (MENEZES; LEANDRO, 2004).

Durante o crescimento das culturas após uso de plantas de cobertura, aproximadamente 77% do P das folhas e 79% do P das raízes mortas ficaram disponíveis no solo (MENDONÇA *et al.*, 2015).

No segundo ano de cultivo da soja (safra 2020/21), na área com inoculação houve incremento de 7 cm na altura média de plantas e de 4 cm na inserção de primeira vagem em comparação ao ano anterior, após a reaplicação de fósforo, no entanto, não foi constatada significância nos resultados de altura de plantas (ALTP) e inserção de primeira vagem (ALTPV) (Tabela 1).

Tais características morfológicas podem interferir na realização da colheita mecanizada. A altura de planta é considerada importante em virtude da sua relação com a produtividade, controle de plantas daninhas, acamamento e eficiência de colheita. Plantas pequenas (menores do que 0,50 m) contribuem para inserção da primeira vagem serem muito próximas ao solo, dificultando a colheita mecânica, consequentemente aumentando as perdas, pois vagens situadas abaixo do nível da barra de corte ficam ligadas ao que pode ser chamada de resteva e não são colhidas pela máquina. A altura das plantas e a inserção das primeiras vagens, geralmente, aumentam com o aumento da população de plantas (AGUILA *et al.*, 2011).

De acordo com Pereira Júnior *et al.* (2010), a altura de inserção da primeira vagem considerada adequada para a colheita mecanizada da soja é de 0,15 m, pois estes valores reduzem as perdas de vagens que não são colhidas (CHIODEROLI *et al.*, 2012). Sendo assim, verifica-se que apenas no ano de 2020/21 o valor médio encontrado no presente trabalho está acima do mínimo requerido.

No entanto Bonetti (1983) afirma que, cultivares com altura de inserção das primeiras vagens igual ou superior a 0,10 m são desejáveis para a realização da colheita mecânica; portanto, os valores obtidos no trabalho foram superiores aos mínimos indicados pela literatura.

Trabalhos na literatura como de Okon e LabanderaGonzalez (1994); Bashan e Holguin (1997) e Bashan *et al.*, (2004) demonstram que a *Azospirillum brasilense* estimula o crescimento e a produtividade de várias espécies de plantas, no qual em mais da metade dos experimentos conduzidos houve um acréscimo significativo, com valores em torno de 5% a 30%. A ausência de resposta da inoculação, como aqui verificadas (Tabelas 1 e 2), pode ser justificada pelo histórico da área com cultivos sucessivos de gramíneas, que se associam não só com o *Azospirillum brasilense*, mas também com as bactérias diazotróficas nativas do solo (HUNGRIA, 2011).

Resultados de experimentos conduzidos na Argentina e no Brasil nas últimas décadas foram compilados e a grande maioria indica benefícios da inoculação com *Azospirillum* spp no crescimento das plantas, mas muitas vezes sem efeito na

produtividade de grãos (CASSÁN; GARCIA DE SALAMONE, 2008), o que corrobora aos resultados da presente pesquisa.

De modo geral, a população de plantas (Tabela 1) foi influenciada apenas no primeiro ano de cultivo da soja (2019/20), onde a área que estava inoculada propiciou maior estande, mas, por ser um cultivar de crescimento indeterminado, ocorreu que na área não inoculada mesmo com menor número de plantas, houve maior número de vagens e maior quantidade de grãos (Tabela 2), o que determinou similar produtividade de grãos, ou seja, onde tinha mais plantas acarretou em menos vagens e menos grãos por planta, ocorrendo efeito compensatório na menor população de plantas.

Neste contexto, Oliveira *et al.* (2017) também verificaram que a população de plantas interfere no número de vagens por planta, que por sua vez, está intimamente ligado ao número de grãos por planta e, assim, tem grande efeito sobre a produtividade de grãos. Deve-se destacar também que resíduos orgânicos apresentam liberação gradativa de nutrientes, devido ao fato dos microrganismos se nutrirem de parte desses nutrientes e após disponibilizá-los pela mineralização (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006), auxiliam na ciclagem destes para as plantas, fato este que pode explicar, em parte, esse maior número de vagens por planta quando associado a inoculação das plantas antecessoras à soja pela maior quantidade de palhada residual destas áreas.

Pavinato e Ceretta (2004) verificaram que com a difusão do sistema plantio direto e melhoria na fertilidade dos solos, tem existido maior interesse na distribuição antecipada dos fertilizantes fosfatados no solo em sistemas de produção. Com isso, o produtor consegue maior agilidade na implantação das culturas de verão, melhor utilização de maquinário e mão-de-obra, além de menor custo dos fertilizantes e de seu transporte, semelhantemente ao que foi efetuado no presente trabalho com aplicação de MAP a lanço em 2013 e reaplicação em 2020 em culturas antecessoras à soja.

Na primeira safra de soja aqui avaliada (2019/20), a produtividade de grãos (Tabela 2) não teve efeito da inoculação das culturas antecessoras e do residual da adubação fosfatada. Deve-se destacar que na média por safra, em 2019/20, a produtividade de grãos foi menor que na safra 2020/21. Apesar dos teores de fósforo estarem pouco abaixo do que é considerado adequado em 2019/20, quando observado o tratamento com dose 0 de P_2O_5 , onde a produtividade foi semelhante as

doses 30, 60, 120 e 240 kg, levanta-se a hipótese dessa produtividade ter sido influenciada pela intensa estiagem que ocorreu durante o estágio fenológico mais crítico (enchimento de grãos) e por consequência, prejudicando o desempenho da cultura e ocasionando perdas de produção. Vale ressaltar que o déficit hídrico é um dos principais fatores que limitam as produtividades agrícolas da soja (GALÃO *et al.*, 2014).

Visto que o clima é um fator essencial no processo de produção, Hirakuri (2010) afirma que para obter seu potencial máximo produtivo, a necessidade hídrica da cultura da soja durante seu ciclo é de 450 a 800 milímetros. Onde a semente precisaria absorver 50% de seu peso em água, no período de germinação-emergência, tanto o excesso quanto a falta de água são prejudiciais à obtenção de uma uniformidade na população de plantas. Estiagens expressivas, durante a floração e o enchimento de grãos, causam alterações fisiológicas na planta, como o fechamento estomático e o enrolamento de folhas, e por conta disso ocorre a queda prematura de folhas e de flores e abortamento de vagens e consequentemente há redução da produtividade de grãos. Entretanto, na safra 2019/20, ocorreu efeito linear para o residual das doses de fósforo na massa de 100 grãos, mas não significativo para produtividade.

Para número de vagens por planta (NVP) e de grãos por planta (NGP) (Tabela 2), houve efeito significativo no primeiro ano de cultivo (2019/20). Onde as áreas sem inoculação apresentaram maiores valores, pois como citado anteriormente, este resultado está relacionado ao efeito compensatório da menor população de plantas na área não inoculada (Tabela 2). Uma vez que o número total de grãos está relacionado com o número total de vagens, a redução no número total de vagens afeta diretamente o número de grãos por vagem, como observado por Heiffig (2002).

