

**INTEGRAÇÃO LAVOURA – PECUÁRIA ASSOCIADA À CALAGEM FAVORECE A  
MICROBIOLOGIA EM SOLO ARENOSO**

**DANIELE PERRETI BETTIO**

**INTEGRAÇÃO LAVOURA – PECUÁRIA ASSOCIADA À CALAGEM FAVORECE A  
MICROBIOLOGIA EM SOLO ARENOSO**

**DANIELE PERRETI BETTIO**

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

Orientador:  
Prof. Dr. Fábio Fernando de Araújo

633.202  
B565i

Bettio, Daniele Perreti.  
Integração Lavoura – Pecuária associada à calagem favorece a microbiologia em solo arenoso / Daniele Perreti Bettio. Presidente Prudente, 2017.  
93 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) -  
Universidade do Oeste Paulista – Unoeste,  
Presidente Prudente, SP, 2017.

Bibliografia.

Orientador: Fábio Fernando de Araújo

1. *Glycine max*. 2. Argissolo. 3. Bioindicadores.  
4. Pastagem degradada. I. Título.

**DANIELE PERRETI BETTIO**

**INTEGRAÇÃO LAVOURA – PECUÁRIA ASSOCIADA À CALAGEM FAVORECE A  
MICROBIOLOGIA EM SOLO ARENOSO**

Dissertação apresentada à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade do Oeste Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre - Área de Concentração: Produção Vegetal.

Presidente Prudente, 30 de março de 2017.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Fábio Fernando de Araújo  
Universidade do Oeste Paulista – Unoeste  
Presidente Prudente – SP

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Patrícia Reiners  
Universidade do Oeste Paulista – Unoeste  
Presidente Prudente – SP

---

Eng<sup>a</sup>. Agrônoma Dr<sup>a</sup>. Andréia Cristina Silva Hirata  
Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios – Apta  
Presidente Prudente – SP

## **DEDICATÓRIA**

Dedico a tão almejada conquista deste título de mestre e a conclusão dessa dissertação ao reconhecimento e auxílio, em todos os momentos, vindo dos meus pais (João Aparecido Bettio e Celma Marli Perreti Bettio), minha mãe sempre colocando minhas dificuldades partilhadas em suas orações e me incentivando;  
Ambos depositaram confiança em mim.  
Enfim... Consegui!

## AGRADECIMENTOS

Não há outro verbo coerente que possa substituir o ato de Agradecer.

Agradeço primeiramente ao Mestre dos Mestres: Deus! Obrigada pelo dom que me destes em querer seguir a vida acadêmica e transferir ensinamentos para as gerações futuras. Agradeço a poderosa intercessão de Nossa Senhora Aparecida, nos momentos de aflições os seus singelos toques suaves no coração, através de orações, me acalmavam. Ai de mim se eu não tivesse Fé!

Agradeço aos meus pais João Bettio e Celma, por todo o incentivo e apoio. Mãe, obrigada por sempre ter escutado minhas explicações sobre meus estudos (você sabe tão bem, sobre essa dissertação, como eu), apresentações que seriam realizadas para as bancas de acompanhamentos, desabafos, choros e sorrisos. A senhora sempre se preocupou com todos os detalhes do meu experimento, indo até coletar solo comigo e ver as sojas crescerem rsrs... Espelho-me em você!

Agradeço ao meu irmão Renan, pelo auxílio nas coletas de solo. Agradeço também ao meu irmão Alan e aos seus filhos João Gabriel e Davi Lucas, minhas distrações e meus “pequeninos grandes” amores. Agradeço ao apoio, paciência e incentivo do meu namorado Diogo Marchi, da minha avó (Aparecida), parentes (Lu e tia Ana) e amigos que se preocupavam em saber se tudo estava dando certo, pessoas essas tanto fora da vida acadêmica como aos colegas de mestrado: Rafaelle Persoli, Eliane Viudes, Luanda Feba, Camila Zaniboni, Pedro Gorni, obrigada pela contribuição de cada um de vocês. Viviane Cacefo e Flávia Mignacca, obrigada pelo companheirismo! Ao doutorando Wellington Guerra, que sempre disponibilizou dados da área experimental contribuindo para a realização deste trabalho, sou grata.

Meus agradecimentos também são voltados aos funcionários dos laboratórios de Bromatologia: Amândio Jr; Fitopatologia: Márcia Guaberto, você se tornou uma grande amiga, minha gratidão por você é enorme, nunca vou esquecer-me de TODA sua ajuda e preocupação comigo, você é uma pessoa maravilhosa! Genética Molecular: Andressa Veronezi, obrigada por ter me ajudado em tudo o que eu precisava e você tinha no laboratório! Agradeço aos demais funcionários dos laboratórios de recebimento de análises de solo (Jô), da central de reagentes (Dani) e do laboratório de solos (Viviane e Luciana).

Agradeço a pessoas como Rita Mazzuchelli que me esclarecia dúvidas sobre as análises e ao pessoal do CEVOP que me cedeu equipamentos.

A realização deste trabalho foi possível graças à orientação do professor Dr. Fábio Fernando de Araújo, que me auxiliou sempre que necessitei, merecendo gratificadamente meus agradecimentos, grande exemplo de ser humano e profissional. Obrigada professora Ana Cláudia Pacheco pela contribuição neste trabalho e aos demais professores que contribuíram para a bagagem de conhecimentos adquiridos no decorrer da pós – graduação.

Gratidão é o que fica em meu coração a todos que contribuíram direta e indiretamente para a realização desta conquista acadêmica.

