

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ADRIANO CECON

BIOANÁLISE DO SOLO EM TRÊS DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO NA  
REGIÃO DO MATO GROSSO

CURITIBA

2020

ADRIANO CECON

BIOANÁLISE DO SOLO EM TRÊS DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO NA  
REGIÃO DO MATO GROSSO

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título especialista, Curso de Especialização em Fertilidade e Nutrição de Plantas, setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Jair Alves Dionísio.

CURITIBA

2020

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente ao meu Senhor JESUS por estar comigo em todos os momentos, por me permitir chegar até aqui, dando-me forças para prosseguir nessa jornada.

Agradeço ao professor Dr. Jair Alves Dionísio pela orientação, apoio, incentivos, confiança e principalmente pela amizade.

Aos amigos Luiz A. Boni, Gustavo Pais de Arruda e Gabriel Heinzen pela amizade, companheirismo e pela colaboração na realização deste trabalho.

Aos familiares Viviane Casagrande Oride Cecon e Gema T. Cecon pelo apoio e incentivo.

## EPÍGRAFE

*“A essência da vida é saber aceitar e compreender o que a vida nos proporciona, pois somos responsáveis pela colheita do que plantamos.*

*Viva em paz, seja ponderado com você mesmo, pois somente assim saberás colher o fruto da sabedoria” ...*

Angels

## RESUMO

As propriedades bioquímicas do solo como as atividades enzimáticas são indicadores sensíveis que podem ser utilizados no monitoramento de alterações ambientais decorrentes do uso agrícola, sendo ferramentas para orientar o planejamento e a avaliação das práticas de manejo utilizada. Assim, considerando que existe pouca informação sobre a utilização de bioanálises, para avaliar a qualidade do solo em sistemas de produção agrícola, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade microbiológica do solo nos diferentes sistemas de manejos adotados na propriedade denominada Agriter, localizada em Brasnorte-MT, na região do Cerrado. Os tratamentos foram: soja/milho; soja/milheto/pastejo e soja/milheto/estilosante/brachiaria/crotalária. Para a coleta das amostras para as bioanálises, seguiu-se a mesma técnica da coleta das amostras para análises física e química. Para fins práticos no manejo de solos da Fazenda Agriter, com os resultados obtidos quanto ao Índice de Qualidade Química do Solo, Índice de Qualidade Biológica do Solo e Índice de Qualidade do Solo-Fertbio, preliminarmente é possível recomendar, preliminarmente, para as classes de solos NEOSSOLO Quartzarênico à LATOSSOLO de Textura Média a Argilosa o manejo Soja/Milheto/Estilosante/Brachiaria/Crotalária, como manejo futuro, em outros talhões. Porém, é preciso repetir a pesquisa aumentando-se o número de repetições –dos tratamentos para permitir análises estatísticas dos dados e a consequente interpretação dos resultados obtidos.

Palavras-chave: Qualidade química do solo. Qualidade biológica do solo. Fertbio.

## ABSTRACT

The biological and biochemical properties of the soil, such as enzymatic activities, are sensitive indicators that can be used to monitor environmental changes resulting from agricultural use, being tools to guide the planning and evaluation of the management practices used. Thus, considering that there is little information on the use of bioanalyses to assess soil quality in agricultural production systems, the present study aimed to assess the microbiological quality of the soil in the different management systems adopted on the property called Agriter, located in Brasnorte-MT, in the Cerrado region. The treatments were: soybean/corn; soybean/millet/grazing and soybean/millet/styling/brachiaria/crotalaria. For the collection of samples for bio-analyzes, the same technique of collecting samples for physical and chemical analysis was followed. For practical purposes in the management of soils at the Agriter Farm, with the results obtained in relation to the Soil Chemical Quality Index, Soil Biological Quality Index and Soil-Fertbio Quality Index, it is preliminarily possible to recommend preliminarily for the NEOSSOLO soil classes. Quartzearic to LATOSSOLO of Medium to Clay texture the management of Soy/Millet/Styling/Brachiaria/Crotalaria, as future management, in other plots. However, it is necessary to repeat the research by increasing the number of repetitions of the samples to allow statistical analysis of the data and the consequent interpretation of the results obtained.

*Keywords:* Chemical soil quality. Biological soil quality. Fertbio.

## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	02
<b>EPIGRAFE</b> .....	03
<b>RESUMO</b> .....	04
<b>ABSTRACT</b> .....	05
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	07
<b>2 DESENVOLVIMENTO</b> .....	09
2.1 REVISÃO DE LITERATURA.....	09
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	24
2.3 RESULTADOS.....	28
2.4 DISCUSSÃO.....	31
<b>3 CONCLUSÃO</b> .....	33
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	34

## 1 INTRODUÇÃO

As propriedades biológicas (matéria orgânica particulada, presença de microrganismos e enzimas no solo) e bioquímicas do solo como as atividades enzimáticas são indicadores sensíveis que podem ser utilizados no monitoramento de alterações ambientais decorrentes do uso agrícola, sendo ferramentas para orientar o planejamento e a avaliação das práticas de manejo utilizada. A qualidade do solo (saúde do solo) pode ser definida como a capacidade do solo funcionar continuamente como um ecossistema que possa sustentar plantas, animais e seres humanos, assim, a tecnologia da bioanálise surge com a finalidade de preencher uma lacuna nas análises de solo existentes, interpretando as relações microbiológicas, sendo possível, definir parâmetros para avaliar a qualidade do solo, permitindo antecipar problemas atípicos de solo (inatividade de microrganismos do solo) e realizar tomadas de decisões mais precisa (MENDES *et al.*, 2017).

Conforme os parâmetros químicos, físicos e biológicos, a caracterização da fração biológica presente no solo é considerada uma ferramenta eficaz, no que tange, o monitoramento dos requisitos qualitativos do solo, podendo ser avaliada por meio da atividade enzimática, biomassa microbiana, densidade de microrganismos, respiração microbiana e ainda, atividade de grupos funcionais: fixadores de nitrogênio, solubilizadores de fosfato ou rizobactérias promotoras de crescimento (MENDES *et al.*, 2017) e bactérias promotoras de crescimento, estão fortes no mercado atualmente, tal como o *Azospirillum brasilense* que está sendo co-inoculado na soja com rizobactérias..

As enzimas presentes no solo atuam tanto nos micro-organismos, por meio de reações intracelulares, como também nos processos de decomposição e formação de material orgânico e ciclagem de nutrientes. A atividade enzimática do solo é especialmente responsável pelas enzimas extracelulares que estão livres na solução do solo, adsorvidas a colóides ou imobilizadas em complexos húmicos (BALOTA *et al.*, 2013).

Para Kaschuk *et al.* (2009), a biomassa microbiana do solo (BMS) também conhecida como carbono de biomassa microbiana (C-BMS), é definida como parte viva da matéria orgânica do solo e suas bactérias, fungos, actinobactérias, algas e microfauna, excluindo-se as raízes e os animais maiores que  $5 \times 10^3 \mu\text{m}^3$ , sendo considerada o compartimento central do ciclo de carbono.

Com base no que foi exposto, em relação a bioanálises, enzimas e biomassa microbiana, é possível perceber que, tais indicadores, proporcionam a manutenção e/ou melhoria da qualidade do solo, sendo primordial, para a sustentabilidade do sistema de produção e à conservação ambiental.

Em uma propriedade rural são praticados distintos tipos de manejo (diversificação de sistemas de produção – rotação de culturas, sendo evitado o monocultivo), então, determinar qual desses fornecerá melhorias nos atributos biológicos do solo, se torna indispensável.

Assim, considerando que existe pouca informação sobre a utilização de bioanálises, para avaliar a qualidade do solo em sistemas de produção agrícola, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade microbiológica do solo nos diferentes sistemas de manejos adotados na propriedade denominada Agriter, localizada em Brasnorte-MT, na região do Cerrado.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 REVISÃO DE LITERATURA

O solo é um mecanismo natural primordial para o funcionamento do ecossistema, e importa um balancete entre os fatores físicos, químicos e biológicos. O solo contém minerais inorgânicos e fragmentos de areia, silte e argila, configurações imutáveis de material orgânico provenientes da alteração pela biota do solo, a própria biota, composta de minhocas, insetos, bactérias, fungos, algas e nematoides e gases como O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007).

O solo é um aparelho natural, vivo e dinâmico, que acondiciona o cultivo de alimentos e fibras, promovendo o equilíbrio do ecossistema, servindo como fonte para o desenvolvimento das plantas, promovendo suporte físico, e recursos naturais para o desenvolvimento de raízes. Atua também no balanço hídrico, modificação e deterioração de partículas consideradas poluentes (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007).

Segundo Araújo e Monteiro (2007), o solo possui as seguintes funções considerando a ecologia e os seres humanos:

- a) produção de biomassa (alimentos, fibras e energia), fibras e mantimentos;
- b) filtração, tamponamento e alteração da matéria para abrigar o meio-ambiente;
- c) morada biológica e fonte alimentícia de seres vivos presentes;
- d) fonte de areia, argila e minérios;
- e) preserva a história da humanidade;
- f) atua como meio para construção de industriais e afins; moradias populacionais;
- g) permite o desenvolvimento de atividades com/sem fins lucrativos e construções de sistemas de transportes de modo geral.

De acordo com Vezzanil e Mielniczuk (2009), foi nos Estados Unidos a partir do ano de 1990 que a sociedade científica teve como enfoque o estudo sobre a qualidade do solo, inexistindo um consenso comum a respeito do conceito desse termo. De modo geral, a qualidade do solo depende da extensão em que o solo servirá para o benefício humano, considerando sua composição natural, sendo relacionado com as práticas adotadas pelo homem.

A qualidade do solo pode ser entendida como aptidão em funcionar dentro do ecossistema para auxiliar a produtividade biológica, nutrir o atributo ambiental e gerar a saúde dos seres vivos ali presentes (DORAN; PARKIN, 1994). Já, Doran

(1997) relatou que a qualidade do solo, seria a condição de atender aos requerimentos de uma ou mais espécies biológicas e/ou de determinada finalidade humana inserida no respectivo meio.

Para Oldeman (1994), a deterioração do solo influenciada pelo homem representava em 1994 em torno 40% da totalidade das terras eram cultivadas no mundo.

O acréscimo de áreas degradadas tornou-se um assunto de empenho global, tornando uma das maiores preocupações ecológicas (DORAN; SARRANTONIO; LIEBIG, 1996).

Conforme Burns *et al.* (2013), os indicadores biológicos de qualidade de solo são de grande importância, devido aos microrganismos realizarem uma diversidade de atividades no solo, como a degradação de resíduos, aproveitamento de nutrientes, síntese de substâncias húmicas, e associação de partículas do solo.

De acordo com Schloss e Handelsman (2006), em um grama de solo, o número de espécies de microrganismos, varia de 2.000 a 8,3 milhões.

Segundo Lal (1999), altas produtividades agrícolas necessitam ser adjuntas a altos moldes de qualidade do meio ambiente no qual aquele sistema de produção está inserido. Dessa forma, o objetivo da agricultura sustentável é obter aumento de produtividade, conservando a aptidão produtiva do solo e do meio ambiente.

Reichert *et al.* (2003) ressaltam o aumento da preocupação em relação a qualidade do meio ambiente, conseqüentemente com a do solo, influenciando diretamente nas condições ambientais para as gerações sucessoras. Essa preocupação provocou uma conscientização sobre os métodos de cultivo que são empregados no solo, com o intuito de reduzir cada vez mais os possíveis impactos negativos para a natureza, causados pelo mau uso do solo.