Em um estudo realizado por Simionato *et al.* (2014) os autores estabeleceram que a cultura da soja possui alta plasticidade fenotípica, que é definida como a capacidade da planta modificar a sua morfologia e componentes de produção para adequá-los às condições impostas pelo seu arranjo espacial. Isso quer dizer que, em baixa densidade, as plantas de soja tendem a emitir maior quantidade de ramos laterais, aumentando o número de vagens por planta, compensando a menor quantidade de indivíduos por área, aumentando assim a produção por planta. Porém, tal resposta vai depender de diversos fatores como: cultivar utilizada, condições ambientais, densidade de semeadura, dentro da faixa recomendada por genótipo,

crescimento determinado ou indeterminado, entre outros, as quais podem afetar a produtividade de grãos.

Não houve efeito significativo para M100 (Tabela 2) para a inoculação ou não por *Azospirillum* em ambas as safras de soja, nem para as doses residuais de P_2O_5 no segundo ano de avaliação (2020/21), mesmo após a reaplicação do fósforo, diferindo do constatado por Santos *et al.* (2015) e Silva *et al.* (2015) que observaram resposta positiva na M100 da soja, em função de doses crescentes de fósforo em solos do cerrado, entretanto, sem o histórico de 18 anos sob SPD, como aqui avaliados.

Com a alta nos insumos, principalmente no item fertilizantes, o produtor de soja precisa obter altas produtividades e bons preços de venda para alcançar um resultado econômico satisfatório na safra (HIRAKURI, 2008). Em levantamento realizado pela Aprosoja – MS (Associação dos Produtores de Soja e Milho de Mato Grosso do Sul), a área de soja na safra 2021/2022 em Mato Grosso do Sul obteve a marca de 3,75 milhões de hectares plantados e uma produtividade média ponderada de 38,65 sacas/ha. Onde esses valores foram de 71,15 sacas/ha para região norte que representa aproximadamente 15,2% da área; 46,67 sacas/ha para a região central que representa cerca de 22,4% da área e 27,85 sacas/ha para região sul, que representa aproximadamente 62,4% da área total de cultivo acompanhada pelo projeto SIGA/MS (Sistema de Informação Geográfica do Agronegócio).

De acordo com o boletim de junho/22 disponibilizado pela Conab, a safra 2021/22 tem previsão de uma produtividade média de 3.032 kg por hectare de soja, valores esses que corroboram com os resultados obtidos no trabalho.

4.2 Bioindicadores de qualidade do solo

No que diz respeito ao carbono orgânico total (COT) e aos indicadores microbiológicos, como a atividade respiratória microbiana (ARM), carbono da biomassa microbiana (CBM) e o coeficiente metabólico (qCO_2), as áreas onde as culturas antecessoras à soja foram inoculadas com *A. brasilense* apresentaram efeito positivo e significativo em relação às não inoculadas (Tabela 3).

A atividade respiratória microbiana (ARM) é resultado do metabolismo dos microrganismos durante o processo de degradação dos resíduos vegetais e da

ciclagem da matéria orgânica (BABUJIA *et al.*, 2010). Analisando a ARM juntamente com os outros indicadores de qualidade do solo, observa-se maior ARM nas parcelas que receberam inoculação com *A. brasilense* (Tabela 3), o que caracterizaria um sistema com maior perda de CO₂, pela maior atividade de microrganismos, entretanto, como houve incremento do CBM e do COT, e sem efeito no quociente metabólico, o contrário é válido (menor perda de CO₂), resultado este interessante em processos metabólicos de ciclagem de nutrientes e sequestro de carbono no solo.

O maior acúmulo de material vegetal nessas parcelas (Tabela 1) e o não revolvimento do solo, possivelmente favoreceram a preservação das hifas fúngicas e a presença de raízes aumentam a entrada de substratos carbonatados no sistema via exsudatos radiculares (BOPAIAH; SHETTI, 1991). Além disso, a palhada mantém a temperatura e umidade em níveis mais adequados para as plantas e desenvolvimento dos microrganismos.

Segundo Moitinho *et al.* (2021), dependendo da quantidade e distribuição da cobertura vegetal, a temperatura da superfície do solo pode reduzir em até 4 °C, auxiliando na manutenção dessas hifas. Altas temperaturas aceleram a decomposição da matéria orgânica e a atividade microbiana, o que influencia no fluxo de CO₂.

Esses microrganismos que agem na decomposição e subsequente mineralização possibilitam a reciclagem de grande quantidade de elementos químicos na biosfera. A decomposição e mineralização são processos estreitamente relacionados; onde a mineralização é continuamente considerada um subconjunto da decomposição. A decomposição geralmente está associada ao ciclo do carbono, enquanto a mineralização contribui para a ciclagem de nutrientes (WANG; D'ODORICO, 2013).

Os valores em questão (Tabela 3) podem também ser explicados pelo histórico da área, onde na safra de inverno 2019/20, houve o cultivo de aveia preta, na qual a cultura foi inoculada com *Azospirillum* e *Bradyrhizobium* na soja, apresentando acréscimo no tratamento uma vez que a área já possui histórico de inoculação e/ou coinoculação no decorrer dos anos.

Tabela 3. Atividade respiratória microbiana (ARM), carbono da biomassa microbiana (CBM), carbono orgânico total (COT) e quociente metabólico (qCO_2) do solo na camada de 0,00 – 0,10 m, após a cultura da soja em função da adubação fosfatada residual e da inoculação por *A. brasilense* (2019/20). Selvíria, MS

Tratamentos	ARM	CBM	COT	qCO_2
	$\mu g CO_2 g^{-1} dia^{-1}$	mg C kg^{-1}	$g kg^{-1}$	$\mu g C-CO_2 \mu g^{-1} CBM$ dia^{-1}
Inoculação - I				
Sem	2,02b	8,81b	40,42b	0,23
Com	2,24a	9,62a	46,22a	0,24
Pr > Fc	0,07*	0,006**	0,001**	0,100
Residual das doses de P_2O_5 ($kg ha^{-1}$) – D				
0	2,42	9,04	40,92	0,26
30	2,23	8,63	39,50	0,25
60	2,20	8,87	43,38	0,24
120	1,90	10,13	44,59	0,23
240	1,89	9,42	43,77	0,20
Pr > Fc	0,025	0,017*	0,681	0,0002*
DMS	0,232	0,561	3,408	0,013
Modelo de equação – E	Q	-	-	Q
R^2 (%)	96,68	-	-	99,17
Teste F – E	0,153	-	-	0,172
Pr > F – I x D	0,130 ^{ns}	0,121 ^{ns}	0,140 ^{ns}	0,074 ^{ns}
CV (%)	16,86	9,38	12,13	5,73

Nota: Médias seguidas por letras diferentes na coluna, diferem entre si pelo teste de t (Student) a 5% de probabilidade. ** e * : significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo Teste F, respectivamente. ^{ns} não significativo. ARM = $1E-05x^2 + 0,0058x + 2,4251$ (P.Máx. = $290 kg ha^{-1}$ de P_2O_5); $qCO_2 = -0,0002x^2 + 0,0375x + 5,7085$ (P.Min. = $94 kg ha^{-1}$ de P_2O_5).