*Obrigada!*

*“Até os adolescentes podem esgotar-se, e jovens robustos podem cambalear, mas aqueles que confiam no Senhor renovam suas forças; Ele dá-lhes asas de águia. Correm sem se cansar, vão para frente sem se fatigar”.*  
*(Isaías, Cap. 40, vers. 30 e 31)*

## RESUMO

### **Integração Lavoura – Pecuária associada à calagem favorece a microbiologia em solo arenoso**

Na região do Oeste Paulista o grande problema com pastagens degradadas e solos arenosos vem sendo minimizado com implantações de sistemas que integram lavoura e pecuária. O objetivo do presente trabalho foi avaliar alterações biométricas e bioquímicas na cultura da soja e os impactos ocasionados na microbiologia do solo em resposta a diferentes manejos impostos em um sistema de Integração Lavoura – Pecuária, em seu terceiro ano de implantação. Para tanto, foram coletadas amostras de solo de uma área conduzida sob sistema de integração e diferentes manejos do solo, em seu terceiro ano experimental, a qual está localizada na Fazenda Experimental da UNOESTE, no município de Presidente Bernardes – SP. Vasos com capacidade de 5 Kg foram preenchidos com o solo e posteriormente foi realizada a semeadura da cultivar de soja RIBER 6813 RR. Os vasos com as plantas ficaram dispostos na casa de vegetação da Universidade do Oeste Paulista – UNOESTE, em Presidente Prudente – SP, sob irrigação periódica e condições controladas de temperatura e umidade, durante 60 dias. O delineamento experimental empregado foi inteiramente ao acaso em sistema fatorial duplo, (2x5) com seis repetições. Os tratamentos na área experimental consistiam em escarificação do solo e diferentes adubações: T0 = Controle (apenas adubação de plantio da soja); T1 = Calagem; T2 = Calagem + Gesso agrícola; T3 = Calagem + Gesso agrícola + NPK; e T4 = Calagem + Gesso agrícola + NPK + Micronutrientes. Foram realizadas análises microbiológicas do solo (carbono e nitrogênio microbiano, respiração basal e atividade enzimática (desidrogenase)), também foram realizadas análises bioquímicas das plantas (MDA, fenóis totais e peroxidase), avaliação de crescimento e nodulação da soja. Os resultados foram submetidos ao Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. A escarificação do solo e as adubações com micronutrientes proporcionaram, no terceiro ano experimental, após sua efetivação no sistema de produção, redução nos indicadores microbiológicos no solo. O sistema de produção sem escarificação com intervenção apenas da calagem, no início da implantação, elevou a biomassa microbiana e manteve o quociente microbiano em valores adequados para sistemas agrícolas sustentáveis. O metabolismo secundário na soja indicou que, ainda no terceiro ano experimental, houve aumento nos compostos relacionados com a defesa das plantas nos manejos com menos intervenções químicas e físicas do solo.

**Palavras-chave:** *Glycine max.* Argissolo. Bioindicadores. Pastagem degradada.



## ABSTRACT

### **Crop-livestock system associated with liming favors microbiology in sandy soil**

In the western region of São Paulo, the great problem with degraded pastures and sandy soils has been minimized with the implantation of systems that integrate crops and livestock. The objective of the present work was to evaluate biometric and biochemical changes in soybean crop and the impacts caused by soil microbiology in response to different management practices in a crop - livestock integration system in its third year of implementation. For this, soil samples were collected from an area under an integration system and different soil management, in its third experimental year, which is located at the Experimental Farm of UNOESTE, in the municipality of Presidente Bernardes - SP. Vessels with a capacity of 5 kg were filled with soil and afterwards the sowing of soybean cultivar RIBER 6813 RR was carried out. The pots with the plants were arranged in the vegetation of the University of the West - UNOESTE, in Presidente Prudente - SP, under periodic irrigation and controlled conditions of temperature and humidity for 60 days. The experimental design was completely randomized in a double factorial system (2x5) with six replications. The treatments consisted of scarification of the soil and different fertilizations: T0 = Control (fertilization only of soybean planting); T1 = Liming; T2 = Liming + Gypsum; T3 = Liming + Gypsum + NPK; and T4 = Liming + Gypsum + NPK + Micronutrients. Microbiological analyzes of the soil (carbon and microbial nitrogen, basal respiration and enzymatic activity (dehydrogenase)) were also carried out. Biochemical analyzes of the plants (MDA, total phenols and peroxidase), soya growth and nodulation were also performed. The results were submitted to the Tukey test at the 5% probability level. Soil scarification and fertilization with micronutrients provided, in the third experimental year, a reduction in microbiological indicators in the soil, after its effectiveness in the production system. The system of production without scarification with liming only, at the beginning of the implantation, increased the microbial biomass and maintained the microbial quotient in values suitable for sustainable agricultural systems. The secondary metabolism in soybean indicated that, in the third experimental year, there was an increase in the compounds related to the defense of the plants in the management with less chemical and physical interventions of the soil