Doran e Parkin (1994) definiram qualidade do solo, como a aptidão em laborar dentro do ecossistema para amparar a atividade biológica, conservar qualidade ambiental e disponibilizar condições saudáveis para as plantas e animais.

Já, Seybold *et al.* (1998) descreveram qualidade do solo como um meio para amparar a heterogeneidade biológica ali presente, controlar a absorção de água e outras substâncias, transformar substâncias orgânicas e inorgânicas e reaproveitar nutrientes.

Em suma, percebe-se que, um solo que apresenta níveis adequados em relação a sua qualidade, irá promover tanto produtividades elevadas em relação ao

seu potencial genético como também irá contribuir para o desenvolvimento saudável das plantas e animais inseridos naquele ecossistema, influenciando, tanto em serviços ambientais, econômicos e sociais (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007).

Zilli *et al.* (2003) afirmaram que indicador biológico é conceituado como a presença ou a falta de determinada espécie, em determinada localidade, adjunta a condições ambientais. Os indicadores biológicos respondem rapidamente a alguma alteração que ocorre no solo, quando comparados a indicadores físicos e químicos, principalmente em função da sua utilidade e também do seu manejo.

Para Stenberg (1998), a utilização de microrganismos e ações realizadas pela microbiota do solo como indicadores de qualidade do solo, é devida a aptidão de reagir de forma rápida a possíveis modificações que podem ocorrer no meio ambiente, principalmente do solo, que são oriundas do manejo ali empregado e o fato de que a atividade da microbiota do solo irá regular a deterioração de compostos orgânicos e conseqüentemente, na mineralização da matéria orgânica.

A microbiota apresenta papel importante no comportamento dos nutrientes no solo, no armazenamento do mesmo e em processos que irão moldar a estruturação de um solo, como por exemplo, redução de doenças e pragas que podem prejudicar ou até mesmo impedir o desenvolvimento vegetal. Pode-se perceber que um solo com qualidade adequada, irá apresentar obrigatoriamente, atividade biológica e populações microbianas em equilíbrio (KENNEDY; PAPENDICK, 1995).

Conforme Mendes *et al.* (2017), no Brasil, a necessidade de se avaliar os bioindicadores de solo, coincidiu com a adoção do sistema de plantio direto e integração lavoura-pecuária. Ao longo dos últimos 15 anos, um grande número de pesquisas e de relatos de produtores demonstrou que nem sempre as alterações nas propriedades químicas e ou teores de matéria orgânica do solo (MOS) eram capazes de sinalizar as modificações que ocorriam no solo em função da adoção desses manejos conservacionistas.

Melo *et al.* (2010) conceituaram enzimas como compostos químicos presentes na célula de todo organismo vivo que são formadas por átomos de carbono, que estimulam reações termodinamicamente possíveis. Smith *et al.* (1985), relataram que as enzimas são capazes de acelerar as reações em 10<sup>6</sup> a 10<sup>12</sup> vezes.

Tejada *et al.* (2006) ressaltam que as enzimas são excelentes indicadoras da saúde do solo devido a sua sensibilidade as possíveis mudanças acarretadas por

intemperes climáticos e do manejo ali empregado, e por seus processos de análise laboratoriais serem simples de se realizar e a possibilidade de obtenção de resultados em um curto período de tempo.

De acordo com Resende *et al.* (2002), elevado número de enzimas é excretado pelos microrganismos do solo, incluindo óxido-redutases, hidrolases e transferases. Martens *et al.* (1992) enfatizaram que grande parte das enzimas presentes no solo atuam nos processos de elaboração de moléculas orgânicas recalcitrantes, participando então, do equilíbrio químico do meio-ambiente.

Pode-se notar que a atividade enzimática é capaz de demonstrar dados nos quais é possível avaliar a saúde do solo, devido à afinidade que essa atividade possui como constituintes das frações orgânica e mineral do solo, por isso o manejo irá influenciar tanto na estabilização da matéria orgânica como na agregação e porosidade do solo (DICK; BURNS, 2011).

A atividade enzimática é uma ferramenta eficiente para determinar o estado biológico de um solo, pois além de apresentar uma íntima relação com os microrganismos, sua determinação é fácil e seu custo é reduzido, e ainda é sensível a possíveis mudanças (PEIXOTO *et al.*, 2010).

Os sistemas de produção influenciam diretamente no desempenho da atividade enzimática, pois podem diminuir ou aumentar os teores de carbono, salinidade, disponibilidade de nutrientes, etc. Nessa linha de raciocínio, determinadas condições provenientes do sistema de manejo podem aumentar ou diminuir a atividade enzimática do solo (PEIXOTO *et al.*, 2010).

Peixoto *et al.* (2010) afirmaram que sistemas de produção agrícola que utilizam métodos de conservação do solo apresentam índices superiores de atividades enzimáticas quando comparados aos sistemas convencionais, que tem por característica o revolvimento contínuo do solo. Com a utilização de plantio direto ocorre o aumento da atividade enzimática do solo, principalmente das enzimas amilase, celulase, arilsulfatase e fosfatases.

Conforme os autores anteriormente relataram, a presença de palhada no sistema de plantio direto irá aumentar a atividade de enzimas devido à deterioração de compostos orgânicos ser menor, promovendo um microclima ideal para o desenvolvimento de microrganismos, sendo que esse fenômeno não é observado em solos que são empregados o sistema de plantio convencional. Então, em condições de plantio direto, irá ocorrer tanto a manutenção de carbono que irá

estimular a produção de enzimas, como a manutenção do sistema radicular das culturas anteriores pelo não revolvimento do solo, gerando um incremento de biomassa microbiana, influenciando de forma benéfica a atividade de enzimas (BALOTA *et al.*, 2004).

Como descrito anteriormente a avaliação da atividade microbiana é primordial para determinar a qualidade do solo. Segundo Tabatabai (1994), as enzimas glicosidases estão comumente presentes no solo, e sua nomenclatura varia de acordo com a sua ligação hidrolisável. A  $\alpha$ -glicosidase é responsável por quebrar a celulose proveniente de restos animais, vegetais e microrganismos, atuando tanto na hidrólise como na biodegradação, gerando como produto final a glicose, que é utilizada pelos microrganismos como fonte de energia.

Bandick e Dick (1999) descreveram que essa enzima pode ser utilizada para avaliar a influência do manejo do solo, e conseqüentemente, como um indicador de qualidade do solo, devido sua íntima relação com os teores de compostos orgânicos situados no solo.

Outro grupo de enzimas utilizadas como indicadores de qualidade de solo são as fosfatases, que são responsáveis por quebrar a ligação do éster de fosfato. As fosfatases são nominadas de acordo com o tipo de ligação fosfórica que hidrolisam: fosfomonoesterases, fosfodiesterases, fosfotriesterases, metafosfatases e pirofosfatases. Por meio das fosfatases as moléculas orgânicas que possuem fosfato sofrem clivagem, e acabam possibilitando a liberação de álcool e ácido fosfórico. As fosfomonoesterases são capazes de transformar fósforo orgânico em inorgânico, o qual é passível de ser absorvido pelos vegetais. As enzimas pertencentes a esse grupo podem ser ácidas, neutras e alcalinas. As fosfodiesterases são responsáveis por hidrolisar ácidos nucleicos, e as fosfotriesterases agem sobre as moléculas que contém fosforil (ACOSTA-MARTINEZ; TABATABAI, 2000).

Skujins (1967) enfatizou que as fosfatases são de extrema importância no ciclo do P, tendo influência direta no aparecimento de plantas com sintomas de deficiência de P e conseqüentemente, no crescimento dos vegetais.

O mesmo autor afirmou que adição de fertilizantes em pequena quantidade auxilia a atividade de fosfatases, porém com o incremento contínuo, a efetividade dessa enzima diminuiu. Para solos que possuem deficiência de P, irá ocorrer um aumento de fosfatases do meio, com o intuito de aumentar o processo de

mineralização e fornecimento de fósforo. Por esses motivos que as fosfatases são consideradas indicadores confiáveis de qualidade de solo.

Vong *et al.* (2003) descrevem as arilsulfatases como enzimas produzidas e excretadas por bactérias quando são submetidas à falta de enxofre no ambiente do solo. Kertesz e Mirleau (2004) ressaltam que essas enzimas realizam o processo de mineralização das moléculas de enxofre presentes na matéria orgânica do solo. Por meio da mineralização do enxofre, ocorre a formação de íons  $\text{SO}_4^{2-}$ , no qual a planta se beneficia. Lopes *et al.* (2013) afirmaram que esta enzima presente no ciclo do enxofre é sensível a solos em processos de degradação, demonstrando alterações tanto na matéria orgânica ou em propriedades químicas e físicas.

Lisboa *et al.* (2012) realizaram um estudo sobre as consequências do manejo do solo nas reações hidrolíticas, e perceberam que houve um aumento da atividade dessa enzima em sistemas sem revolvimento do solo, isso ocorreu principalmente devido à conservação da comunidade de fungos, que são os microrganismos fundamentais para a produção de ésteres de enxofre.

A amilase é uma enzima envolvida na liberação de açúcares de baixo peso molecular, que servem de fonte de energia para os microrganismos do solo. Compreendem um grupo de enzimas, basicamente a  $\alpha$ - e a  $\beta$ -amilase, que catalisam a hidrólise do amido a unidades de glicose. A  $\alpha$ -amilase é sintetizada pelas plantas, animais e microrganismos, enquanto a  $\beta$ -amilase é desenvolvida principalmente pelas plantas. Essas enzimas são largamente distribuídas nas plantas e nos solos e têm importante papel na hidrólise do amido. O amido é um homopolissacarídeo formado pela amilose e amilopectina (BALOTA *et al.*, 2013).

Essas enzimas são influenciáveis pelo tipo de solo e pelo manejo, como o tipo de vegetação e a adição de resíduos ao solo (PANCHOLY; RICE, 1973). As plantas influenciam a atividade das amilases diretamente pelo fornecimento de enzimas, ou outros componentes excretados, e pelos resíduos incorporados ao solo ou indiretamente, fornecendo substrato para o crescimento dos microrganismos que as produzem. Assim, um maior entendimento dessas enzimas no solo é fundamental para possibilitar a utilização de práticas de manejo com potencial para maximizar os benefícios delas na sustentabilidade dos ecossistemas.

A celulase é uma enzima que catalisa a hidrólise da celulose, cadeia de polissacarídeo formado por moléculas de glicose em ligação glicosídica  $\beta$ 1,4. Nessa reação, a celulose é clivada em unidades de celobiose, que é um dissacarídeo

formado por unidades de glicose em ligação glicosídica  $\alpha$ 1,4. Posteriormente, a celobiose é hidrolisada em reação catalisada pela  $\alpha$ glicosidase, resultando em moléculas de glicose. O crescimento e a sobrevivência de muitos microrganismos que executam funções relevantes nos solos são dependentes do C contido na celulose (DENG; TABATABAI, 1994).

Entretanto, para que esse C seja liberado como fonte de energia para ser utilizada, a celulose tem que ser degradada em unidades com menor massa molecular pela celulase. A celulose constitui o mais abundante polímero orgânico na biosfera, perfazendo quase 50 % da biomassa sintetizada pela fixação fotossintética do CO<sub>2</sub> (ERIKSSON *et al.*, 1990).

A celulase é produzida por microrganismos e plantas, podendo ocorrer livre no solo, ou em complexos enzimáticos em bactérias celulolíticas anaeróbias (BAYER *et al.*, 1998). As celulases são excretadas principalmente por fungos (ANDERSSON *et al.*, 2004) e respondem a várias condições ambientais, como temperatura, pH, qualidade da matéria orgânica e componentes minerais do solo (DOYLE *et al.*, 2006), inclusive a disponibilidade de N mineral (ANDERSSON *et al.*, 2004).