Fonte: Elaboração da própria autora.

A respiração basal ou atividade metabólica é consequência do estado fisiológico das células e é influenciada por vários fatores, como a umidade, temperatura e disponibilidade de nutrientes no solo. Quando se tem altos valores da liberação de C-CO₂ conseqüentemente acabam resultando em maior atividade biológica, que está diretamente relacionada com a disponibilidade de carbono no solo (MERCANTE *et al.*, 2008).

O quociente metabólico (qCO_2) é um índice conjunto dos resultados de biomassa microbiana com o das taxas de respiração, ou seja, é a combinação entre a respiração basal e a biomassa microbiana do solo, por unidade de tempo (ANDERSON; DOMSCH, 1993). Expressado quanto de C-CO₂ é liberado pela

biomassa microbiana em função do tempo (ALVES *et al.*, 2011) ou o quanto é armazenado no solo.

Assim, altos valores do qCO_2 significam que a população microbiana está oxidando carbono de suas próprias células (respiração de manutenção dos microrganismos vivos) para a sua manutenção e adaptação ao solo, portanto, a população microbiana se encontra em condições adversas ou estressantes (ANDERSON; DOMSCH, 1993; ISLAM; WEIL, 2000). Entretanto, os valores aqui verificados (Tabela 3) demonstram baixos valores de liberação de $C-CO_2$, independentemente se em área inoculada ou não por *A. brasilense*. Dessa forma, o maior CBM nas áreas inoculadas, houve concomitante maior teor de COT, sugerindo a mitigação das emissões.

Observa-se também na Tabela 3 que, o residual da adubação fosfatada foi significativo para a atividade respiratória microbiana (ARM) e o coeficiente metabólico (qCO_2), portanto com o aumento da dose de fósforo foi observado o efeito residual da positivo para ARM e decrescente para o qCO_2 .

Segundo Narloch *et al.* (2002), conforme a disponibilidade de fósforo solúvel é aumentada no solo, a liberação de ácidos orgânicos responsável pela solubilização do fósforo inorgânico pode ser inibida, assim como a ação das fosfatases que fazem a mineralização do fósforo orgânico. Ação parecida com a de fungos micorrízicos, no qual a solubilização, a colonização radicular e atividade sobre o crescimento diminuem com o aumento dos teores de P no solo.

Na Tabela 4, constata-se incremento da atividade enzimática nas áreas onde houve inoculação com *Azospirillum brasilense*. A enzima β -glucosidase pode dar uma noção da atividade biológica, sendo mais sensível ao manejo do solo a curto prazo e da capacidade do solo em estabilizar a matéria orgânica, fato complementar ao aumento da ARM, do CBM e do COT (Tabela 3). Esta enzima pode ser utilizada para identificar o efeito do manejo e como indicadora da qualidade do solo, bem como relações com o teor de matéria orgânica do solo (ACOSTA-MARTINEZ; TABATABAI, 2000), que neste caso, mesmo em maior atividade não significou incremento do qCO_2 , mas, pelo contrário, aumento do COT do solo.

Tabela 4. Atividade enzimática do solo na camada de 0,00 – 0,10 m, após a cultura da soja, em função da adubação fosfatada residual e da inoculação por *A. brasilense* (2019/2020). Selvíria/MS

Tratamentos	β -glicosidase	Fosfatase ácida	Arilsulfatase
	----- $\mu\text{g PNP g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ -----		
Inoculação – I			
Sem	116,29b	763,64b	127,11b
Com	132,36a	806,91a	137,04a
Pr > Fc	0,000*	0,0001*	0,169
Residual das doses de P₂O₅ (kg ha⁻¹) – D			
0	115,66	803,55	131,26
30	116,68	788,74	107,77
60	123,75	793,37	161,99
120	137,94	768,38	116,71
240	127,60	772,32	142,64
Pr > Fc	0,0001*	0,154	0,0003
DMS	5,50	20,13	14,39
Modelo de equação - E	Q	Q	-
R ² (%)	85,36	86,37	-
Teste F – E	0,0003*	0,239	-
Pr > F – I x D	0,0106 ^{ns}	0,0105 ^{ns}	0,134 ^{ns}
CV (%)	6,86	3,95	16,87

Médias seguidas por mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de t (Student) a 5% de probabilidade. ** e * : significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo Teste F, respectivamente. ^{ns} não significativo. β -glucosidase: $y = -0,0012x^2 + 0,2992x + 112,19$ (P.M. = 125 kg ha⁻¹ de P₂O₅); Fosfatase: $y = 0,001x^2 + 0,3811x + 803,82$ (P.M. = 190 kg ha⁻¹ de P₂O₅)

Fonte: Elaboração da própria autora.

Com uso das tabelas de interpretação individual dos bioindicadores, utilizando os princípios dos ensaios de calibração de nutrientes (LOPES *et al.*, 2013), é visto que a atividade da β -Glicosidase (Tabela 4) apresentou resultados considerados por Mendes *et al.* (2018) dentro do nível adequado para a enzima, tanto no tratamento com inoculação, quanto no tratamento sem inoculação, entretanto superiores quando do uso do *A. brasilense* nas gramíneas da rotação. Para o residual de doses de P₂O₅ (Tabela 4), apenas no tratamento com dose 0 foi obtido valor que na classe de interpretação foi considerado abaixo do adequado (MENDES *et al.* 2019), com ajuste quadrático na dose de 125 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

Com papel fundamental no ciclo do fósforo (P) nos solos, a enzima fosfatase, está correlacionada com a deficiência de P, pois sua formação é inibida pelo íon fosfato, apresentando maior atividade (BOVI *et al.*, 1998) no crescimento das plantas. Isso porque o transporte predominante do nutriente ocorre por difusão, o que limita o

suprimento de P para as plantas, contribuindo para mudanças na arquitetura do sistema radicular, proporcionando maior superfície de absorção em relação à biomassa total (NUNES *et al.*, 2008).

Em algumas espécies de plantas tem sido verificado aumento na atividade de fosfatases nas raízes e sua exsudação em resposta à deficiência de P, comprovando sua importância para a nutrição das plantas (CHEN *et al.*, 2003; RICHARDSON *et al.*, 2005; NURUZZAMAN *et al.*, 2006). Tal constatação pode ser observada quando se compara os tratamentos do residual das doses de P₂O₅ (Tabela 4), onde a maior atividade da fosfatase ácida foi com dose 0, no valor de 803,55 µg PNP g⁻¹ solo h⁻¹.

A atividade desta enzima está ligada com os teores de fósforo inorgânico nos solos, de maneira que a adubação pode influenciar sua atividade, onde geralmente é aumentada após adição de pequenas doses de fertilizantes e decresce com doses mais elevadas (SKUJINS, 1967), o que pode explicar os ajustes quadráticos com ponto de mínimo (Tabela 4), por efeito da adubação fosfatada residual. Além do mais, esse efeito positivo do P orgânico na atividade da fosfatase ficou evidente nas áreas com inoculação por *A. brasilense*, uma vez que neste tratamento houve sempre incremento da quantidade de matéria seca das culturas da rotação (palhada)

A atividade da enzima arilsulfatase apresentou maiores resultados nas áreas em que houve inoculação. Ressalta-se que quando a produção de biomassa vegetal é maior, conseqüentemente, houve aumento de substrato para o crescimento microbiano e produção enzimática (SILVA *et al.*, 2018).