**Key-words:** *Glycine max.* Argisol. Bioindicators. Degrade pasture.

## LISTA DE TABELAS

TABELA 01 – Caracterização química do solo da área experimental (0 – 20 cm) antes da instalação do experimento em Presidente Bernardes – SP, 2013.....	41
TABELA 02 – Características químicas de um argissolo vermelho distroférico (camada 0 – 20 cm) na região do Oeste Paulista no terceiro ano de implantação do sistema de Integração Lavoura – Pecuária submetido a diferentes adubações e escarificação do solo.....	46
TABELA 03 – Carbono da biomassa microbiana, no terceiro ano experimental após a implantação do sistema de ILP com diferentes manejos físicos e químicos do solo. Presidente Bernardes – SP (2015).....	57
TABELA 04 – Respiração basal do solo, no terceiro ano experimental após a implantação do sistema de ILP com diferentes manejos físicos e químicos do solo. Presidente Bernardes – SP (2015).....	58
TABELA 05 – Quociente metabólico, no terceiro ano experimental após a implantação do sistema de ILP com diferentes manejos físicos e químicos do solo. Presidente Bernardes – SP (2015).....	60
TABELA 06 – Carbono orgânico total (COT) e quociente microbiano (qMic) no terceiro ano experimental após a implantação do sistema de ILP com diferentes manejos físicos e químicos do solo. Presidente Bernardes – SP (2015).....	61
TABELA 07 – Atividade da enzima desidrogenase através da extração de TTC reduzido a TTF (trifenilformazan) em solo sob sistema de Integração Lavoura – Pecuária em razão de diferentes manejos. Presidente Bernardes – SP (2015).....	62
TABELA 08 – Nitrogênio microbiano (Nmic) do solo após dessecação de <i>U. brizantha</i> para o plantio da soja e número de nódulos na soja cultivada nesse solo, em razão de diferentes manejos. Presidente Bernardes – SP (2015).....	63
TABELA 09 – Nodulação da soja conduzida em vasos em casa de vegetação sobre o solo coletado dos diferentes tratamentos implantados a campo em 2013. Presidente Prudente – SP (2016).....	64
TABELA 10 – Fenóis totais dos extratos alcoólicos obtidos da massa seca das folhas de soja ( <i>Glycine max</i> ) em razão do cultivo em solo com diferentes manejos. Presidente Prudente – SP (2016).....	65

TABELA 11 – Atividade da enzima peroxidase em tecido foliar de soja cultivada sob a influência de diferentes manejos do solo. Presidente Prudente – SP (2016).....	66
TABELA 12 – Peroxidação lipídica reportada a partir do conteúdo de malondialdeído (MDA) presente em folhas de soja, em consequência de diferentes manejos. Presidente Prudente – SP (2016).....	67
TABELA 13 – Índice Relativo de Clorofila em estágio vegetativo (V3 – V4) da soja conduzida em casa de vegetação em razão de diferentes manejos do solo realizados anteriormente a campo. Presidente Prudente – SP (2016).....	68
TABELA 14 – Teores de N foliar em soja conduzida em casa de vegetação como resposta ao cultivo sobre o solo de diferentes manejos implantados anteriormente a campo. Presidente Prudente – SP (2016).....	68
TABELA 15 – Área foliar da soja aos 60 dias após o plantio em casa de vegetação como resposta ao cultivo sobre solo de diferentes manejos realizados anteriormente a campo. Presidente Prudente – SP (2016).....	69
TABELA 16 – Massa seca da raiz (MSR) da soja conduzida em casa de vegetação em solo sob diferentes manejos realizados anteriormente a campo. Presidente Prudente – SP (2016).....	70
TABELA 17 – Produtividade (Kg ha <sup>-1</sup> ) acumulada das safras (2013/2014; 2014/2015 e 2015/2016) dos três anos de implantação do sistema de Integração Lavoura – Pecuária em razão de diferentes manejos. Presidente Bernardes – SP.....	71

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	13
<b>2</b>	<b>OBJETIVO</b>	15
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	16
<b>3.1</b>	<b>Solos arenosos e pastagens degradadas</b>	16
<b>3.2</b>	<b>Integração Lavoura – Pecuária (ILP)</b>	18
<b>3.3</b>	<b>Cultura da soja (<i>Glycine max</i>)</b>	20
3.3.1	Exigências nutricionais da soja	22
<b>3.4</b>	<b>Importância da pastagem no sistema ILP</b>	24
<b>3.5</b>	<b>Manejo físico do solo</b>	25
<b>3.6</b>	<b>Indicadores biológicos do solo</b>	28
3.6.1	Biomassa microbiana	29
3.6.2	Quociente metabólico (qCO <sub>2</sub> ) e Quociente microbiano (qMic)	30
3.6.3	Desidrogenase	31
<b>3.7</b>	<b>Diagnose foliar</b>	33
<b>3.8</b>	<b>Atividades bioquímicas em plantas</b>	34
3.8.1	Malondialdeído (MDA)	34
3.8.2	Compostos fenólicos	35
3.8.3	Peroxidases	37
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b>	38
<b>4.1</b>	<b>Localização da área experimental</b>	38
<b>4.2</b>	<b>Condução do experimento a campo</b>	39
<b>4.3</b>	<b>Condução do experimento em casa de vegetação</b>	44
4.3.1	Semeadura da soja	47
<b>4.4</b>	<b>Análises microbiológicas do solo</b>	47
4.4.1	Biomassa microbiana	47
4.4.2	Quociente metabólico (qCO <sub>2</sub> )	49
4.4.3	Quociente microbiano (qMic)	49
4.4.4	Nitrogênio microbiano (Nmic)	50
4.4.5	Respiração basal do solo	51
4.4.6	Desidrogenase	51
4.4.7	Carbono Orgânico Total (COT)	52
<b>4.5</b>	<b>Análises nutricionais da folha</b>	52
4.5.1	Análise foliar de nitrogênio	52
4.5.2	Teor relativo de clorofila (TRC)	52
<b>4.6</b>	<b>Análises biométricas e contagem de nódulos</b>	53
<b>4.7</b>	<b>Análises bioquímicas</b>	53
4.7.1	Malondialdeído (MDA)	54
4.7.2	Fenóis totais	54
4.7.3	Peroxidase	55