A urease catalisa a hidrólise da molécula de ureia em amônia e gás carbônico e tem grande importância no solo, sendo considerada vital para a regulação do suprimento de N às plantas, uma vez que a ureia é uma das principais formas de fertilizante nitrogenado. Se a atividade da urease for alta, há rápida formação de amônia, que pode ser perdida por volatilização para a atmosfera. No solo, a amônia vai se transformar no íon amônio, que pode ser absorvido pelas plantas ou nitrificado, correndo o risco de se perder por lixiviação. Se a atividade da urease for baixa, a produção de N-amoniaco pode ser menor que as exigências nutricionais da planta (MELO *et al.*, 2010).

A urease do solo tem origem principalmente vegetal e microbiana, sendo encontrada tanto intra como extracelularmente (BURNS, 1986). A urease purificada extraída de plantas e microrganismos é rapidamente degradada pelas enzimas proteolíticas, quando adicionada ao solo. Entretanto, ela é relativamente persistente, quando associada ao complexo húmico ou argilas, permanecendo estável por longo período (BORGHETTI *et al.*, 2003); pode ainda estar protegida da ação de proteases por permanecer no interior de agregados, onde o substrato (ureia) consegue penetrar, mas não moléculas de maior massa molecular, como as proteases.

A arilsulfatase é constituída por um grupo de enzimas que catalisam a hidrólise de ésteres de aril sulfatos orgânicos. É detectada em plantas, microrganismos e animais e considerada responsável por parte da ciclagem do S nos solos, atuando na mineralização do S orgânico para  $\text{SO}_4^{2-}$ , forma absorvida pelas plantas. Boa parte do S na superfície dos solos está presente na forma de éster sulfato (sulfato orgânico), sugerindo que a arilsulfatase pode ter importante papel no processo de mineralização do S orgânico do solo (TABATABAI, 1994).

Parte considerável das arilsulfatases nos solos é secretada por bactérias em resposta à limitação do S (MCGILL; COLLE, 1981); normalmente, sua ocorrência nos solos é correlacionada com a biomassa microbiana e o nível de imobilização do S (KLOSE; TABATABAI, 1999).

A maioria dos estudos com fosfatases relata o comportamento da fosfatase ácida, pois grande parte dos solos utilizados com agricultura, principalmente sob condições tropicais e subtropicais, são ácidos. As fosfatases têm papel fundamental no ciclo do P nos solos, sendo correlacionadas com a deficiência de P e o crescimento das plantas. A adubação pode influenciar a atividade de fosfatases, que geralmente aumenta após a adição de pequenas doses de fertilizantes, mas decresce com doses mais elevadas, já que o incremento da atividade dessa enzima está relacionado com baixos teores de P inorgânico no solo (SKUJINS, 1967).

Em solos com baixos teores de P, ocorre aumento na liberação de fosfatases, com objetivo de elevar a mineralização e remobilização do fosfato. Em culturas puras, a concentração de fosfatase decresce quando os microrganismos são transferidos de meios deficientes para os com teores suficientes de fosfato. A adição de glicose e nitrato de sódio em solo limo-arenoso intensificou a atividade de fosfatase em razão do aumento da população de bactérias (NANNIPIERI *et al.*, 1978). Assim, as fosfatases podem ser consideradas como bons indicadores da fertilidade do solo.

Proteases são enzimas que catalisam a hidrólise de proteínas, resultando na produção de aminoácidos, que são passíveis de sofrer desaminação, liberando o N amoniacal. Essa hidrólise é o primeiro passo na mineralização do N proteico, que chega ao solo pela incorporação dos restos culturais, pelos fertilizantes orgânicos ou pela morte de organismos (MELO *et al.*, 2010).

Silva e Melo (2004) encontraram correlação positiva entre a atividade de proteases do solo e o teor de N nas folhas de laranjeira cultivada em Latossolo

Vermelho distrófico. A atividade de proteases no solo pode ser indicativo da capacidade biológica desse para a conversão enzimática de substratos, que são dependentes da atividade microbiana (BURNS, 1982).

As desidrogenases têm importante papel na oxidação da matéria orgânica porque atuam na transferência de prótons e elétrons do substrato para o aceptor (CASIDA JR. *et al.*, 1964), existindo apenas como parte integral de células intactas e não acumulando extracelularmente nos solos. Essas participam da cadeia respiratória dos microrganismos e estão diretamente relacionadas ao tipo de solo e às condições de aeração e umidade. Os estudos sobre atividade das desidrogenases podem dar indicações do potencial do solo para manter os processos biológicos, que são essenciais para a sua fertilidade e sustentabilidade. Assim, a atividade das desidrogenases é comumente utilizada como indicadora da atividade biológica (BURNS, 1978).

Estudando o efeito da adubação verde na recuperação de área degradada por mineração de cassiterita na Floresta Nacional do Jamari, Rondônia, Longo *et al.* (2011) observaram aumento na atividade de desidrogenases, porém essa atividade foi inferior à do solo sob mata nativa, que apresentava maior teor de N microbiano.

A hidrólise do 3,6 diacetilfluoresceína (FDA) não expressa a atividade de uma enzima específica, mas a de um grupo de enzimas, que são capazes de realizá-la. Nesse grupo estão lipases, esterases, proteases. A solução de diacetato de fluoresceína é incolor, enquanto a de fluoresceína é fluorescente e pode ser estimada quantitativamente por espectrofotometria. Os ésteres da fluoresceína são apolares e conseguem atravessar a membrana celular, enquanto os produtos da hidrólise são polares e permanecem no interior da célula. O FDA pode ser hidrolisado por algas, protozoários e tecidos animais, mas não por esporos e células microbianas na fase estacionária de crescimento, de modo que a reação pode ser usada para colorir células microbianas metabolicamente ativas.

As glicosidases são umas das mais comuns e predominantes enzimas dos solos (TABATABAI, 1994) e sua denominação varia de acordo com o tipo de ligação que hidrolisa. A  $\alpha$ -glicosidase realiza a hidrólise limite da celulose e é detectada em animais, plantas e microrganismos. Essa enzima catalisa a hidrólise de um dissacarídeo que possui ligação glicosídica  $\alpha$ -1,4, a celobiose; tem importante papel nos solos porque está envolvida na hidrólise e biodegradação de vários resíduos nos

ecossistemas (TABATABAI, 1994); e seu produto final é a glicose, importante fonte de C para os microrganismos.

A â-glicosidade pode dar uma ideia da atividade biológica passada, bem como da capacidade do solo em estabilizar a matéria orgânica. Essa enzima é usada para detectar o efeito do manejo do solo (BANDICK; DICK, 1999) e como indicadora de qualidade do solo (ACOSTA-MARTINEZ; TABATABAI, 2000). Ela também tem relação com o teor de matéria orgânica do solo.

A biomassa microbiana é um dos componentes que controla a decomposição e o acúmulo de matéria orgânica e as transformações envolvendo os nutrientes minerais. Por atuarem nos processos de mineralização/imobilização, os microrganismos do solo são considerados fonte e dreno de nutrientes (SINGH, 2002).

Saggar *et al.* (2013) descrevem nos processos de mineralização, formas orgânicas de nitrogênio (N), fósforo (P) e enxofre (S) na serapilheira que são disponibilizadas às plantas pela ação dos microrganismos do solo, que liberam formas inorgânicas desses elementos. Como os microrganismos também possuem seus próprios requerimentos nutricionais, parte dos nutrientes liberados durante o processo de decomposição pode ser imobilizada na biomassa microbiana.

O nitrogênio da matéria viva encontra-se principalmente nas plantas, sendo representado por 94% do total, outros 4% estão na microbiota e 2% nos animais. Estima-se que o N da matéria orgânica do solo varia entre  $3 \times 10^{17}$  a  $5,5 \times 10^{17}$  g de N; sendo  $1,5 \times 10^{15}$  g de N na biomassa microbiana do solo e  $1,0 \times 10^{15}$  g de N orgânico no solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002). Desta forma, o solo representa o principal reservatório de ligação entre os componentes da biosfera (ROCHETTE; ANGERS, 1999).

A transformação do N orgânico encontrado nos horizontes superficiais, em um determinado período, é influenciada pelos fatores que controlam o crescimento e a atividade microbiana no solo, como a natureza dos resíduos, a temperatura, o pH, a umidade e a aeração (DAO, 1998). O revolvimento estimula o desenvolvimento de microrganismos e os processos oxidativos do solo (BRELAND; ELTUN, 1999). A mineralização do N orgânico do solo pode ser utilizada como um indicador potencial de disponibilidade do N às culturas (VETTERLEIN; HÜTTL, 1999).

Nota-se que o nitrogênio, o fósforo e o enxofre são elementos que se destacam e não se modificam na biomassa microbiana. Roscoe *et al.* (2007) relatam

que correlações positivas entre a matéria orgânica e a biomassa microbiana do solo são comumente reportadas, mostrando ser essa uma relação bastante estreita.

Alterações significativas na biomassa microbiana podem ser detectadas com antecedência quando comparadas às mudanças na matéria orgânica. Assim, a avaliação da biomassa microbiana tem sido proposta como um indicador do estado e das alterações da matéria orgânica do solo e sugerida como uma medida sensível do aumento, ou decréscimo, de sua quantidade (TÓTOLA; CHAER, 2002).

Seria possível, pelo uso desse bioindicador, adotar medidas de correção que evitassem perdas da matéria orgânica, componente essencial para a fertilidade dos solos brasileiros. O quociente microbiano (qMIC) é um índice utilizado para fornecer indicações sobre a qualidade da matéria orgânica, sendo expresso pela relação entre o C da biomassa microbiana e o C orgânico total. Em condições estressantes para os microrganismos (pH, deficiências nutricionais, metais pesados, etc.), a capacidade de utilização do "C" é menor, conduzindo ao decréscimo do qMIC (REIS JÚNIOR; BUENO, 2007).

Para os mesmos autores, com a adição de matéria orgânica de boa qualidade, ou com o término de uma situação de estresse, ocorre um incremento na biomassa microbiana, assim como no qMIC, ainda que os teores de C orgânico total do solo permaneçam praticamente inalterados.

Determinações da biomassa microbiana total, contudo, não fornecem indicações sobre a atividade das populações microbianas do solo. Desse modo, torna-se importante utilizar outras análises, como, por exemplo, a taxa respiratória, o que permite avaliar a atividade microbiana, indicando o estado metabólico das comunidades de microrganismos do solo (ZIBILSKE, 1994).

Anderson (1982) afirma que a respiração depende do estado fisiológico das células e é influenciada por diferentes fatores tais como: umidade, temperatura e disponibilidade de nutrientes no solo. Uma alta taxa de respiração pode ser interpretada como uma característica desejável quando se considera que a decomposição dos resíduos orgânicos irá disponibilizar nutrientes para as plantas. No entanto, uma alta atividade respiratória também pode resultar em decomposição da matéria orgânica mais estável, podendo levar ao comprometimento de processos químicos e físicos, como a agregação, a capacidade de troca catiônica e capacidade de retenção de água, podendo ocorrer, também, a perda de nutrientes.