Esse histórico de SPD, com inclusão de plantas de cobertura com alta produtividade de matéria seca (gramíneas forrageiras – Quadro 1), pode aumentar a ciclagem de nutrientes, que no caso específico do P, pela sua baixa mobilidade no solo, foi colocado na fração orgânica (palhada), contribuindo para a nutrição da soja, sem resposta à adubação fosfata residual.

Tal constatação pode ser verificada no trabalho de Lisboa *et al.* (2012), onde os autores comparam os sistemas de manejo e sua relação com a qualidade do solo. Os resultados com SPD se assemelhou aos valores obtidos com o tratamento de campo natural, indicando que esses manejos com características conservacionistas favoreceram mais a atividade microbiana no solo. Em conseqüentemente há aporte gradativo de C, menor temperatura em razão da cobertura do solo e da manutenção da umidade na camada superficial.

De acordo com Bandick e Dick (1999) a atividade da arilsulfatase pode ser utilizada como indicadora indireta da presença de fungos no solo, em razão de que entre as partes constituintes da biomassa microbiana, os ésteres de sulfatos são exclusivamente dos fungos, os quais são substratos para a atividade dessa enzima.

Resultados também observados por Calderón *et al.* (2001), onde os sistemas de manejo que dispõem de menor revolvimento do solo são os que mais incrementam o aumento da população de desses indivíduos. Diferentemente do plantio convencional que faz uso de operações de aração e gradagem, desfavorecendo o acúmulo de matéria orgânica no solo e também influenciando de maneira negativa as populações de fungos e, conseqüentemente, a atividade da arilsulfatase.

Estes resultados são importantes para o monitoramento da atividade enzimática do solo ao longo dos anos, contribuindo para a continuação deste estudo, uma vez que a produção de palhada tende a aumentar ao longo do tempo, até uma estabilização, tendo acúmulo de material orgânico sobre o solo, sendo esperado o aumento da atividade enzimática do solo como resultado ao aumento da atividade dos microrganismos decompositores nas áreas com maior aporte de resíduos (SOARES, 2021).

5 CONCLUSÕES

Com histórico da área com mais de 18 anos em sistema plantio direto (SPD), a inoculação com *Azospirillum brasilense* das gramíneas antecessoras teve pouca influência nos componentes da produção e produtividade da soja em sucessão.

Na safra 2019/2020 não houve resposta com relação ao efeito residual da adubação fosfatada, pois a intensa estiagem durante o período de enchimento dos grãos comprometeu a produtividade. Somente na safra 2020/2021 houve incremento na altura média de plantas e na inserção de primeira vagem da soja, onde a frequência de chuvas se manteve constante durante o ciclo. No entanto, não houve aumento de produtividade, mesmo após a reaplicação de P.

A enzima fosfatase ácida teve maior atividade pelo incremento de fósforo orgânico como fósforo lábil, nas áreas inoculadas com *A. brasilense*. Entretanto, o aumento do P residual da adubação reduz a atividade da enzima.

As áreas inoculadas com *A. brasilense* promovem maior atividade microbiana e enzimática do solo, com papel fundamental na ciclagem de nutrientes e sequestro de carbono.

A inoculação das culturas antecessoras auxilia na produção de matéria seca tanto da parte aérea quanto das raízes, favorecendo maior produção de substratos para os organismos do solo, onde os mesmos aumentam a atividade enzimática do solo, podendo justificar o porquê de não haver resposta ao efeito residual da adubação fosfatada.

De modo geral, o sistema de plantio direto juntamente com a inoculação por *A. brasilense* demonstram ser um manejo vantajoso, pelo aporte de palhada e propiciar ambiente favorável aos microrganismos do solo.

REFERÊNCIAS

- ACOSTA-MARTINEZ, V.; TABATABAI, M. A. Enzyme activities in a limed agricultural soil. **Biology and Fertility of Soils**, Heidelberg, v. 31, p. 85-91, 2000.
- ADAMS, G. A. **Influência de diferentes tipos de plantas sobre a estrutura do solo em plantio direto**. 2016. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS, Cerro Largo, 2016.
- AGUILA, L. S. H.; AGUILA, J. S.; THEISEN, G. **Perdas na colheita na cultura da soja**. [S. l.]: Embrapa, 2011. (Comunicado Técnico, 271). ISSN 1806-9185.
- AL-KHAFAJI, A. A.; TABATABAI, M. A. Effects of trace elements on arylsulphatase activities in soils. **Soil Science**, Philadelphia, v. 127, p. 129-133, 1979.
- ALVES DA SILVA, A.; FERREIRA DA SILVA, P. R.; SUHRE, E.; ARGENTA, G.; STRIEDER, M. L.; RAMBO, L. Sistemas de coberturas de solo no inverno e seus efeitos sobre o rendimento de grãos do milho em sucessão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, p. 928-935, 2007.
- ALVES, T. S.; CAMPOS, L. L.; NETO, N. E.; MATSUOKA, M. E LOUREIRO, M. F. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 2, p. 341-347, 2011.
- ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 10, n. 3, p. 215-221, 1978.
- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO₂ (q CO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 25, p. 393-395, 1993.
- ANDRADE, A. T.; TORRES, J. L. R.; PAES, J. M. V.; TEIXEIRA, C. M.; & CONDÉ, A. B. T. Desafios do Sistema de plantio direto no cerrado. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 39, p. 19-25, 2018.
- ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, p. 66-75, 2007.
- ARAÚJO, E. A., KER, J. C., NEVES, J. C. L., & LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Applied Research and Agrotechnology**, [s. l.], v. 5, p. 187-206, 2012.
- ARAÚJO, F. F. Disponibilização de fósforo, correção do solo, teores foliares e rendimento de milho após a incorporação de fosfatos e lodo de curtume natural e compostado. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v. 33, p. 355-360, 2011.

ARSHAD, M.A.; MARTIN, S. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 88, p. 153-160, 2002.

ASSOCIAÇÃO DOS PRODUTORES DE SOJA E MILHO DE MATO GROSSO DO SUL – APROSOJA/MS. **Informativo SIGA/MS**. Disponível em: <https://aprosojams.org.br/informativo-siga-ms>. Acesso: 30 jun. 2022.

BABUJIA, L. C.; HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; BROOKES, P. C. Microbial biomass and activity at various soil depths in a Brazilian oxisol after two decades of no-tillage and conventional tillage. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 42, p. 2174-2181, 2010.

BALOTA, E. L.; NOGUEIRA, M. A.; MENDES, I. C.; HUNGRIA, M.; FAGOTTI, D. S.; MELO, G. M. P.; SOUZA, R. C. MELO, W. J. Enzimas e seu papel na qualidade do solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, [s. l.] v. 8. P. 189-249, 2013.