<b>4.8</b>	<b>Análise estatística .....</b>	<b>56</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>57</b>
<b>5.1</b>	<b>Efeitos da escarificação do solo, da calagem e de adubações sobre os atributos microbiológicos do solo.....</b>	<b>57</b>
<b>5.2</b>	<b>Avaliação da nodulação, atividades bioquímicas e desenvolvimento da soja cultivada em solo amostrado dos tratamentos a campo, em condições de casa de vegetação.....</b>	<b>63</b>
<b>5.3</b>	<b>Produtividades acumuladas da soja das safras dos três anos consecutivos em resposta a escarificação do solo e dos diferentes manejos de adubações em sistema de Integração Lavoura – Pecuária.....</b>	<b>70</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>76</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>77</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente muitas tecnologias na agricultura vêm sendo estudadas a fim de serem colocadas em prática, visando o patamar produtivo, isto é, para que sejam supridas as demandas mundiais por alimentos de maneira sustentável e com ambientes de produções promissoras, que elevem as taxas de renda dos produtores.

Os sistemas conservacionistas garantem a manutenção e a recuperação de áreas com pastagens degradadas, caracterizadas pela ocorrência de erosões e pobres nutricionalmente, buscando adotar a prática do uso eficiente do solo através de manejos adequados, assim como aderir à rotação de pastagem com soja, proporcionando melhorias ao ambiente agrícola em razão da alta capacidade da soja em fixar nitrogênio e da gramínea em melhorar a estrutura física do solo devido suas raízes que têm a capacidade de abranger boa parte do perfil do solo.

Nas regiões tropicais, solos deficientes em nutrientes e pobres em matéria orgânica são grandes barreiras a serem enfrentadas. Portanto, modelos de sistemas como a Integração Lavoura – Pecuária, associada a diferentes manejos do solo vem sendo indicada aos produtores, possibilitando a garantia de uma agricultura mais produtiva e conseqüentemente inserindo as propriedades em modelos de áreas sustentáveis, as quais atendem conjuntamente o setor agrícola e o setor pecuário de forma racional, quanto ao uso dos recursos disponíveis.

Deve ser enfatizado que, diferentemente dos sistemas convencionais esses sistemas integrados de cultivos têm como principal meta manter o solo vegetado, um fator relevante para climas com elevadas temperaturas, pois ao se ter plantas vivas no ambiente, estas ao encerrarem seus ciclos, ao morrer vão liberando nutrientes gradualmente ao solo, auxiliando na nutrição e diminuindo perdas por decomposições e lixiviações.

Ressalta-se que as técnicas que estabelecem diferentes manejos químicos e físicos podem assegurar respostas diferentes tanto no solo como na cultura implantada. Entretanto é importante salientar que existe a necessidade cada vez maior de se recuperar as propriedades biológicas do solo, pois os microrganismos funcionam como bons indicadores de qualidade no sistema. Dessa forma, análises microbiológicas podem ser adotadas para verificar a atividade microbiana do solo e seu constante funcionamento e análises bioquímicas nas

plantas podem fornecer respostas para muitas questões, dentre elas qual o melhor tipo de manejo que possa estar inferindo no comportamento metabólico e produtivo da planta, visando maiores produções. Sendo assim, a realização de boas práticas agrícolas e o seu monitoramento garante uma manutenção e um equilíbrio no sistema solo – planta, especialmente em regiões que necessitam de maiores atenções.

Portanto, realizar pesquisas e obter resultados promissores para melhorar cada vez mais os sistemas integrados se tornou relevante para a área agropecuária, umas das principais responsáveis por manter a economia do país. Técnicas que sejam bem sucedidas não apenas na teoria, mas principalmente na prática, são cruciais para atender as demandas do agronegócio.

Neste sentido a hipótese pela qual o presente trabalho foi fundamentado é que, a implantação do sistema integrado, com adoções de práticas de fertilidade e escarificação, ou não, do solo, proporcione melhorias na comunidade microbiana do solo e reflita em maiores produções das culturas, como, por exemplo, da soja, ao longo dos anos de sua condução, tendo como justificativa a contribuição para uma nova realidade de agricultura sustentável em regiões tropicais, onde os solos predominantemente arenosos tendem a influenciar negativamente sobre os rendimentos das culturas agrícolas.

## **2 OBJETIVO**

O estudo teve como objetivo avaliar alterações biométricas e bioquímicas na cultura da soja e os impactos na microbiologia do solo, no terceiro ano experimental após a realização de manejos físicos (escarificação) e manejos químicos (adubações) em um argissolo vermelho distroférico sob sistema de Integração Lavoura – Pecuária.



### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Solos arenosos e pastagens degradadas

Comumente encontrados na região do Oeste Paulista, os solos arenosos são caracterizados por uma classe textural no qual as porções de areia da superfície do solo atingem no mínimo 0,50 m e no máximo 1,0 m, sendo suscetíveis a erosões os quais se tornam solos com baixa fertilidade natural e baixo teor de matéria orgânica, devido às elevadas temperaturas e umidade das regiões tropicais (ANGELICO, 2000), regiões tipicamente predominadas por esse tipo de solo (RESCK et al., 2008).

Os solos de textura arenosa apresentam elevada taxa de macroporos, mesmo em graus elevados de compactação (TREIN et al., 1991). A alta macroporosidade torna o solo suscetível a altas percolações de água o que acarreta a lixiviação de fertilizantes, fazendo com que aumente a degradação do solo pelas perdas de suas características especialmente químicas e biológicas e também a acarrete a erosão (FREITAS; MORAES, 2004).