Taxas de respiração mais elevadas podem indicar tanto um distúrbio, como um alto nível de produtividade do ecossistema, devendo ser analisadas em cada contexto. O quociente metabólico ( $qCO_2$ ) é um índice que expressa a taxa de respiração por unidade de biomassa microbiana (ANDERSON; DOMSCH, 1985). Segundo os mesmos autores, uma biomassa mais eficiente seria aquela que perderia menos C na forma de  $CO_2$  com a respiração e incorporasse mais C às células microbianas. Em amostras que apresentam os mesmos valores de biomassa, aquela que apresenta menor taxa de respiração ( $< qCO_2$ ) é considerada a mais eficiente. Quocientes metabólicos elevados são um indicativo de comunidades microbianas em estágios iniciais de desenvolvimento, com maior proporção de microrganismos ativos em relação aos inativos, ou ainda um indicativo de populações microbianas sob algum tipo de estresse metabólico (ANDERSON; DOMSCH, 1985).

Vários autores relatam maiores atividades enzimáticas em sistemas conservacionistas frente a cultivos convencionais (QIN *et al.*, 2010; PEIXOTO *et al.*, 2010).

De modo geral, as maiores atividades de enzimas como a celulase e amilase estão relacionadas diretamente com o maior teor de C na camada superficial em solo sob plantio direto. Já a atividade das enzimas fosfatases pode ser inibida pela aplicação de fertilizantes fosfatados (BALOTA *et al.*, 2004).

Como no sistema de plantio direto o revolvimento do solo é restrito à linha de semeadura e a faixa de atuação do fertilizante é mais restrita, assim, o efeito na atividade enzimática é menor que no plantio convencional, em que o fertilizante é incorporado em área total. Entretanto, a atividade da fosfatase também apresenta forte relação com o C orgânico total do solo, quando ocorre conversão do sistema de plantio convencional para o plantio direto (MELERO *et al.*, 2008).

Em experimento utilizando duas fontes de celulose, Doyle *et al.* (2006) verificaram que a atividade da celulase variava tanto com a época do ano quanto com a qualidade da fonte de celulose, indicando que a atividade dessa enzima depende da qualidade do substrato sobre o qual atua.

Dessa forma, diferentes coberturas vegetais, com resíduos qualitativamente distintos (relação C/N, teor de celulose, teor de lignina, presença de resinas, monoterpenos, taninos etc.), podem influenciar distintamente na atividade de celulases no solo (BINI *et al.*, 2013).

A atividade da amilase correlacionou-se positivamente com o C microbiano e C orgânico total (BADIANE *et al.*, 2001). Maiores atividades foram encontradas em áreas de pousio mais antigas, onde predominavam espécies arbóreas e maior diversidade e aporte de resíduos orgânicos ao solo. Nas áreas há menos tempo sob pousio, com menor atividade enzimática, havia o predomínio de gramíneas, indicando menor aporte e diversidade de resíduos sobre o solo.

Diversos trabalhos realizados no Brasil enfocando a conversão do sistema de plantio convencional para o sistema de plantio direto indicam que geralmente há aumento da atividade enzimática sob plantio direto. A atividade da  $\alpha$ -glicosidase aumentou entre 95 e 117 % no plantio direto, em relação ao plantio convencional. A celulase foi elevada de 27 a 43 %, a fosfatase ácida variou de -3 a 94 % e a fosfatase alcalina, de 27 a 55 %; o que mais chamou a atenção foi o aumento da atividade da arilsulfatase, que foi superior a 100 % em todos os casos, quando da conversão do plantio convencional para o plantio direto (BALOTA *et al.*, 2013). Pascual *et al.* (2000) avaliaram a atividade da desidrogenase em solos intensamente cultivados e em solos com diferentes períodos de abandono para regeneração da vegetação nativa, encontrando menores atividades em solos abandonados há mais tempo, comparadas às encontradas em solos abandonados há menos de 10 anos. A diminuição da atividade da enzima com o passar do tempo de abandono do solo foi atribuída à sua maior degradação, decorrente da erosão resultante da falta de cobertura vegetal, incapaz de se restabelecer num solo intensamente degradado.

Bastida *et al.* (2006) avaliaram a atividade microbiológica em solos desflorestados e constataram efeito negativo na atividade da desidrogenase quando a vegetação nativa tinha sido removida há 15 anos, comparada ao solo sob vegetação natural.

Vários trabalhos têm reportado a capacidade de as enzimas do solo detectarem mudanças em razão do sistema de manejo antes mesmo que alterações no C ou N microbianos sejam observadas (KNUPP *et al.*, 2010; PEIXOTO *et al.*, 2010).

A maior parte das enzimas do solo são de origem microbiana, embora as plantas e animais também contribuam como possíveis fontes (MENDES *et al.*, 2018).

Ao longo de 20 anos, o grupo de pesquisa em microbiologia do solo da Embrapa Cerrados, selecionou as enzimas arisulfatase e  $\beta$ -glicosidade, como sendo

bioindicadores com alta sensibilidade para detectar alterações no solo em função do sistema de manejo (MENDES *et al.*, 2018).

Com o intuito de auxiliar na interpretação individual destes bioindicadores, o grupo de pesquisa desenvolveu uma estratégia de interpretação, baseada na produtividade de grãos da soja e do milho na matéria orgânica do solo (MOS) (LOPES *et al.*, 2013).

Atualmente, foram desenvolvidas três tabelas de interpretação (LOPES *et al.*, 2018; MENDES *et al.*, 2018), sendo duas destas específicas para serem utilizadas quando as amostras de solo são coletadas no período chuvoso, sendo uma para cultivos anuais sob sistema de plantio direto (SPD) (TABELA 1) e a outra para solos sob plantio convencional (PC) (TABELA 2).

Nos agroecossistemas, a biomassa microbiana imobiliza entre 100 e 600 kg ha<sup>-1</sup> de N e 50 e 300 kg ha<sup>-1</sup> de P até a profundidade de 30 cm no perfil do solo e essas quantidades excedem a aplicação anual de fertilizantes (MARTENS, 1995). A liberação ou imobilização desses nutrientes depende da dinâmica dos microrganismos, da quantidade de resíduos vegetais, do rápido retorno e da eficiência de utilização de carbono pela microbiota (BAUDOIN *et al.*, 2003). A biomassa microbiana responde rapidamente à adição de C e de N aplicados ao solo, determinando a decomposição da matéria orgânica, a relação C:N, a mineralização e a imobilização de nutrientes (HATCH *et al.*, 2000). O rápido retorno de N no solo pelos microrganismos contribui no processo de mineralização e é considerado relevante para a manutenção de ecossistemas naturais (JENKINSON *et al.*, 2004).

**TABELA 1** – CLASSES DE INTERPRETAÇÃO DE BIOINDICADORES PARA LATOSSOLOS VERMELHOS ARGILOSOS DE CERRADO, SOB CULTIVOS ANUAIS EM SPD, PARA AMOSTRAS DE SOLO NA CAMADA DE 0 A 10 CM COLETADAS NO PERÍODO CHUVOSO

Bioindicador <sup>(1)</sup>	Classe de interpretação		
	Baixa	Moderada	Adequada
CBM	≤ 245	246 – 440	> 440
B-glicosidase	≤ 90	91 – 225	> 225
Arisulfatase	≤ 25	26 – 145	> 145
Fosfatase ácida	≤ 700	701 – 1260	> 1260

Nota: (1) Valores de carbono da biomassa microbiana (CBM) expressos em mg de C/kg de solo, valores de atividade de B-glicosidase, fosfatase ácida e arilsulfatase em µg de p-nitrofenol/g de solo/h. Fonte: adaptado de Lopes *et al.* (2008)

**TABELA 2 – CLASSES DE INTERPRETAÇÃO DE BIOINDICADORES PARA LATOSSOLOS VERMELHOS ARGILOSOS DE CERRADO, SOB CULTIVOS ANUAIS EM PC, PARA AMOSTRAS DE SOLO NA CAMADA DE 0 A 10 CM COLETADAS NO FLORESCIMENTO**

Bioindicador <sup>(1)</sup>	Classe de interpretação		
	Baixa	Moderada	Adequada
CBM	≤ 235	236 – 375	> 375
B-glicosidase	≤ 100	101 – 185	> 185
Arisulfatase	≤ 45	466 – 105	> 105
Fosfatase ácida	≤ 660	661 – 940	>940

Nota: (1) Valores de carbono da biomassa microbiana (CBM) expressos em mg de C/kg de solo, valores de atividade de B-glicosidase, fosfatase ácida e arilsulfatase em µg de p-nitrofenol/g de solo/h. Fonte: adaptado de Lopes *et al.* (2008)

A TABELA 3 atende o conceito de amostra de solo Fertbio, ou seja, é específica para amostras de solos coletadas após a colheita das culturas, permitindo essas amostras serem secas no ar, não importando se o manejo é SPD ou PC.

**TABELA 3 – CLASSES DE INTERPRETAÇÃO DE BIOINDICADORES PARA LATOSSOLOS VERMELHOS ARGILOSOS DE CERRADO, SOB CULTIVOS ANUAIS, UTILIZANDO O CONCEITO FERTBIO: ESPECÍFICA PARA AMOSTRAS DE SOLO COLETADAS NA CAMADA DE 0 A 10 CM NA FASE DE PÓS-COLHEITA E SECAS AO AR (PADRÃO EM COLETAS DE SOLO PARA FINS DE ANALISAR A FERTILIDADE)**

Bioindicador <sup>(1)</sup>	Classe de interpretação		
	Baixa	Moderada	Adequada
CBM	≤ 152	153 – 324	> 24
B-glicosidase	≤ 66	67 – 115	> 115
Arisulfatase	≤ 30	31 – 70	> 70
Fosfatase ácida	≤ 263	264 – 494	> 494

Nota: (1) Valores de carbono da biomassa microbiana (CBM) expressos em mg de C/kg de solo, valores de atividade de B-glicosidase, fosfatase ácida e arilsulfatase em µg de p-nitrofenol/g de solo/h. Fonte: Mendes *et al.* (2019)

Segundo Duarte *et al.* (2014) o manejo inadequado do solo por meio das atividades agropecuárias pode com o tempo trazer graves consequências, exaurindo suas reservas orgânicas e minerais, transformando solos com grande potencial de produção em solos de baixa fertilidade.

Os sistemas integrados de produção agrícola, assim como outras práticas de manejo consideradas conservacionistas, apresentam-se como alternativas viáveis para a sustentabilidade do uso do solo (SILVA *et al.*, 2011).

Uma das práticas conservacionistas capazes de promover a sustentabilidade dos solos agrícolas é a adubação verde, que consiste no cultivo e corte de plantas em plena floração, com ou sem incorporação da fitomassa, com a finalidade de

aumento, preservação e/ou restauração da fertilidade do solo e da produtividade das culturas (BRITO *et al.*, 2017).

A adubação verde, seja em consórcio ou sucessão com outras espécies, pode gerar quantidades de matéria seca suficientes para manter o solo coberto, aumentar o teor de matéria orgânica, contribuir na ciclagem de nutrientes, no armazenamento da água, na manutenção de temperatura mais baixa na camada superficial do solo e diminuir a evapotranspiração (GIONGO *et al.*, 2011).

Conforme Almeida *et al.* (2016), afirmam que, além disso, a adubação verde em diferentes manejos favorece a ocorrência de organismos da fauna edáfica e a atividade microbiana, o que promove a ciclagem do nitrogênio e do carbono no solo.

Para Aragão *et al.* (2012) tem crescido na comunidade científica o interesse por indicadores do funcionamento do sistema solo, baseados na atividade microbiana.