BANDICK, A. K.; DICK, R.P. Field management effects on soil enzyme activities. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 31, p. 1471-1479, 1999.

BARRADAS, C. A. de A. **Adubação verde**. Programa Rio Rural. [S. l.: s. n.], 2010. p. 10. (Manual técnico, 25) Disponível em: <http://www.pesagro.rj.gov.br/downloads/riorural/manual25.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2022.

BASHAN, Y.; HOLGUIN, G. Azospirillum – plant relationships: environmental and physiological advances (1990-1996). **Canadian Journal of Microbiology**, Ottawa, v. 43, p. 103-121, 1997.

BASHAN, Y.; HOLGUIN, G.; DE-BASHAN, L.E. Azospirillum-plant relations physiological, molecular, agricultural, and environmental advances (1997-2003). **Canadian Journal of Microbiology**, Ottawa, v. 50, p. 521-577, 2004.

BERTOLLO, A. M.; LEVIEN, R. Compactação do solo em Sistema de Plantio Direto na palha. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 25, p. 208-218, 2019.

BONETTI, L. P. Cultivares e seu melhoramento genético. In: VERNETTI, F. J. (coord.). **Soja: genética e melhoramento**. Campinas: Fundação Cargill, 1983. p. 741-794.

BOPAIHAH, B. M.; SHETTI, H. S. Soil microflora and biological activities in the rhizospheres and root regions of coconutbased multistoreyed cropping and coconut monocropping systems. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 17, p. 297-302, 1991.

BOVI, M. L. A.; BASSO, L. C.; TUCCI, M. L. S. Avaliação da atividade "in vivo" da fosfatase ácida e do crescimento de progênies de pupunheira cultivadas em duas doses de nitrogênio e fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 22, p. 427-434, 1998.

BROCH, D. L.; NOLLA, A.; QUIQUI, E. M. D.; POSSENTI, J. C. Influência no Rendimento de Plantas de Soja pela Aplicação de Fósforo, Calcário e Gesso em um Latossolo Sob Plantio Direto. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Guarapuava, v. 10, 2008.

BULEGON, L. G.; RAMPIM, L.; KLEIN, J.; KESTRING, D.; GUIMARÃES, V. F.; BATTISTUS, A. G.; INAGAKI, A. M. Componentes de produção e produtividade da cultura da soja submetida à inoculação de *Bradyrhizobium* e *Azospirillum*. **Terra Latinoam**, [s. l.], v. 34, n. 2, 2016.

CALDERÓN, F. J.; JACKSON, L. E.; SCOW, K. M.; ROLSTON, D. E. Short-term changes in carbon and nitrogen dynamics, microbial activity, and microbial community structure after tillage. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 65, p. 118-126, 2001.

CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van, CAMARGO, C. E. O. Cereais. In: RAIJ B. van; CANTARELLA H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (ed.) **Recomendações de calagem e adubação para o estado de São Paulo**. Instituto Agrônomo de Campinas, 1997. p. 45-71. (Boletim técnico, 100).

CANTO, M. W.; HOESCHL, A. R.; , & BONA FILHO, A. Características do pasto e eficiência agrônômica de nitrogênio em capim - tanzânia sob pastejo contínuo, adubado com doses de nitrogênio. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 4, p.682 – 688, 2013.

CARDOSO, F. P. Plantio direto: ano 2000. **Revista Agric**, [s. l.], v. 78, p. 165-168, 2003.

CASÃO JUNIOR, R.; ARAÚJO, A. G.; LLANILLO, R. F. **Sistema plantio direto no Sul do Brasil**: fatores que promoveram a evolução do sistema e desenvolvimento de máquinas agrícolas. [S. l.]: FAO/IAPAR, 2008.

CASSAN, B.; DIAZ-ZORIYA, M. *Azospirillum* sp. In current agriculture: from the laboratory to the field. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 103, p. 117-130, 2016.

CASSÁN, F.D.; GARCIA DE SALAMONE, I. (ed.) ***Azospirillum* sp.**: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina. [S. l.]: Asociación Argentina de Microbiología, 2008. p. 268.

CHAER, G. M.; TÓTOLA, M. R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, p. 1381-1396, 2007.

CHEN, C.R.; CONDRON, L.M.; SINAJ, S.; DAVIS, M.R.; SHERLOCK, R.R. & FROSSARD, E. Effects of plant species on phosphorus availability in a range of grassland soils. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 256, p. 115-130, 2003

CHIODEROLI, C. A.; MELLO, L. M. M.; GRIGOLLI, P. J.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, J. O. R.; CESARIN, A. L. Atributos físicos do solo, produtividade de soja em sistema

de consórcio milho, braquiária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 16, p. 37-43, 2012.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos 2020/2021**. Brasília, DF, 2021. Disponível em: file:///C:/Users/Microsoft%20Windows/Downloads/E-book_BoletimZdeZSafrasZ-Z7oZlevantamento.pdf. Acesso em: 11 nov. 2021.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos 2021/2022**. Brasília, DF, 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 30 jun. 2022.

CONCEIÇÃO, A. G. C.; COELHO, C. C. R.; BEZERRA, M. G. A.; LIMA, S. V.; SALDANHA, E. C. M. Matéria verde e seca de milho (*Zea mays*) submetido a diferentes dosagens de fósforo. *In: SEMINÁRIO ANUAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFRA*, 10., 2012. **Anais [...]** [S. l.]: UFRA, 2012.

COSTA, N. R., ANDREOTTI, M., LOPES, K. S. M., YOKOBATAKE, K. L., FERREIRA, J. P., PARIZ, C. M., & LONGHINI, V. Z. Atributos do Solo e Acúmulo de Carbono na Integração Lavoura-Pecuária em Sistema Plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 39, p. 852-863, 2015.

CREAMER, R. E.; SCHULTE, R. P. O.; STONE, D.; GAL, A.; KROGH, P. H.; LO PAPA, G.; MURRAY, P. J.; PÉRÈS, G.; FOERSTER, B.; RUTGERS, M.; SOUSA, J. P.; WINDING, A. Measuring basal soil respiration across Europe: do incubation temperature and incubation period matter. **Ecol. Ind.**, Amsterdam, v. 36, p. 409-418, 2014.

CRUSCIOL, C. A. C.; MORO, E.; LIMA, E. V.; ANDREOTTI, M. Taxas de decomposição e de liberação de macronutrientes da palhada de aveia preta em plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 67, p. 481-489, 2008.

CRUZ, C. V. **Efeito residual de fontes de fósforo e adubação fosfatada no crescimento do milho**. 2015. 43 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP – Campus de Botucatu, 2015.

CUNHA, D. S.; VIANA, J. S.; MORAES SILVA, W.; MORAIS DA SILVA, J. Soja para consumo humano: breve abordagem. **Agrarian Academy**, Goiânia, v. 2, 2015.

CUNHA, E. Q.; BALBINO, L. C.; STONE, L. F.; LEANDRO, W. M.; OLIVEIRA, G. C. Influência de rotações de culturas nas propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho em plantio direto. **Engenharia Agrícola de Água e Solo**, [s. l.] v. 27, p. 665-674, 2008.