As regiões de solos arenosos são vastas em pecuária, no entanto são caracterizadas por pastagens degradadas que estão intimamente associadas ao manejo incorreto e ao uso intensivo de seus recursos, sem reposição de nutrientes do solo nessas áreas. Segundo Muller et al. (2001), pastagens degradadas diminuem a cobertura do solo e como consequência aumentam a porosidade do solo e a diminuição do aporte de biomassa da gramínea acarreta também na diminuição de raízes no perfil do solo, concentrando suas raízes em superfície.

Os prejuízos econômicos e ambientais no Brasil devido à degradação de pastagens é uma causa importante a ser observada e revertida o quanto antes, sendo que no Brasil as áreas com pastagens ultrapassam 150 milhões de hectares e apenas uma pequena parte recebe algum tipo de adubação (MACIEL et al., 2007), o que contribui para a estimativa de que 70 milhões de hectares de pastagens no Brasil estejam degradadas ou em processo contínuo de degradação, ou seja, áreas agrícolas improdutivas ou com baixa produtividade em razão de seu potencial (DIAS-FILHO, 2011).

O aumento da exploração agrícola contribui para que ocorram desmatamentos em busca de novas áreas, já que, devido a degradação, as áreas

cultiváveis vão se tornando improdutivas pelo não investimento em melhorias dos sistemas. No entanto, a conversão de áreas florestais em áreas agrícolas, afeta o equilíbrio natural existente no meio ambiente, modificando as propriedades do solo (MULLER et al., 2001).

Segundo Anjos et al. (1994) em um estudo conduzido durante quatro anos, observaram que o solo sob mata nativa no qual se implantou diferentes sistemas apresentaram degradação na estrutura do solo, relatada a partir de aumento na densidade do solo, diminuição da porosidade e baixa retenção de água.

Atualmente ainda são poucos os produtores que fazem uso de calagem, adubações e manejos corretos de recuperações de pastagens (TEIXEIRA et al., 2014). A retração por investir em reformas de pastagens se deve devido aos custos dos insumos e também a carência muitas vezes de informações sobre sistemas que possibilitem retornos satisfatórios com maiores produções e baixos custos de implantações, gerando altos retornos financeiros (DIAS-FILHO, 2005). Portanto, a situação fez com que os sistemas sustentáveis de uso e manejo do solo, tais como a Integração Lavoura – Pecuária começasse a se disseminar, mesmo que a “passos lentos” sobre a realidade dessas regiões, revertendo o problema em solução sem que se faça necessário a abertura de novas áreas florestais no Brasil (TEIXEIRA et al., 2014).

Para tanto, as estratégias de recuperações dessas áreas necessitam estar condicionadas aos fatores que acarretaram a degradação, bem como o estágio de degradação em que se encontra a área, deixando de lado as técnicas que normalmente envolviam apenas o uso de mecanizações, ressemeaduras e adubações (DIAS-FILHO, 2011). O autor afirma que sistemas conservacionistas de recuperações de pastagens são uma das melhores alternativas a ser adotada, sendo que para cada hectare de pastagem recuperada, no mínimo 2 hectares deixariam de ser desmatados para a expansão indiscriminadas de fronteiras agrícolas.

Todavia se faz pertinente a assistência técnica capacitada para auxiliar os produtores no uso dos novos sistemas agrícolas, pois sem informações concretas não adiantaria nada investir economicamente nas recuperações dessas áreas sem adoção de práticas coerentes, usando-as de maneira indiscriminada, o que levaria novamente ao esgotamento dos recursos ambientais, ou seja, as atividades exploratórias devem ser cuidadosamente planejadas e aplicadas desde o início do

uso do solo, assim há preservação dos recursos para as gerações futuras (MULLER et al., 2001).

### **3.2 Integração Lavoura – Pecuária (ILP)**

A agricultura moderna vem sofrendo mudanças adaptativas para suprir as elevadas demandas por alimentos, consequência da crescente taxa populacional e do aumento da renda per capita. Contudo, o desafio é produzir e garantir a segurança alimentar, auxiliando na redução de impactos ambientais, ou seja, as barreiras a serem ultrapassadas estão além do cenário agrícola, atingindo diretamente fatores sociais, tais como os consumidores e as famílias dos agricultores (BALBINOT-JUNIOR et al., 2009). Segundo esses autores o uso de sistemas de produções que utilizem o máximo dos recursos disponíveis torna-se uma alternativa viável, sendo concomitante à melhoria do solo e reduzindo os gastos com insumos, proporcionando maior renda.

O enfoque de um sistema de produção intensificado deve ser encarado não como o uso excessivo ou indiscriminado de insumos e tecnologias, mas sim de maneira racional, isto é, de forma compatível com as exigências, sem desperdícios, explorando os recursos naturais, buscando atingir o paradigma da sustentabilidade (VILELA et al., 2008).

Além da utilização desses novos sistemas na agricultura para garantir as demandas produtivas, a adoção de manejos modernizados tendem a atingir o sucesso com relação a outros patamares enfrentados diariamente pelos produtores, tais como, a reorganização para quebrar o enfoque da monocultura e uso de práticas culturais inadequadas, que vêm esgotando o sistema solo – planta, refletindo em queda de produtividade, invasão de plantas daninhas, proliferação e resistência de pragas e doenças e degradação do solo, dentre outros fatores; os quais podem ser revertidos com a adoção da Integração Lavoura – Pecuária (ILP) (MARTHA-JUNIOR et al., 2006).