Uma das principais responsáveis pela decomposição dos resíduos orgânicos, é a biomassa microbiana, pela ciclagem de nutrientes e pelo fluxo de energia no solo, podendo ter influência tanto na transformação da matéria orgânica, quanto na estocagem do carbono e nutrientes minerais. Além disso, vem sendo utilizada como indicador de alterações e de qualidade do solo, uma vez que está associada às funções ecológicas do ambiente e são capazes de refletir rapidamente as mudanças de uso do solo, pois qualquer estresse no sistema afeta a densidade, a diversidade e a atividade da microbiota (MATOSO *et al.*, 2012).

Assim, a avaliação da biomassa microbiana pode ajudar a orientar os produtores a manejarem seus solos de forma mais produtiva e sustentável (ARAGÃO *et al.*, 2012).

O conhecimento do impacto de sistemas conservacionistas de manejo sobre a biomassa microbiana do solo e sua atividade é importante. Essa informação pode contribuir para o estabelecimento de uma relação mais confiável entre o uso do solo e a sustentabilidade (ALVES *et al.*, 2011).

## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Fazenda Agriter no município de Brasnorte, localizada na região norte do estado do Mato Grosso, no centro-oeste brasileiro. No

plano de coordenadas geográficas, a propriedade está situada na latitude 13° 03' 27,79" S, longitude 57° 47' 20,09" O e 454 m de altitude.

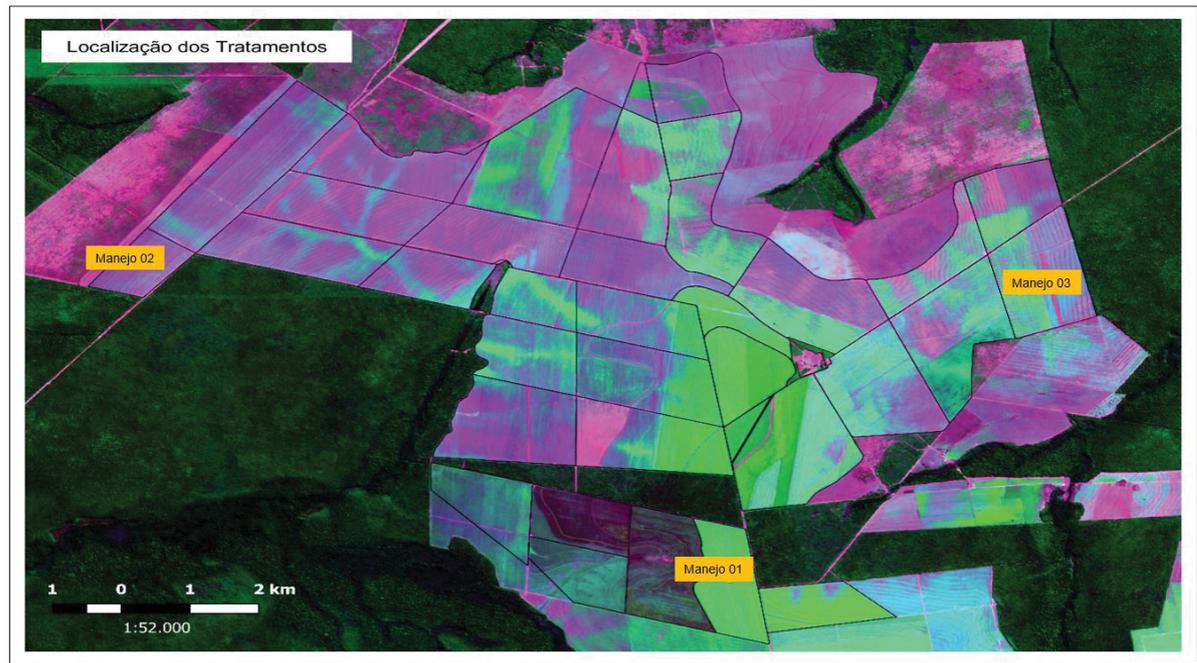
Quanto as condições edafoclimáticas, o relevo é caracterizado como de depressão Interplanáltica da Amazônia Meridional e a formação geológica com Complexos Metamórficos Arqueanos e Pré-cambrianos Indiferenciados, Complexo Basal e Faixa Móvel Brasileira. Na propriedade é encontrada uma grande variabilidade textural, com solos desde NEOSSOLO Quartzarênico à LATOSSOLO de Textura Média a Argilosa (EMBRAPA, 2013). O clima da região segundo a classificação de Köppen é equatorial, quente e úmido, e a temperatura média anual é 24 °C. A média anual de pluviosidade é de 2.250 mm, com intensidade máxima em janeiro, fevereiro e março (CLIMATE-DATE, 2019).

Os campos experimentais foram escolhidos de acordo com sua representatividade dos métodos de manejo e gestão agrícola predominante na propriedade, que incluem, utilização de adubação química, presença ou ausência de cobertura vegetal, utilização de plantas de cobertura e rotação de culturas (FIGURA 2).

A coleta de amostras de solo foi realizada na primeira quinzena de fevereiro, após a colheita da cultura da soja, com auxílio de um trado holandês, no sentido perpendicular em relação à linha de plantio. Nas áreas sob cobertura vegetal, antes da coleta das amostras, foi retirada a camada superficial de restos vegetais presentes na superfície do solo. Em cada talhão selecionado, foram selecionados cinco pontos de coleta, sendo que em cada um desses pontos foram feitos cinco furos na profundidade de 0 a 10 cm, com distância lateral de 10 cm entre cada furo (FIGURAS 3A E 3C), totalizando 25 amostras simples para cada amostra composta.

Após a coleta de cada amostra, fez-se a homogeneização do solo em um balde seguido do acondicionamento em sacos plásticos (FIGURA 3B), sendo parte do solo encaminhado para o Laboratório Solos e Plantas (Sorriso-MT) para realização de análises químicas e granulométricas (ANEXO A), e outra parte enviada ao laboratório da Embrapa Cerrados (Planaltina-DF), para a realização da bioanálise do solo. O transporte das amostras foi via transportadora, acondicionadas em caixa de papelão, conforme orientação dos laboratórios citados.

**FIGURA 2 – MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS MANEJOS AVALIADOS, NA PROPRIEDADE AGRITER, BRASNORTE – MT**



Manejo 01<sup>(1)</sup>

Manejo 02<sup>(2)</sup>

Manejo 03<sup>(3)</sup>

(1) Soja /milho; (2) Soja/milheto/pastejo; (3) Soja/milheto/estilosante/brachiaria/crotalária.

Fonte: Google Earth (2020).

**FIGURAS 3A, 3B E 3C – ETAPAS DA AMOSTRAGEM DE SOLO UTILIZADAS NA PROPRIEDADE AGRITER, BRASNORTE – MT**



Fonte: elaborado pelo autor.

Nas TABELAS 4, 5 e 6 são apresentados os históricos dos diferentes manejos avaliados.

**TABELA 4 – MANEJO 01 UTILIZADO NA PROPRIEDADE AGRITER, BRASNORTE – MT**

Manejo 01	2016			2017			2018			2019			2020			
	Área de 188,31ha	Fev.	Jul.	Out.	Jan.	Fev.	Jul.	Out.	Jan.	Fev.	Jul.	Out.	Jan.			
Plantio do milho	X															
Colheita do milho		X														
Plantio da soja			X													
Colheita da soja				X												
Plantio do milho					X											
Colheita do milho						X										
Plantio da soja							X									
Colheita da soja								X								
Plantio do milho									X							
Colheita do milho										X						
Plantio da soja											X					
Colheita da soja												X				
Plantio do milho													X			
Colheita do milho														X		
Plantio da soja															X	
Colheita da soja																X

Fonte: elaborado pelo autor.

**TABELA 5 – MANEJO 02 UTILIZADO NA PROPRIEDADE AGRITER, BRASNORTE – MT**

Manejo 02	2016		2017		2018		2019		2020			
	Área de 100ha	Mar.	Out.	Jan.	Mar.	Out.	Jan.	Mar.	Out.	Jan.		
Plantio milheto	X											
Colheita milheto			X									
Plantio da soja		X										
Colheita da soja				X								
Plantio milheto					X							
Colheita milheto						X						
Plantio da soja							X					
Colheita da soja								X				
Plantio milheto									X			
Colheita milheto										X		
Plantio da soja											X	
Colheita da soja												X

Fonte: elaborado pelo autor.

**TABELA 6 – MANEJO 03 UTILIZADO NA PROPRIEDADE AGRITER, BRASNORTE – MT**

Manejo 03 Área 168,73ha	2016			2017			2018			2019			2020
	Mar.	Out.	Jan.										
Plantio milho	X												
Colheita milho		X											
Plantio da soja		X											
Colheita da soja			X										
Plantio estiolante				X									
Plantio da soja								X					
Colheita da soja									X				
Plantio brachiária/crotalaria										X			
Plantio da soja											X		
Colheita da soja												X	

**Fonte:** elaborado pelo autor.

Para a coleta das amostras para as bionálises, seguiu-se a mesma técnica da coleta das amostras para análises física e química. O Laboratório da Embrapa Cerrados (Planaltina-DF) segue a metodologia Fertibio, proposta por Mendes *et al.* (2019) (QUADRO 1).

**QUADRO 1 – ESCALA DE CORES DOS ÍNDICES DE QUALIDADE DO SOLO**

0 – 0,2	0,2 – 0,4	0,4 – 0,6	0,6 – 0,8	0,8:
Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto

**Fonte:** Mendes *et al.* (2019).

Os dados coletados foram submetidos à análise estatística descritiva, conforme Piana, Machado e Selau (2009); tais dados foram interpretados por intermédio da elaboração de gráficos e de tabelas com base nas Normas de Apresentação Tabular do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (1993).

### 2.3 RESULTADOS

Na TABELA 4, é possível observar o IQS Biológico, o qual é resultante da capacidade do solo de ciclar nutrientes (enzimas). No manejo S/M, o IQS Biológico é classificado como baixo e os manejos S/Mto/P e S/Mto/Est/Brach/Crot são considerados altos.

**TABELA 4 – B-GLICOSIDASE, ARISULFATASE, CICLAGEM DE NUTRIENTES E IQS BIOLÓGICO DE UM LATOSSOLO DE TEXTURA MÉDIA A ARGILOSA, SOB SISTEMA DE PLANTIO DIRETO, COM DIFERENTES PLANTAS DE COBERTURA (0 – 10 CM), NA REGIÃO NORTE DO ESTADO DO MATO GROSSO**

Manejo	$\beta$ -Glicosidase	Arisulfatase	Ciclagem de Nutrientes	IQS Biológico
	---mg de p-nitrofenol kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ---			
S/M <sup>(1)</sup>	42	12	0,38	0,38
S/Mto/P <sup>(2)</sup>	29	6	0,57	0,57
S/Mto <sup>(3)</sup> /Est <sup>(4)</sup> /Brach/Crot <sup>(5)</sup>	55	8	0,7	0,7

<sup>(1)</sup>Soja/Milho; <sup>(2)</sup>Soja/Milheto/Pastejo; <sup>(3)</sup>Soja/Milheto; <sup>(4)</sup>Estilosante; <sup>(5)</sup>Brachiaria/Crotalária.

Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
-------------	-------	-------	------	------------

**Fonte:** elaborado pelos autores.

Conforme as TABELAS 4 e 5, o manejo S/M safrinha em solo argiloso, apresentou maior valor para a enzima arisulfatase (12,00 mg de p-nitrofenol kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>), quando comparado aos demais manejos (S/Mto/P: 6,00 mg de p-nitrofenol kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> e S/Mto/Est/Brach/Crot: 8,00 mg de p-nitrofenol kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>), os quais foram cultivados em solos de textura média/arenosa.