DICKMANN, L. **Residual da adubação fosfatada e efeito da inoculação com *azospirillum brasilense* nas culturas em sistema plantio direto no cerrado**. 2019. Dissertação (Doutorado em Agronomia – Sistemas de Produção), Universidade Estadual Paulista – UNESP, Ilha Solteira, 2019.

DOMINGUES NETO, F. J.; YOSHIMI, F.; GARCIA, R.; DOMINGUES, M. C. Influência de *Azospirillum brasilense* no desenvolvimento vegetativo, produção de forragem e acúmulo de massa seca da aveia preta. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 10, n. 18, p. 2013, 2014.

DUARTE, C. F. D.; CECATO, U.; HUNGRIA, M.; FERNANDES, H. J.; BISERRA, T. T.; MAMÉDIO, D.; GALBEIRO, S.; NOGUEIRA, M. A. Inoculação de bactérias promotoras de crescimento vegetal em *Urochloa Ruziziensis*. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 9, p. e630985978, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i8.5978. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/5978>. Acesso em: 7 fev. 2022.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Aspectos econômicos e conjunturais da cultura da aveia**. [S. l.]: Embrapa, 2012. (Documentos online, 136).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Cerrado: Correção do Solo e adubação**. 2 ed. [S. l.]: Embrapa Cerrados, 2014.

ESTRADA, G. A.; BALDANI, V. L. D.; OLIVEIRA, D. M. de.; URQUIAGA, S.; BALDANI, J. I. Selection of phosphatesolubilizing diazotrophic *Herbaspirillum* and *Burkholderia* strains and their effect on rice crop yield and nutrient uptake. **Plant and Soil**, Crawley, v. 369, p. 115-129, 2013.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **(20156) Integrated Crop-Livestock Systems (ICLS)**. [S. l.: s. n.], 2021. Disponível em: <http://www.fao.org/agriculture/crops/core-themes/theme/spi/scpi-home/managing-ecosystems/integrated-croplivestock-systems/en/>. Acesso em: 01 nov. 2021.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA - FEBRAPDP. **Área de plantio direto no Brasil**. [S. l.: s. n.], 2021. Disponível em: www.febrapdp.org.br. Acesso em: 21 out. 2021.

FERREIRA, M. E.; MIZIARA, F.; FERREIRA JÚNIOR, L. G.; RIBEIRO, F. L.; FERREIRA, N. C. Ativos ambientais do bioma Cerrado: uma análise da cobertura vegetal nativa e sua relação com o preço da terra no Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Cartografia**, Uberlândia, v. 61, n. 1, p. 37-50, 2009.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039- 1042, nov./dez., 2011

FLORES, J. P. C.; ANGHINONI I.; CASSOL L. C.; CARVALHO, P. C. F.; LEITE J. G. D. B.; FRAGA T. I. Atributos físicos do solo, rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 4, 2007.

FONSECA, C. M., CANTÃO, V. C. G., DE MENEZES, C. C. E., DE OLIVEIRA MORAIS, L. K., DOS SANTOS, J. M.; GOUVEIA, M. V. C. Implementos para correção do solo e seus efeitos na absorção de nutrientes pela soja.

In: CONGRESSO DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO DA UNIVERSIDADE DE RIO VERDE, 2019, Rio Verde. **Anais** [...] Rio Verde: Universidade de Rio Verde, 2019. p. 49.

FONSECA, G. C.; CARNEIRO, M. A. C.; COSTA, A. R.; OLIVEIRA, G. C.; BALBINO, L. C. Atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo Vermelho Distrófico de cerrado sob duas rotações de cultura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n.1, p. 22-30, 2007.

FREITAS, L., OLIVEIRA, I. A., SILVA, L. S., FRARE, J. C. V., FILLA, V. A., & GOMES, R. P. Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Unimar Ciências**, Marília, v. 26, n. 1-2, p. 8-25, 2017.

FREITAS, M. C. M. A cultura da soja no Brasil: o crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 7, n. 12, p. 1-12, 2011.

GALINDO, F. S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; BUZETTI, S.; SANTINI, J. M. K.; ALVES, C. J.; NOGUEIRA, L. M.; LUDKIEWICZ, M. G. Z.; ANDREOTTI, M.; BELLOTTE, J. L. M. Corn Yield and Foliar Diagnosis Affected by Nitrogen Fertilization and Inoculation with *Azospirillum brasilense*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 40, 2016.

GILL-SOTRES, F.; CEPEDA-TRASAR, C.; LEIRÓS, M.C. & SEOANE, S. Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 37, p. 877-887, 2005.

GÍRIO, L. A. S.; DIAS, F. L. F.; REIS, V. M.; URQUIAGA, S.; SCHULTZ, N.; BOLONHEZI, D; MUTTON, M. A. Bactérias promotoras de crescimento e adubação nitrogenada no crescimento inicial de cana-de-açúcar proveniente de mudas pré-brotadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.50, p. 33-43, jan. 2015.

HEIFFIG, L. S. **Plasticidade da cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) em diferentes arranjos espaciais**. 2002. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2003. Disponível em: doi:10.11606/D.11.2003.tde-20022003-151548. Acesso em: 21 nov. 2021.

HIRAKURI, M. H. Efeito da estiagem na viabilidade econômica da produção de soja no Oeste do Paraná: um estudo de caso da safra 2008/2009. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 2, p. 230-237, 2010.

HUNGRIA, M. **Inoculação com *Azospirillum brasilense*: inovação em rendimento a baixo custo**. [S. l.]:Embrapa Soja, 2011. (Documento, 325).

INDICADORES de qualidade biológica para manejo sustentável de solos arenosos. **Boletim Informativo**, Viçosa, MG, v. 44, p. 20-25, 2018.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v. 79, n. 1, p. 9-16, 2000.

JANUSCKIEWICZ, E. R.; RAPOSO, E.; MARTINS, B. M. P. R.; MAGALHÃES, M. A.; PANOSSO, A. R.; MELO, G. M. P.; RUGGIERI, A. Atividade enzimática de solo de pastos de *Brachiaria* manejados sob ofertas de forragem. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 76, p. 1-12, 2019.

JENKINSON, D. S.; POWLSON, D.S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil-I. Fumigation with chloroform. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 8, p. 167-177, 1976.

KEDI B.; SEI, J.; QUIQUAMPOIX, H.; STAUNTON A. Persistence of catalytic activity of fungal phosphatases incubated in tropical soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 56 p. 69-74, 2013.

KLOEPPER, J.W.; LIFSHITZ, R.; ZABLOTOWICZ, R.M. Free-living bacterial inocula for enhancing crop productivity. **Trends in Biotechnology**, Amsterdam, v. 7, p. 39-43, 1989.

KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F. Desempenho de culturas anuais sobre palhada de braquiária. *In*: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F.; AIDAR, H. **Integração lavoura-pecuária**. [S. l.]:Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p. 501-522.

KOCHHANN, R. A.; DENARDIN, J. E. **Implantação e manejo do sistema plantio direto**. [S. l.]: EMBRAPA-CNPT, 2000. p. 36.