Portanto, dentre os novos modelos agrícolas a ILP vem ganhando espaço, tendo como definição um modelo de produção que alterna, em uma mesma área, o cultivo de forrageiras, sejam elas anuais ou perenes, destinadas a produção animal e a implantação de culturas que se destinem a produção vegetal, sobretudo grãos. Assim, ILP se conceitua como um sistema de produção que agrega vários

fatores, tais como, biológicos, econômicos e sociais que se interagem, mitigando os impactos ambientais (BALBINOT-JUNIOR et al., 2009).

A implantação da ILP varia de acordo com cada região, devido às diferentes classes de solo e ao clima, entretanto, geralmente pode-se cultivar uma extensa variedade de espécies agrônômicas, tanto nas estações secas como nas chuvosas, contribuindo para que em épocas de inverno o gado tenha alimentação satisfatória, devido ao pasto e aos grãos (GONÇALVES; FRANCHINI, 2007). De tal modo, o correto manejo das pastagens no inverno é decisivo para elevar os índices não apenas zootécnicos, mas define diretamente o potencial produtivo das culturas de verão (ENÍVAR; LOVATO, 2006).

O planejamento da ILP nem sempre requer investimentos financeiros elevados, além dos usualmente necessários às atividades agrícolas, o que vem a diferenciar é a mudança do contexto, onde a diferença notável desde o primeiro instante é a mudança do conceito de propriedade tradicional para inseri-la num patamar de propriedade integrada e sustentável (ALVARENGA et al., 2010), além de se mostrar como uma ferramenta eficiente na melhoria do sistema produtivo em ambos os casos, seja grãos ou pecuária (NASCIMENTO; CARVALHO, 2011).

Entretanto, os resultados promissores são observados em longo prazo, na Integração Lavoura – Pecuária os benefícios das pastagens são vistos sobre as culturas de grãos posteriormente, pois elas proporcionam melhorias no solo, tais como nas características físicas, químicas e biológicas, já que aumentam o teor de matéria orgânica, aumentam a capacidade de troca catiônica (CTC), o armazenamento e também a disponibilidade de nutrientes, influenciando conseqüentemente nas respostas de maiores produtividades das culturas à adubação. De tal modo, o maior aproveitamento dos nutrientes no solo pelos cereais na ILP, quando comparado ao cultivo solteiro, diminui custos com fertilizantes propiciando uma economia que reflete positivamente na renda do agricultor (MACEDO, 2009).

Referindo-se ainda aos benefícios para a produção agrícola, integrar pode ser sinônimo de eficiência, pois promove produção de palhada na área, fornecendo subsídio para se adotar o Sistema Plantio Direto (SPD) que também auxilia na reciclagem de nutrientes e retorno de matéria orgânica no solo (MACHADO; ASSIS, 2010) e dentre as desvantagens, um dos problemas a serem enfrentados na ILP é o pastoreio rotativo com alta taxa de lotação e a probabilidade

em se ter um solo compactado com o tempo, devido ao pisoteio animal (ENÍVAR; LOVATO, 2006).

Porém, quando se pensa em pecuária, a integração apresenta vantagens quando comparada aos sistemas extensivos que levam a realidade de pastagens degradadas, pois aumenta a capacidade de suporte das pastagens e sua conservação (NASCIMENTO; CARVALHO, 2011). A recuperação de áreas degradadas constitui-se numa das maiores barreiras a serem enfrentadas pelos técnicos. Os processos que ocasionam esses impactos negativos são os manejos inadequados do solo e das áreas pastoris, além dos pastejos excessivos, da monocultura e do uso frequente de maquinários inapropriados no preparo do solo, refletindo diretamente na degradação dos recursos naturais (BORGES et al., 2009).

Portanto, para alcançar a sustentabilidade desse modelo de sistema produtivo há necessidade de adequar sistemas de pastejos que proporcionem ao final do ciclo destinado a pastagem, um aporte satisfatório de fitomassa como cobertura do solo para que seja possível o desenvolvimento das culturas de verão, do mesmo modo essas culturas de verão empregadas na Integração Lavoura – Pecuária deverão suprir os nutrientes que foram retirados da área durante o inverno, devido ao consumo animal (MACHADO; CECCON, 2010).

### **3.3 Cultura da soja (*Glycine max*)**

A soja (*Glycine Max* (L.) Merrill) se originou de plantas selvagens rasteiras que se desenvolviam em solo da costa leste da Ásia e principalmente na China, ao longo do Rio Amarelo. Sua evolução deu através de cruzamentos naturais e mais tarde através da domesticação e do melhoramento genético, e apesar de ser conhecida e explorada no Oriente há mais de cinco mil anos só a partir da segunda década do século 20 é que os EUA começaram a dar importância e cultivar a soja (EMBRAPA SOJA, 2004).

Portanto, através dos EUA em 1882 a soja chegou ao Brasil, e após estudos e plantios foi no século XX e na década de 70 que a soja assumiu sua posição de cultura economicamente importante para o País além de que, estudos de zoneamentos agroclimáticos desenvolvidos pela Embrapa Soja abriram um leque de expansão territorial para o seu cultivo, indicando as áreas mais aptas e os cultivares propícios para cada região brasileira (MISSÃO, 2006).

Conquanto, atualmente o Brasil vem se destacando como uma potência agrícola, especialmente em grãos, carnes e bicompostíveis (EMBRAPA SOJA, 2013). A soja (*Glycine max*) tida como uma cultura de clima tropical está entre o grão mais produzido no Brasil, estando em segundo lugar no cenário produtivo mundial, perdendo apenas para os Estados Unidos (FAGAN, 2007).