Ao analisar os manejos S/M e S/Mto/Est/Brach/Crot em relação à enzima  $\beta$ -glicosidase (TABELA 4), fica evidente a importância da rotação de culturas no aumento da atividade biológica do solo.

O maior valor de  $\beta$ -Glicosidase foi obtido para o manejo S/Mto/Est/Brach/Crot (55,00 mg de p-nitrofenol kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, solo com 14,00% de argila e rotação de culturas que agrega biomassa ao sistema), superando inclusive o manejo S/M (42,00 mg de p-nitrofenol kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, solo com 29,00% de argila e manejo soja e milho safrinha por três anos consecutivos) (TABELA 5).

No manejo S/Mto/P, após a colheita da soja, foi cultivada a cultura do milho e posteriormente fez-se o uso do pastejo de gado. Como consequência, notou-se uma menor quantidade de biomassa que possivelmente influencia nos valores obtidos da  $\beta$ -glicosidase (TABELA 4). Já no manejo S/Mto/Est/Brach/Crot, tem-se para os últimos três anos, uma alternância de culturas de cobertura, sendo utilizados: milho, estilosante, braquiária e crotalária. Os resultados mostram um aumento da atividade da  $\beta$ -glicosidase de 1,89 vezes entre o manejo S/Mto/P (29,00 mg de p-nitrofenol kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) e S/Mto/Est/Brach/Crot (55,00 mg de p-nitrofenol kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>). Nesses dois casos, também são observados solos com textura de solo (média/arenosa) (TABELA 5).

A capacidade do solo de armazenar nutrientes (matéria orgânica e CTC) e a capacidade do solo de suprir nutrientes (P, K, Ca, Mg, pH, acidez potencial etc.), influenciam diretamente no IQS Químico, o qual é apresentado na TABELA 5, com resultados contrários, ou seja, quanto maior o IQS Químico, menor é a matéria orgânica e vice-versa.

**TABELA 5 – MATÉRIA ORGÂNICA, ARMAZENAMENTO DE NUTRIENTES, SUPRIMENTO DE NUTRIENTES E IQS QUÍMICO DE UM LATOSSOLO DE TEXTURA MÉDIA A ARGILOSA, SOB SISTEMA DE PLANTIO DIRETO, COM DIFERENTES PLANTAS DE COBERTURA (0 – 10 CM), NA REGIÃO NORTE DO ESTADO DO MATO GROSSO**

Manejo	Matéria Orgânica	Armazenamento de Nutrientes	Suprimento de Nutrientes	IQS Químico
S/M <sup>(1)</sup>	29,00	0,87	0,87	0,87
S/Mto/P <sup>(2)</sup>	16,00	0,99	0,87	0,93
S/Mto <sup>(3)</sup> /Est <sup>(4)</sup> /Brach/Crot <sup>(5)</sup>	14,00	0,93	0,87	0,90

(1)Soja/Milho; (2)Soja/Milheto/Pastejo; (3)Soja/Milheto; (4)Estilosante; (5)Brachiaria/Crotalária.

Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
-------------	-------	-------	------	------------

Fonte: elaborado pelos autores.

O IQS-Fertbio (TABELA 6), IQQS (TABELA 5) e IQBS (TABELA 4) variam de 0 a 1, sendo que quanto mais próximo de 1, melhor é o desempenho da função ou da qualidade do solo (IQS-Fertbio).

**TABELA 6 – IQS Fertbio e produtividade da soja de um Latossolo de textura média a argilosa, sob sistema de plantio direto, com diferentes plantas de cobertura (0 – 10 cm), na região norte do estado do Mato Grosso**

Manejo	IQS Fertbio	Produtividade (sc ha <sup>-1</sup> )				
		16/17	17/18	18/19	19/20	Δ
S/M <sup>(1)</sup>	0,71	65,00	61,48	63,00	59,60	- 9,06%
S/Mto/P <sup>(2)</sup>	0,81	43,20	43,13	46,84	46,49	+ 7,61%
S/Mto <sup>(3)</sup> /Est <sup>(4)</sup> /Brach/Crot <sup>(5)</sup>	0,83	37,40	0,0	53,00	51,51	+37,72%

(1)Soja/Milho; (2)Soja/Milheto/Pastejo; (3)Soja/Milheto; (4)Estilosante; (5)Brachiaria/Crotalária.

Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
-------------	-------	-------	------	------------

Fonte: elaborado pelos autores.

Assim, na TABELA 6, é possível perceber uma tendência no aumento da produtividade da soja ao longo dos últimos quatro anos, em função da melhoria do IQBS, IQQS e IQS-Fertbio (qualidade do solo) quando manejado com S/Mto/Est/Brach/Crot (37,72%). No manejo S/Mto/P, também houve um acréscimo

de 7,61% na produtividade da soja. Já no manejo S/M, ocorreu uma redução de produtividade de 9,06%.

## 2.4 DISCUSSÃO

Segundo Mendes *et al.* (2019), o Índice de Qualidade de Solo Fertbio (IQS-Fertbio) quantifica a qualidade química e biológica de um solo. O IQS-Fertbio pode ser decomposto em dois sub-índices: o índice de qualidade química do solo (IQQS) e o índice de qualidade biológica do solo (IQBS). A sub-divisão do IQS-Fertbio nesses dois sub-índices representa um grande avanço, pois vários estudos têm evidenciado que áreas com IQQS alto/muito alto, não necessariamente possuem IQBS satisfatórios.

A arilsulfatase é considerada uma enzima indutiva, isso quer dizer que se há baixa concentração de sulfato na solução de solo, haverá baixa disponibilidade de S e, portanto, os microrganismos do solo estimulam a produção dessa enzima (PIOTROWSKA-DŁUGOSZ *et al.*, 2017), o que resulta em sua maior atividade. Em contraposto, altos teores de sulfato no solo diminuem a atividade e a produção de arilsulfatase (SIWIK-ZIOMEK *et al.*, 2016).

Por isso, a atividade da arilsulfatase também pode ser considerada como indicador de intensidade da mineralização bioquímica de ésteres de sulfato orgânicos no solo (KOTKOVÁ *et al.*, 2008).

A  $\beta$ -glucosidase atua na etapa final do processo de decomposição da celulose, sendo responsável pela hidrólise dos resíduos de celobiose formando o açúcar simples  $\beta$ -D-glucose. A atividade dessa enzima pode apresentar relação com os teores de C prontamente mineralizável (MATSUOKA *et al.*, 2003) e COT (PHALKE *et al.*, 2016; LUNGMUANA *et al.*, 2017).

Mendes *et al.* (2003) avaliando atributos microbiológicos de um Latossolo sob vegetação nativa e cultivada, Green *et al.* (2007) observando o impacto de diferentes tipos de manejo sobre atributos biológicos do solo e Peixoto *et al.* (2010), analisando o efeito do cultivo do solo e seu manejo sobre a microbiota, também encontraram os valores menores de  $\beta$ -glicosidase, quando comparados aos da presente pesquisa.

No que se diz respeito ao manejo, Mendes *et al.* (2003), Balota *et al.* (2004), Mijangos *et al.* (2006) e Silva (2008), utilizando indicadores microbiológicos para avaliação da qualidade dos solos de cerrado sob diferentes agroecossistemas,

também encontraram maior atividade da  $\beta$ -glicosidase. A maior atividade da  $\beta$ -glicosidase nos solos sob PD está relacionada ao fato de que a ausência de revolvimento do solo permite o acúmulo, em sua superfície, de resíduos vegetais de menor complexidade que servem de substrato para a atuação dessa enzima. Nos solos sob PC, o revolvimento do solo não permite esse acúmulo de resíduos, resultando em menor atividade enzimática.

De acordo com Mendes *et al.* (2003) fatores como: acessibilidade; qualidade dos substratos orgânicos e alterações nas comunidades microbianas podem estar associados às mudanças nos teores de CBM, fosfatase ácida,  $\beta$ -glicosidase e arilsulfatase. Isto pode justificar a diferença encontrada entre os solos sob manejo agrícola e a área estudados.

Silva (2008), avaliando a qualidade do solo nestas mesmas áreas, encontrou maior IQS nas áreas sob PD que aquelas sob PC, justificando que o menor revolvimento do solo no PD resulta em maior acúmulo de resíduos orgânicos e nutrientes na sua camada superficial, favorecendo a melhoria nos atributos biológicos, os quais podem ser verificados através de aumentos no carbono da biomassa microbiana e nos níveis de atividade enzimática. Amado *et al.* (2007) utilizando um kit elaborado pelo Instituto de Qualidade do Solo, vinculado ao Serviço de Pesquisa Agrícola do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, também encontraram os mais altos níveis de qualidade do solo nas áreas sob PD, destacando o aporte de elevadas quantidades de C e N via resíduos culturais.

### 3 CONCLUSÃO

Para fins práticos no manejo de solos da Fazenda Agriter, com os resultados obtidos quanto ao IQQS, IQBS e IQS-Fertbio, preliminarmente é possível recomendar, para a mesma classe de solo o manejo Soja/Milheto; Estilosante; Brachiaria/Crotalária, como manejo futuro, em outros talhões, objetivando melhoria nas atividades biológicas e químicas do solo, refletindo na qualidade do mesmo e, tendo como consequência, aumento de produtividade agrícola.

É preciso repetir a pesquisa aumentando-se o número de repetições por tratamento para permitir análises estatísticas dos dados e poder interpretar com mais segurança os resultados obtidos.

## REFERÊNCIAS

ACOSTA-MARTINEZ, V.; TABATABAI, M. A. Enzyme activities in a limed agricultural soil. **Biology and Fertility of Soils**, v. 31, n. 1, p. 85-91, 2000.

ALMEIDA, D. O. *et al.* Fauna e atributos microbiológicos de um Argissolo sob sistemas de cobertura no Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1140-1147, 2016.

ALVES, T. D. S. *et al.* Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 33, n. 2, p. 341-347, 2011.

ANDERSSON, M. *et al.* Microbial enzyme activities in leaf litter, humus and mineral soil layers of European forests. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 36, n. 1527-1537, 2004.

ANDERSON, J. P. E. Soil respiration. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D. R. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy: Soil Science Society of Agronomy, 1982, p. 831-872.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Determination of ecophysiological maintenance carbon requirements of soil microorganisms in a dormant state. **Biology and Fertility of Soils**, v. 1, p. 81-89, 1985.

ARAGÃO, D. V. *et al.* Avaliação de indicadores de qualidade do solo sob alternativas de recuperação do solo no Nordeste Paraense. **Acta Amazônica**, v. 42, n. 1, p. 11-18, 2012.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 3, p. 66-75, Jul./Sep. 2007.

BADIANE, N. N. Y. *et al.* Use of soil enzyme activities to monitor soil quality in natural and improved fallows in semi-arid tropical regions. **Applied Soil Ecology**, v. 18, n. 1, p. 229-238, 2001.

BALOTA, E. L. *et al.* Enzimas e seu papel na qualidade do solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 8, n. 1, p. 221-278, 2013.

BALOTA, E. L. *et al.* Soil enzyme activities under long-term tillage and crop rotation systems. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 35, n. 1, p. 300-306, 2004.

BANDICK, A. K.; DICK, R. P. Field management effects on soil enzyme activities. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 31, n. 1, p. 1471-1479, 1999.

BASTIDA, F. *et al.* Microbiological activity in a soil 15 years after its devegetation. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 38, n. 1, p. 2503-2507, 2006.

BAYER, E. A. *et al.* Cellulosomes - structure and ultrastructure. **Journal of Structural Biology**, v. 124, n. 1, p. 221-234, 1998.