LEGAZ, B. V.; SOUZA, D. M.; TEIXEIRA, R. F. M.; ANTÓN, A.; PUTMAN, B.; SALA, S. Soil quality, properties, and functions in life cycle a assessment: an evaluation of models. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 140, p. 502-515, 2017.

LEITE, L. F. C.; GALVÃO, S. R. S.; HOLANDA NETO, M. R.; ARAÚJO, F. S.; IWATA, B. F. Atributos químicos e estoques de carbono em Latossolo sob plantio direto no cerrado do Piauí. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, p. 1273-1280, 2010.

LONDERO, R.; OLIVEIRA, R. B.; NASCIMENTO, J. M.; ARCOVERDE, S. N. S.; SECRETTI, M. L. Dependência espacial da fertilidade do solo sob plantio direto e suas relações com a produtividade da soja. **Caderno de Ciências Agrárias**, Montes Claros, v. 12, p. 1-8, 2020.

MACHADO, L. A. Z. **Aveia**: forragem e cobertura do solo. [S. l.]: Embrapa Agropecuária Oeste, 2000. (Coleção Sistema Plantio Direto).

MARTÍNEZ V. A.; CRUZ L.; RAMÍREZ D. S.; ALEGRÍA V. A. Enzyme activities as affected by soil properties and land use in a tropical watershed. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, p. 35-45, 2007.

MARTINHÃO, D.; SOUSA, G.; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do cerrado. *In*: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2003, Piracicaba. **Anais** [...] Piracicaba: POTAFOS, 2004. p. 158.

MATSUOKA, M.; MENDES, I. C.; LOUREIRO, M. F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, p. 425-433, 2003.

MATSUOKA, M. **Atributos biológicos de solo cultivados com videira na região da Serra Gaúcha**. 2006. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

MELO, W. J.; MELO, G. M. P., ARAÚJO, A. F.; MELO, V. P. Avaliação da atividade enzimática em amostras de solo. *In*: FIGUEIREDO *et al.* (ed.) **Biotechnologia aplicada à agricultura**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2010. p. 158-187.

MENDES, I. C.; SOUSA, D. M. G.; REIS JUNIOR, F. B.; LOPES, A. C. A. MENDONÇA, V. Z.; MELLO, L. M. M.; ANDREOTTI, M.; PARIZ, C. M.; YANO, E. H.; PEREIRA, F. C. B. L. Liberação de nutrientes da palhada de forrageiras consorciadas com milho e sucessão com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 39, n. 1, 2015.

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

MERCANTE, F. M.; SILVA, R. F.; FRANCELINO, C. S. F.; CAVALHEIRO, J. C. T.; OTSUBO, A. A. Biomassa microbiana, em um Argissolo Vermelho, em diferentes coberturas vegetais, em área cultivada com mandioca. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 34, p. 479-485, 2008.

MISSÃO, M. Soja: origem, classificação, utilização e uma visão abrangente do mercado. **Maringá Management**, Maringá, v. 3, n. 1, 2006.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2 ed. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2006. 729 p.

NARLOCH, C.; OLIVEIRA, V. L. D.; ANJOS, J. T. D.; , & SILVA FILHO, G. N. Respostas da cultura do rabanete à inoculação de fungos solubilizadores de fosfato. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, p. 841-845, 2002.

NOVAKOWISKI, J. H.; SANDINI, I. E.; FALBO, M. K.; MORAES, A. de.; CHENG, N. C. Efeito residual da adubação nitrogenada e inoculação de *Azospirillum brasilense* na cultura do milho. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, p. 1687-1698, 2011.

NUNES, F. N.; CANTARUTTI, R. B.; NOVAIS, R. F.; SILVA, I. R.; TÓTOLA, M. R.; RIBEIRO, B. N. Atividade de fosfatases em gramíneas forrageiras em resposta à disponibilidade de fósforo no solo e à altura de corte das plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, 2008.

NURUZZAMAN, M.; LAMBERS, H.; BOLLAND, M.D.A. & VENEKLAAS, E.J. Distribution of carboxylates and acid phosphatase and depletion of different phosphorus fractions in the rhizosphere of a cereal and three grain legumes. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 281, p. 109-120, 2006.

OKON, Y.; LABANDERA-GONZALEZ, C.A. Agronomic applications of Azospirillum: na evaluation of 20 years worldwide field inoculation. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 26, p. 1591-1601, 1994.

OLIVEIRA, F. C.; BENETT, C. G. S.; BENETT, K. S. S.; SILVA, L. M.; VIEIRA, B. C. Diferentes doses e épocas de aplicação de zinco na cultura da soja. **Revista de Agricultura Neotropical**, Dourados, v. 4, p. 28-35, 2017.

OLIVEIRA, J.R.A.; MENDES, I.C.; VIVALDI, L. Carbono da biomassa microbiana em solos de cerrado sob vegetação nativa e sob cultivo: avaliação dos métodos fumigação-incubação e fumigação-extração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, p. 863871, 2001.

PARENT, L. E.; GAGNÉ, G. **Guide de référence en fertilisation**. 2. ed. [S. l.]: CRAAQ, 2010. p. 473.

PASSOS, S. R.; REIS JUNIOR, F. B.; RUMJANEK, N. G.; MENDES, I. C.; BAPTISTA, M. J.; XAVIER, G. R. Atividade enzimática e perfil da comunidade bacteriana em solo submetido à solarização e biofumigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43, n. 7, 2008.

PAULO, R. L.; SERRA, J. C. V. Estudo de caso envolvendo uma indústria de fertilizantes na cidade de Porto Nacional – TO. **Revista Eletrônica Sistemas & Gestão**, [s. l.], v. 10, p.316-323, 2015.

PAVINATO, P. S.; CERETTA, C. A. Fósforo e potássio na sucessão trigo/milho: épocas e formas de aplicação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, p. 1779-1784, 2004.

PEREIRA JÚNIOR, V.; RODRIGUES, J. F.; GOMES FILHO, R. R.; REIS, J. M. R. Comportamento da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) submetida à adubação nitrogenada de plantio. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 6, p. 1-5, 2010. <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2010b/Comportamento%20da%20soja.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2021.

PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; BEUTLER, S. J.; , & TORRES, J. L. R. Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em diferentes sistemas de manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 45, p. 508-514, 2010.

PITTA, G. V. E.; VASCONCELLOS, C. A.; ALVES, V. M. C. Fertilidade do solo e nutrição mineral do sorgo forrageiro. In: CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; RODRIGUES, J. A. S.; FERREIRA, J. J. **Produção e utilização de silagem de milho e sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2001.

POMPERMAYER, G.V. **Adubação fosfatada em sistemas de produção de soja**. 2020. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) – Universidade Federal de Goiás, Jataí, 2020.

RAIESI, F. BEHESHIT, A. Microbiological indicators of soil quality and degradation following conversion of native forests to continuous croplands. **Ecological Indicators**, Amsterdam, v. 50, p. 173-185, 2015.

RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. 2.ed. Campinas, Instituto Agrônômico de Campinas, 1996. 285p. (**Boletim técnico, 100**)

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. [S. l.]: Potafos, 1991. 343 p.