As produções da safra 2015/2016 (dados de agosto de 2016) demonstraram que a cultura ocupou uma área de 32,25 milhões de hectares, totalizando assim uma produção de 95,4 milhões de toneladas, sendo a produtividade média da soja brasileira 3.011 Kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2016). Entretanto, perspectivas sugerem que o Brasil se consolidará como um dos maiores centros do agronegócio, estimando que o mesmo atinja a posição de líder mundial como produtor e exportador do complexo da soja (CÂMARA, 2012).

Tais produções são possíveis devido às condições edafoclimáticas favoráveis (FAGAN, 2007) e também pelo fato de que a soja é cultivada, praticamente, em todo o território brasileiro, variando desde as altas até as baixas latitudes, se fazendo presente em diferentes regiões aonde chega a atingir médias produtivas superiores à média obtida pela soja norte americana. Esses níveis de produtividade elevados são possíveis graças ao uso de cultivares devidamente adaptados à região tropical, que é caracterizada pela elevada incidência de luz e temperaturas, além dos índices pluviométricos intensos e bem distribuídos durante todo o ciclo fenológico da soja, além de fertilidade do solo equilibrada e evoluções em sistemas produtivos, tais como, plantio direto e manejos que visam altas produções (CÂMARA, 2012).

Estudos e planejamentos eficientes no agronegócio proporcionam aos produtores de soja tecnologias inovadoras que visam reduzir riscos, diminuir custos, incrementar ganhos e de maneira especial essa maximização de produção busca atender parâmetros sustentáveis, preservando o ecossistema, possibilitando participações em mercados globais (EMBRAPA, 2013).

Ressalta-se por fim que, a cultura da soja em sistemas conduzidos em anos consecutivos proporciona melhorias em recuperações de pastagens em solos arenosos (ZIMMER et al., 1994) e portanto, quando utilizada no sistema de Integração Lavoura – Pecuária seus resíduos permanecem no solo após a colheita os quais quando decompostos liberam nutrientes que serão utilizados pela

pastagem, além de sua alta contribuição de N através da fixação biológica (FONTANELI et al., 2000).

### 3.3.1 Exigências nutricionais da soja

A necessidade de correção da fertilidade do solo e sua manutenção deve se basear em recomendações técnicas e análises químicas de solo, além do “histórico da área”, pois a realidade de um solo se baseia nos registros anteriores, isto é, os problemas nutricionais e físicos de um solo são consequências do modo com que este vinha sendo explorado no decorrer dos anos anteriores (OLIVEIRA et al., 2007).

Assim como todas as culturas agrícolas, a soja também é exigente em aspectos nutricionais, sendo estes determinados por fatores genéticos da planta e influenciados por distintos fatores climáticos, manejos culturais e pela fertilidade do solo (BORKERT et al., 1994).

O nutriente requerido em maior quantidade pela soja é o nitrogênio (N), dados apontam que para produzir 1.000 Kg de grãos são necessários até 83 Kg de N. A fixação biológica do nitrogênio (FBN) é a maior fonte de N na cultura da soja, sendo responsável por 85% de todo o N exigido pela cultura, dados como este demonstram a importância em se realizar uma inoculação bem feita. Ressalta-se que a inoculação é realizada nas sementes com bactérias do gênero *Bradyrhizobium* e ao se iniciar o desenvolvimento da planta, estas bactérias em contato com as raízes vão infectá-las através dos pêlos radiculares e formarão os nódulos, realizando a simbiose, isto é, em benefício à colonização estas bactérias são capazes de assimilar o N<sub>2</sub> atmosférico e disponibilizar para a cultura (OLIVEIRA et al., 2007). De tal forma, recomenda-se que não há necessidade em ter custos com adubação de nitrogênio mineral, pois ele pode vir a inibir a nodulação da soja e reduzir sua produção (BORKERT et al., 1994).

O nitrogênio adicionado como adubo influencia a nodulação da soja devido à diminuição na disponibilidade de O<sub>2</sub> na respiração dos nódulos (DENINSON; HARTER, 1995) e a limitação nos níveis de carboidratos disponíveis ao funcionamento do metabolismo nodular (STEFENS; NEYRA, 1983). Esses mesmos autores demonstraram que ao suplementar a soja com nitrogênio ocorre

um acúmulo de nitrato e nitrito nos nódulos inibindo a atividade da enzima nitrogenase em 50%, causando também a senescência dos nódulos.

A nitrogenase é a enzima catalisadora da fixação de nitrogênio e necessita de grandes quantidades de ATP como fonte de energia para o seu funcionamento, nesse sentido quando tem N – mineral pronto para ser absorvido pela planta, ela deixa de investir na nodulação e dá preferências para as vias com menores gastos energéticos (RAVEN; EVERT; EICHHORN, 2001). Portanto, a aplicação de N via fertilizante se torna inviável, pois a eficiência da soja em lhe absorver é de apenas 50% devido perdas por lixiviação e volatilização, com isso doses elevadas de nitrogênio deveriam ser utilizadas ou então a soja não teria toda a sua demanda suprida (HUNGRIA; CAMPO; MENDES, 2007).

O fornecimento de Cobalto (Co) e Molibdênio (Mo) é indispensável na cultura da soja, sendo as doses recomendadas de 3 g ha<sup>-1</sup> de Co e até 30 g ha<sup>-1</sup> de Mo, pois são elementos essenciais no processo de FBN, sendo recomendado que se aplique via semente ou via foliar nos estádios de desenvolvimento V3 – V5 (SFREDO, 2008).