BAUDOIN, E. *et al.* Impact of artificial root exudates on the bacterial community structure in bulk soil and maize rhizosphere. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 35, p.1183-1192, 2003.

BINI, D. *et al.* Effects of land use on soil organic carbon and microbial processes associated with soil health in southern Brazil. **European Journal of Soil Biology**, v. 55, n. 1, p. 117-123, 2013.

BORGHETTI, C. *et al.* Activity and stability of urease-hydroxyapatite and urease-hydroxyapatite-humic acid complexes. **Biology and Fertility of Soils**, v. 38, p. 96-101, 2003.

BRELAND, T. A.; ELTUN, R. Soil microbial biomass and mineralization of carbon and nitrogen in ecological, integrated and conventional forage and arable cropping systems. **Biology and Fertility of Soils**, v. 30, p. 193-201, 1999.

BRITO, M. F. *et al.* Reciclagem de nutrientes de adubos verdes e produtividade de milho cultivado em sucessão em agroecossistema de transição agroecológica. **Acta Iguazu**, v. 6, n. 3, p. 11-21, 2017.

BURNS, R. G. **Enzymes in soil**: Some theoretical and practical considerations. In: BURNS, R.G., ed. *Soil enzymes*. New York, Academic Press, p. 295-339, 1978.

BURNS, R. G. Enzyme activity in soil: Location and possible role in microbial ecology. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 14, n. 1, p. 423-427, 1982.

BURNS, R. G. *et al.* Soil enzymes in a changing environment: current knowledge and future directions. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 58, p. 216-234, 2013.

CAMARGO, A. O. *et al.* **Métodos de análise química, mineralogia e física de solos do IAC**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1986. 94p. (IAC. Boletim Técnico, 106).

CASIDA Jr., L. E. *et al.* Soil dehydrogenase activity. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 98, n. 1, p. 371-376, 1964.

CERVANTES, V. N. M. **Atributos microbiológicos do solo auxiliam na explicação de níveis de produtividade de soja sob plantio direto no Paraná**. Londrina: Universidade Estadual de Londrina (Dissertação de mestrado), 2012.

CHESBORO, W. *et al.* When nutrient limitation places bacteria in the domains of slow growth: Metabolic, morphologic and cell cycle behaviour. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 74, p. 103-120, 1990.

CLIMATE-DATA, **Dados Climáticos para Brasnorte/MT – Brasil**, 2019. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org>>. Acesso em: 10 maio 2020.

COCHRAN, V. L. *et al.* An estimation of microbial death rate and limitations of C or N during wheat straw decomposition. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 20, p. 293-298, 1988.

CONCEICAO, P. C. *et al.* Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 777-788, Out.. 2005.

DAO, T. H. Tillage and crop residue effects on carbon dioxide evolution and carbon storage in a Paleustoll. **Soil Science Society of American Journal**, v. 62, p. 250-256, 1998.

DENG, S. P.; TABATABAI, M. A. Cellulase activity of soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 26, n. 1, p. 1347-1354, 1994.

DICK, R. P.; BURNS, R. G. A brief history of soil enzymology research. *In*: DICK, R.P. (Ed.). **Methods of soil enzymology**. Madison, Soil Science Society of America, 2011. p.1-19. (Book Series, 9).

DICK, W. A. Influence of long-term tillage and crop rotation combinations on soil enzyme activities. **Soil Science Society of America Journal**, v. 48, n. 1, p. 569-574, 1984.

DORAN, J. W. Soil quality and sustainability. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. **Anais...** Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. CD-ROM.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. *In*: DORAN, J. W. *et al.*, (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, SSSA, 1994. p.1-20. (Special, 35).

DORAN, J. W. *et al.* Soil health and sustainability. **Advances in Agronomy**. v. 56, p. 2-54, 1996.

DOYLE, J. *et al.* Cellulase dynamics in a desert soil. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 38, n. 1, p. 371-376, 2006.

DUARTE, E. N. *et al.* Estratégias metodológicas adotadas nas pesquisas de iniciação científica premiadas na UFPB: em foco a Série "Iniciados". **Revista Eletrônica de Biblioteconomia e Ciência da Informação**, Florianópolis, v. 14, n. 27, p.170-190, 2009.

DUARTE, I. B. *et al.* Plantas de cobertura e seus efeitos na biomassa microbiana do solo. **Acta Iguazu**, v. 3, n. 2, p. 150-165, 2014.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação do solo**. Ed. 3, Brasília, DF. 2013. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-produtos-processos-e-servicos/-/produto-servico/1299/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos---sibcs-3-edicao>>. Acesso em: 10 maio 2020.

ERIKSSON, K.E.L. *et al.* **Microbial and enzymatic degradation of Wood and wood components**. Berlin, Springer-Verlag, 1990. 407p.

FLANAGAN, P. W.; VAN CLEVE, K. Nutrient cycling in relation to decomposition and organic matter quality in taiga ecosystems. **Canadian Journal for Research**, v. 13, p. 795-817, 1983.

GIONGO, V. *et al.* Decomposição e liberação de nutrientes de coquetéis vegetais para utilização no semiárido brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 3, p. 611-618, 2011.

GOOGLE EARTH, **Google Mapas de Brasnorte/MT – Brasil**, 2020. Disponível em: <<https://maps.google.com.br/maps>>. Acesso em: 10 maio 2020.

GOTTSCHAL, J. C. Phenotypic response to environmental changes. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 74, p. 93-102, 1990.

GREEN, V. *et al.* Tillage impacts on soil biological activity and aggregation in a Brazilian Cerrado Oxisol. **Soil and Tillage Research**, v. 92, n. 1-2, p. 114–121, jan. 2007.

GRISI, B. M.; GRAY, T. R. G. Comparação dos métodos de fumigação, taxa de respiração em resposta à adição de glicose e conteúdo de ATP para estimar a biomassa microbiana dos solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 10, p. 109-115, 1986.

GUPTA, V. V. S. R.; GERMIDA, J. J. Distribution of microbial biomass and its activity in different soil aggregate size classes as affected by cultivation. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 20, n. 1, p. 777-786, 1988.

HUNGRIA, M. *et al.* Soil microbial activity and crop sustainability in a long-term experiment with three soil-tillage and two crop-rotation systems. **Applied Soil Ecology**, v. 42, n. 3, p. 288-296, 2009.

HATCH, D. J. *et al.* Nitrogen mineralization and microbial activity in permanente pastures amended with nitrogen fertilizer or dung. **Biology and Fertility of Soils**, v. 30, p. 288-293, 2000.

HOLMES, W. E.; ZAK, D. R. Soil microbial biomass dynamics and net nitrogen mineralization in northern hardwood ecosystems. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, p. 238-243, 1994.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Normas de apresentação tabular**. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Centro de documentação e disseminação de informações. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1993, 62p. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv23907.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2020.

JENKINSON, D.S. *et al.* Measuring soil microbial biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 36, p. 5-7, 2004.

JENKINSON, D. S.; LADD, J. N. **Microbial biomass in soils**: measurement and turnover. In: PAUL, E.A.; LADD, J.N. (Eds.). *Soil biochemistry*, 5. New York: Marcel Decker, p. 415-471, 1981.

JORDAN, D. *et al.* Evaluation of microbial methods as potential indicators of soil quality in historical agricultural fields. **Biology and Fertility of Soils**, v. 19, p. 297-302, 1995.

KASCHUK, G. *et al.* Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 42, n. 1, p. 1-13, January, 2009.

KENNEDY, A. C.; PAPENDICK, R. I. Microbial characteristics of soil quality. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 50, n. 1, p. 243-248, 1995.

KERTESZ, M. A.; MIRLEAU, P. The role of soil microbes in plant sulphur nutrition. **Journal of Experimental Botany**, v. 55, p. 1939-1945, 2004.

KLOSE, S.; TABATABAI, M.A. Arylsulfatase activity of the microbial biomass in soil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 53, n. 1, p. 569-574, 1999.

KNUPP, A. M. *et al.* **Avaliação de indicadores biológicos de qualidade do solo em unidades piloto de produção integrada de feijoeiro comum**. Santo Antônio de Goiás, Embrapa Arroz e Feijão, 2010. 23p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 35).

KOTKOVÁ, B. *et al.* Crop influence on mobile sulphur content and arylsulphatase activity in the plant rhizosphere. **Plant, Soil and Environment**, v. 54, n. 3, p. 100-107, 2008.

LADD, J. N. *et al.* Decomposition of plant material in Australian soils. III. Residual organic and microbial biomass C and N from isotope-labelled legume material and soil organic matter, decomposing under field conditions. **Australian Journal Soil Research**, v. 23, p. 603-611, 1985.

LAL, R. Soil management and restoration for C sequestration to mitigate the greenhouse effect. **Progress in Environmental Science**, v. 1, n. 1, p.307-326, 1999.

LISBOA, B. B. *et al.* Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 1, p. 45-55, 2012.

LONGO, R. M. *et al.* Recuperação de solos degradados na exploração mineral de cassiterita: Biomassa microbiana e atividade da desidrogenase. **Bragantia**, v. 70, n. 1, p. 132-138, 2011.

- LOPES, A. A. C. *et al.* Interpretation of microbial soil indicators as a function of crop yield and organic carbon. **Soil Science Society of America Journal**, v. 77, n. 1, p. 461-472, 2013.
- LOPES, A. A. C. *et al.* Temporal variation and critical limits of microbial indicators in oxisols in the Cerrado, Brazil. **Geoderma Regional**, v. 12, n. 1, p. 72-82, 2018.
- LOVELL, R. D.; JARVIS, S. C. Effect of cattle dung on soil microbial biomass C and N in a permanent pasture soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 28, p. 291-299, 1996.
- LUNGMUANA *et al.* Impact of secondary forest fallow period on soil microbial biomass carbon and enzyme activity dynamics under shifting cultivation in North Eastern Hill region, India. **Catena**, v. 156, n. 1, p. 10-17, set. 2017.
- LUPWAYI, N. Z. *et al.* Relating soil microbial properties to yields of no-till canola on the Canadian prairies. **European Journal of Agronomy**, v. 62, p. 110–119, 2015.
- MATSUOKA, M. *et al.* Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 3, p. 425-433, 2003.
- MARTENS, R. Current methods for measuring microbial biomassC in soil: Potentials and limitations. **Biology and Fertility of Soils**, v. 19, p. 87-99, 1995.
- MARTENS, R. Estimation of microbial biomass in soils by the respiration method: importance of soil pH and flushing methods for measurement of respired CO<sub>2</sub>. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 19, p. 77-81, 1987.
- MARTENS D. A. *et al.* Production and persistence of soil enzymes with repeated addition of organic residues. **Soil Science**, v. 153, n.1, p.53-61, 1992.
- MATOSO, S. C. G. *et al.* Frações de carbono e nitrogênio de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico sob diferentes usos na Amazônia brasileira. **Acta Amazonica**, v. 42, n. 2, p. 231-240, 2012.
- MELERO, S. *et al.* Long-term effect on soil biochemical status of a Vertisol under conservation tillage system in semi-arid Mediterranean conditions. **European Journal of Soil Biology**, v. 44, n. 1, p. 437-442, 2008.
- MELO, W. J. *et al.* Avaliação da atividade enzimática em amostras de solo. *In*: FIGUEIREDO, M. V. B. *et al.* (Ed.). **Biotecnologia aplicada à agricultura**: Texto de apoio e protocolos experimentais. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica/Recife, Instituto Agrônômico de Pernambuco, 2010. p.153-187.
- MENDES, I. C. *et al.* **Rotação de culturas, bioindicadores e saúde do solo**. Boletim de Pesquisa da Fundação MT, 2019, p. 88-96.