RAIJ, B. Van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. **Instituto Agrônômico Campinas**, Campinas, p. 284, 2001.

RALTE, V.; PANDEY, H. N.; BARIK, S. K., TRIPATHI, R. S.; PRABHU, SWAPNA, D. Changes in microbial biomass and activity in relation to shifting cultivation and horticultural practices in subtropical evergreen forest ecosystem of northeast India. **Acta Oecologica**, Paris, v. 28, p. 163-172, 2005.

RAMOS, R. P. **Soja em sucessão ao consórcio de milho com capim-marandu e/ou guandu-anão em sistema integrado de produção agropecuária**. 36 f. 2018. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2018.

REBELATO, M.; PASSINATO, J. H.; DE CAMPOS, B. H. C. Interferência do fosfato monoamônico e coinoculação de *Bradyrhizobium* com *Azospirillum* na fixação biológica de nitrogênio na soja. In: PORTAL DE EVENTOS DO IFRS, 7., MOEPEX, 2018. **Anais** [...] Ibirubá: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, 2018.

REZENDE, L. A.; ASSIS, L. C.; NAHAS, E. Carbon, nitrogen and phosphorus mineralization in two soils amended with distillery yeast. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 94, 159-167, 2004.

RICHARDSON, A.E.; GEORGE, T.S.; HENS, M. & SIMPSON, R.J. Utilization of soil organic phosphorus by higher plants. In: TURNER, B.L.; FROSSARD, E. & BALDWIN, D.S. eds. Organic phosphorus in the environment. **Wallingford, CAB International**, p.165-184, 2005.

RICHETTI, A. **Viabilidade econômica da cultura da soja na safra 2012/2013, em Mato Grosso do Sul.** [S. l.]: Embrapa Agropecuária Oeste, 2012. p. 9. (Comunicado Técnico, n. 177).

ROSÁRIO, J. G. **Inoculação com *Azospirillum brasilense* associada à redução na adubação nitrogenada de cobertura em cultivares de trigo.** 2013. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Produção Vegetal, Universidade Estadual do Centro-oeste, 2013.

ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; MENDES, I. C.; REIS JUNIOR, F. B.; SANTOS, J. C. F.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana do solo: fração mais ativa da matéria orgânica. *In*: ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. (ed.). **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares.** [S. l.]: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. p. 163-198.

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

ROZANE, D. E.; BRUNETTO, G.; NATALE, W. Manejo da Fertilidade do Solo em pomares de frutíferas. **Informações Agronômicas**, [s. l.], n. 160, 2017.

SALOMÃO, P. E. A.; KRIEBEL, W.; SANTOS, A. A. DOS; MARTINS, A. C. E. A importância do sistema de plantio direto na palha para reestruturação do solo e restauração da matéria orgânica. **Research, Society and Development**, Itabira, 2019.

SALTON, J. C.; TOMAZI, M. **Sistemas radicular de plantas e qualidade do solo.** [S. l.: s. n.], 2014. (Comunicado Técnico, 198). ISSN 1679-0472.

SAMIE, N.; NOGHABI, K. A.; GHAREGOZLOO, Z.; ZAHIRI, H. S.; AHMADIAN, G.; SHARAFI, H.; BEHROZI, R.; VALI, H. Psychrophilic α -amilase from *Aeromonas veronii* NS07 isolated from farm soils. **Process Biochemistry**, v. 47, p. 1381-1387, 2012.

SANTOS, A. C. M.; CARNEIRO, J. S. S.; LEITE, R. C.; SOUZA, M. A. S.; FREITAS, G. A.; SILVA, R. R. Adubação fosfatada com fertilizante Basiduo na cultura da soja no oeste da Bahia. **Journal of Bioenergy and Food Science**, Macapá, v. 2, p. 82-90, 2015.

SANTOS, D. R. D., GATIBONI, L. C., & KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, p. 576-586, 2008.

SANTOS, H. C.; OLIVEIRA, F. H. T. de.; SOUZA, A. P. de.; SALCEDO, I. H.; SILVA, V. D. M. Disponibilidade de fósforo em função do seu tempo de contato com diferentes solos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 20, p. 996-1001, 2016.

- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2018. p. 355.
- SEIXAS, C. D. S.; NEUMAIER, N.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; KRZYZANOWSKI, F. C.; LEITE, R. M. V. B. C. Tecnologias de produção de soja. **Sistemas de produção**, n. 17, 2020.
- SILVA, R. R.; LEITE, R. C.; FREITAS, G. A.; SILVA, P. S. S.; CARNEIRO, J. S. S. Eficiência de fertilizante fosfatado na cultura da soja no cerrado baiano. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 11, p. 13-22, 2015.
- SILVEIRA, R. B.; MELLONI, R.; MELLONI, E. G. P. Atributos microbiológicos e bioquímicos como indicadores da recuperação de áreas degradadas, em Itajubá/MG. **Cerne**, Lavras, v. 12, p. 48-55, 2006.
- SIMIONATO, U.R.; FERREIRA, A.S.; WERNER, F.; BABOLIM, R.C.G.; IWASAKI, G.S.; PROCÓPIO, S.O.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J.C.; BALBINOT JR., A.A. Redução do espaçamento entre fileiras na produtividade de duas cultivares de soja sob diferentes densidades de semeadura. *In*: JORNADA ACADÊMICA DA EMBRAPA SOJA, 9., [s. l.]. **Resumos expandidos** [...] [S. l.: s. n.], 2014. p. 83.
- SKUJINS, J. Enzymes in soil. *In*: McLAREN, A.D.; PETERSON, G.H. (ed.). **Soil Biochemistry**. [S. l.]:Marcel Dekker, 1967. p. 371-414.
- SOARES, D. A. **Dinâmica da matéria orgânica e qualidade do solo em sistemas de produção agropecuários**. 2021. Tese (Doutorado em Sistemas de Produção) – Faculdade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2021.
- SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Cerrado: Correção do solo e adubação. Brasília: **Embrapa Informação Tecnológica**, ed. 2, p.416, 2004.
- SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do cerrado. *In*: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. (ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. [S. l.]: Potafos, 2004. P.157-200.
- TABATABAI, M. A. Soil enzymes. *In*: WEAVER, R.W.; SCOTT, A.; BOTTOMELEY, P. J. (ed.) *Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties*. **Soil Science Society of America**, Madison, p. 778-835, 1994. (Special Publication, 5).
- TIECHER, T. (org.) **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil**: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água. Porto Alegre: UFRGS, 2016.
- USDA-NRCS. **Guidelines for soil quality assessment in conservation planning**. National Production Services, 501 West Felix St., Bldg. 23, Fort Worth, TX, 2001. Disponível em: <http://www.statlab.iastate.edu>. Acesso em: 25 jan. 2021.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, Philadelphia, v. 37, p. 29-38, 1934.

WALTER, B. T. **Fitofisionomias do bioma Cerrado**: síntese terminológica e relações florísticas. [S. l.: s. n.], 2006.

WANG, L.; D'ODORICO, P. Decomposição e Mineralização. **Enciclopédia de Ecologia**, [s. l.], v. 2, p. 280-285, 2013.