MENDES, I. C. *et al.* Bioindicadores de qualidade de solo: dos laboratórios de pesquisa para o campo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 32, n. 1/2, p. 185-203, jan./ago. 2015.

MENDES, I. C. *et al.* **Qualidade biológica do solo: por que e como avaliar.** Rondonópolis: Boletim de Pesquisa da Fundação MT, 2017, p. 98-105.

McGILL, W. B.; COLE, C. V. Comparative aspects of cycling of organic C, N, S and P through soil organic matter. **Geoderma**, v. 26, n. 1, p. 267-286, 1981.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo.** Lavras: UFLA, 2002. 625p.

NANNIPIERI, P. *et al.* Criteria for measurement of microbial growth and activity in soil. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 10, n. 1, p. 223-229, 1978.

NORDGREN, A. A method for determining microbially available N and P in an organic soil. **Biology and Fertility of Soils**, v. 13, p. 195-199, 1992.

OKANO, S. *et al.* Turnover rate of soil biomass nitrogen in the root mat of pastures. **Soil Science Plant Nutrition**, v. 33, p. 373-386, 1987.

OLDEMAN, L. R. The global extent of soil degradation. *In*: GREENLAND, D. J.; PASCUAL, J. A. *et al.* Soil microbial activity as a biomarker of degradation and remediation process. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 32, n. 1, p.1877-1883, 2000.

PANCHOLY, S. K.; RICE, E.L. Soils enzymes in relation to old field succession: Amylase, cellulase, invertase, dehydrogenase, and urease. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 37, n. 1, p. 47-50, 1973.

PEIXOTO, R. S. *et al.* A decade of land use contributes to changes in the chemistry, biochemistry and bacterial community structures of soils in the Cerrado. **Antonie Leeuwenhoek**, v. 98, n. 1, p. 403-413, 2010.

PHALKE, D. H. *et al.* Effect of in situ recycling of sugarcane crop residues on soil enzyme activities under soybean–maize system. **Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences**, v. 86, n. 2, p. 299-307, jun. 2016.

PFENNING, L. *et al.* Os métodos da fumigação-incubação e fumigação-extração na estimativa da biomassa microbiana dos solos da Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 16, p. 31-37, 1992.

PIANA, C. F. B. *et al.* **Estatística Básica.** Pelotas: UFPel, Instituto de Física e Matemática, 2009. 1v.

PIOTROWSKA-DŁUGOSZ, A. *et al.* Spatio-temporal variability of soil sulfur content and arylsulfatase activity at a conventionally managed arable field. **Geoderma**, v. 295, p. 107-118, jun. 2017.

- POWLSON, D. S. The soil microbial biomass: before, beyond and back. *In*: RITS, K.; DIGHTON, J.; GILLER, K. E. (Ed.). **Beyond the biomass**: compositional and functional analysis of soil microbial communities. Chichester: John Wiley, 2014. p. 3-20.
- QIN, J. *et al.* A human gut microbial gene catalogue established by metagenomic sequencing. **Nature**, v. 464, n. 1, p. 59-65, 2010.
- RAIJ, B. *et al.* **Análise química para avaliação de solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001. 285p.
- REICHERT, J. M. *et al.* Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciências Ambientais**, v. 27, n. 1, p. 29-48, 2003.
- REIS JÚNIOR, BUENO, F. **Biomassa microbiana do solo**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2007. 40 p. (Documentos/Embrapa Cerrados, ISSN 1517-5111; 205).
- RESENDE, M. *et al.* **Pedologia**: base para distinção de ambientes. 4 ed. Viçosa: NEPUT, 2002. 338p.
- RITZ, K. *et al.* **Beyond the biomass composition and functional analysis of soil microbial communities**. Chichester: John Wiley e Sons, 1994. 275p.
- ROESCH, L. F. W. *et al.* Pyrosequencing enumerates and contrasts soil microbial diversity. **ISME Journal**, v. 1, n. 1, p. 283-290, 2007.
- ROCHETTE, P.; ANGERS, D. A. Soil surface carbon dioxide fluxes induced by spring, summer, and fall moldboard plowing in a Sandy loam. **Soil Science Society of American Journal**, v. 63, p. 621-628, 1999.
- SAGGAR, S. *et al.* Denitrification and N<sub>2</sub>O: N<sub>2</sub> production in temperate grasslands: processes, measurements, modelling and mitigating negative impacts. **Science and Total Environment**, v. 465, n. 1, p. 173-195, 2013.
- SCHLOSS, P. D, HANDELSMAN, J. Status of the microbial census. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, v. 68, n. 1, p. 686-691, 2004.
- SCHNÜRER, J.; ROSSWALL, T. Fluorescein diacetate hydrolysis as a measure of total microbial activity in soil and litter. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 43, n. 1, p. 1256-1261, 1982.
- SEYBOLD C. A. *et al.* Quantification of soil quality. *In*: Lal R. *et al.* (Ed.). **Advances in Soil Science CRC Press**. Boca Raton. Florida, v. 1, n. 1, p. 387-404, 1998.
- SILVA, E. T.; MELO, W. J. Atividade de proteases e disponibilidade de nitrogênio para laranja cultivada em Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 1, p. 833-841, 2004.

SILVA, A. P. *et al.* Microbial biomass under various soil- and crop-management systems in short- and long-term experiments in Brazil. **Field Crops Research**, v. 119, n. 1, p. 20-26, out. 2010.

SILVA, E. F. *et al.* Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1321-1331, 2011.

SINGH, C. J. Optimization of an extra cellular protease of *Chrysosporium keratinophilum* and its potential in bioremediation of keratinic wastes. **Mycopathologia**, v. 156, n. 1, p. 151-156. 2002.

SIWIK-ZIOMEK, A. *et al.* Arylsulphatase activity and sulphate content in relation to crop rotation and fertilization of soil. **International Agrophysics**, v. 30, n. 3, p. 359-367, jan. 2016.

SKUJINS, J. Enzymes in soil. *In*: McLAREN, A. D.; PETERSON, G. H., (Ed.) **Soil biochemistry**. New York, Marcel Dekker, 1967. p.371-414.

SMITH, E. L. *et al.* **Bioquímica: Aspectos Gerais**. Rio de Janeiro. Ed. Guanabara Koggan S. A., 1985.

STENBERG, B. Soil attributes as predictors of crop production under standardized conditions. **Biology and Fertility of Soils**, v. 27, n. 1, p. 104-112, 1998.

SZABOLCS, I. (Ed.). **Soil resilience and sustainable land use**. Wallingford: CAB International, 1994. p. 99-118.

TABATABAI, M. A. Enzymes. *In*: WEAVER, R.W. *et al.*, (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p. 775-833. (Microbial and Biochemical Properties, 5).

TABATABAI, M. A.; BREMNER, J. M. Arylsulphatase activity in soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 34, n. 1, p. 225-229, 1970.

TEJADA, M. *et al.* Aplicação de duas emendas orgânicas na restauração do solo: Efeitos nas propriedades biológicas do solo. **Journal of Environmental Quality**, v. 35, n. 1, p. 1010-1017, 2006.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. *In*: ALVAREZ V., V. H. *et al.*, (Ed.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v. 2. p.195-276.

VETTERLEIN, D.; HÜTTL, R. F. Can applied organic matter fulfil similar functions as soil organic matter? Risk-benefit analysis for organic matter application as a potential strategy for rehabilitation of disturbed ecosystems. **Plant and Soil**, v. 213, p. 1-10, 1999.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 743-755, 2009.

VONG, P. *et al.* Immobilized-S, microbial biomass-S and soil arylsulphatase activity in the rhizosphere soil of rape and barley as affected by labile substrate C and N additions. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 35, n. 1, p. 1651-1661, 2003.

WARDLE, D. A. Controls of temporal variability of soil microbial biomass: a global-scale synthesis. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 30, p. 1627-1637, 2017.

WEIGAND, S. *et al.* Microbial biomass in agricultural topsoils after 6 years of bare fallow. **Biology and Fertility of Soils**, v. 19, p. 129-134, 1995.

ZIBILSKE, L. M. Carbon mineralization. *In*: WEAVER, R. W.; SCOTT, A.; BOTTOMLEY, P. J. (Ed.). **Methods of soil analysis**: microbiological and biochemical properties. Madison: Soil Science Society of America, 2014.

ZILLI, J. E. *et al.* Diversidade microbiana como indicador de qualidade do solo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 20, n. 3, p. 391-411, set./dez. 2003.

**ANEXOS**

## ANEXO A – ANÁLISE DE SOLO DO EXPERIMENTO



LABORATÓRIO SOLOS & PLANTAS - AGROANÁLISES  
 Avenida Brasil, 571 - Centro - CEP 78890-000  
 Fone: (66) 3544-5637 / 3544-9763 Sorriso-MT  
 E-mail: atendimento@soloseplantas.com.br  
 www.soloseplantas.com.br

Propriedade :	FAZENDA SANTA CATARINA - Brasnorte - MT											
Proprietario:	AGRITER AGRONEGÓCIOS											
Solicitante:	APAGRI - CONSULTORIA AGRONOMICA S.A											
Laudó	837/2020											
Data:	24/02/2020											

N_lab	id	Talhão	prof	Argila	mos	ctc	p_res	pH	v	ca	sat_ca
				g/kg	g dm-1	cmolc/dm3	mg/dm3		%	cmolc/dm3	%
3457	01		0 - 10	388,00	36,00	8,20	58,70	5,60	69,30	3,76	45,85
3458	02		0 - 10	158,00	24,20	6,60	40,60	5,60	77,10	3,58	54,24
3459	03		0 - 10	168,00	20,40	5,20	53,90	5,80	90,40	3,34	64,23

N_lab	id	mg	sat_mg	rel_ca	mg	k	sat_K	rel_camg	al	sat_al	s	b
		cmolc/dm3	%		cmolc/dm	%		cmolc/dm	%	mg/dm3	mg/dm3	
3457	01	1,75	21,34	2,15	0,17	2,07	32,41	0,00	0,00	7,10	0,15	
3458	02	1,43	21,67	2,50	0,08	1,21	62,62	0,00	0,00	3,80	0,11	
3459	03	1,28	24,62	2,61	0,08	1,54	57,75	0,00	0,00	5,20	0,12	

N_lab	id	cu	fe	mn	zn	h_al	sb	il_ca_al	mg	H+Al/T	pH água
		mg/dm3	mg/dm3	mg/dm3	mg/dm3	cmolc/dm3	cmolc/dm3			%	
3457	01	0,30	49,20	6,60	1,30	2,50	5,70	22,12	10,29	30,49	ns
3458	02	0,20	38,40	4,70	1,60	1,50	5,10	44,75	17,88	22,73	ns
3459	03	0,20	39,40	4,20	3,30	0,50	4,70	41,75	16,00	9,62	ns

N_lab	id	K	t	reia Grossreia	Fin	Areia Total	Silte	neh	lIP	Total	Si
		mg/dm3	cmolc/dm3	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	mg/dm3	mg/dm3	mg/dm3	mg/dm3
3457	01	65,50	5,70	0,00	0,00	535,00	77,00	ns	ns	0,00	
3458	02	33,00	5,10	0,00	0,00	810,00	32,00	ns	ns	0,00	
3459	03	32,90	4,70	0,00	0,00	798,00	34,00	ns	ns	0,00	

Fonte: Solos e Plantas Agroanálises (2019).