Com relação aos demais macronutrientes fósforo (P) e potássio (K), recomenda-se que com base na análise de solo e sua interpretação, sejam supridas as demandas da cultura, levando em consideração: textura do solo e disponibilidade dos nutrientes em sua solução. Quando os valores destes nutrientes se enquadrarem como “baixos teores” no solo, de acordo com dados de boletins técnicos, deve-se realizar correção de fertilidade total, no entanto quando forem “médios e bons teores” se realizará apenas adubações de manutenção se baseando nas exportações da cultura e em relação aos micronutrientes a soja apresenta baixa resposta, sendo que a necessidade em se realizar adubação de micros visa primeiramente à análise de solo e quando recomendados, via formulações minerais ou até mesmo via semente, seu residual no solo chega até cinco anos (OLIVEIRA et al., 2007).

Para conseguir de tal forma um sucesso na prática agrícola há necessidade em elevar o V% do solo na faixa de 60 a 70%, para isso faz-se o uso de calcário, que também irá elevar o pH do solo. A calagem deve ser realizada com antecedência e fatores intrínsecos do corretivo como: poder de neutralização, reatividade, poder relativo de neutralização total (PRNT) e efeito residual, deve ser levado em consideração. Por fim, pode-se escolher o chamado calcário dolomítico



quando houver a necessidade de magnésio no solo e também existe a possibilidade em se fazer uso do gesso agrícola (gessagem), que serve como um condicionador de solo, devendo ser realizado o procedimento na área sempre após a calagem (VITTI; TREVISAN, 2000).

### 3.4 Importâncias da pastagem no sistema de ILP

A prática de sistemas integrados como ILP surgiu como uma alternativa para suprir a demanda por forragens durante o inverno, estação em que os animais mais sofrem com a falta de alimentação, além de que, a degradação de pastagem atualmente é um dos maiores problemas da pecuária, devido à falta de manejos adequados nas áreas e a lotação animal. Dentre as forrageiras perenes mais utilizadas na integração se destacam os gêneros: *Urochloa* e *Panicum*; tais gramíneas são semeadas em sucessão às culturas de verão (MACHADO; ASSIS, 2010).

Usualmente a prática de integração é realizada conjuntamente com o plantio direto, porém, os ganhos podem ser limitados devido à deficiência em não utilizar rotações de culturas adequadas, as quais não promovem a cobertura necessária de palhada no solo (MACHADO; ASSIS, 2010). Ressalta-se que, para se obter sucesso na prática do plantio direto, Bayer et al. (2006), sugerem que é necessária uma entrada de carbono nos sistemas em cerca de 4 Mg ha<sup>-1</sup> anual, compensando assim o carbono perdido pela decomposição dos resíduos orgânicos naquele ambiente, o qual dificilmente é adquirido apenas com a implantação de culturas anuais.

A adoção de pastagens nas áreas agrícolas por períodos consecutivos a partir de dois anos, contribuem para melhorias nas propriedades do solo. Marchão et al. (2007) afirmam que em camadas do solo de 0 – 15 cm com pequenos aumentos na sua densidade podem ter o problema minimizado com as porções de raízes das forrageiras presentes na camada superficial do solo pois, autores como Machado et al. (2007), em estudo, observaram que a rotação de lavoura – pastagem, com uma média de três anos de implantação do sistema, gera uma quantidade de massa seca de raízes de *Urochloa brizantha*, na camada do solo de 0 – 20 cm, de cerca 5 a 10 Mg ha<sup>-1</sup>, de acordo com o manejo adotado.

Os restos culturais de matéria seca das pastagens nos sistemas agrícolas permitem um maior aporte de cobertura morta na área e conseqüentemente à recuperação de matéria orgânica do solo (FREITAS et al., 2000; WENDLING et al., 2005). Em relação aos atributos físicos, os resíduos vegetais proporcionam aumentos na estabilidade dos agregados do solo, se tornando fontes de controle da erosão e de resistência do solo à compactação. Ressalta-se ainda que a rotação com pastagem e culturas anuais quebra a monocultura interferindo no ciclo de pragas e se torna também uma medida eficaz no controle de plantas invasoras (BRAZ et al., 2006; CORREIA; DURIGAN; KLINK, 2006), assim como no controle dos nematóides de cisto da soja e das galhas (ASMUS; ANDRADE, 2001).

Estudos com diferentes gêneros de pastagens permitem averiguar quais são as mais aptas e recomendadas para as variadas situações agrícolas nos sistemas de Integração Lavoura – Pecuária. Pacheco et al. (2009), observaram que a forrageira do gênero *Urochloa* se demonstrou eficiente no controle de plantas invasoras e contribuiu para maiores produtividades de grãos de soja em manejos onde a pastagem foi empregada após a cultura de verão.

Portanto, as forrageiras perenes são capazes de proporcionar forragem para os animais durante todo o período de seca, pois se mantêm em crescimento contínuo e posteriormente, por serem fáceis de dessecar, são aproveitadas como cobertura de solo para o plantio da cultura anual, como, por exemplo, a soja, em sistemas de plantio direto (MACHADO; ASSIS, 2010).

### **3.5 Manejo físico do solo**

A influência dos diversos tipos de manejos físicos e químicos do solo vem sendo levada em consideração desde as décadas passadas, tanto pelas mudanças estruturais e biológicas ocasionadas no solo, como pelas respostas das culturas, principalmente em solos ácidos e de baixa fertilidade. Assim, visando um modelo sustentável de produção, começou a se utilizar áreas de pastagens degradadas, bem como adequações químicas (adubações) do solo nessas áreas, para que se estabilize sistemas agrícolas duradouros, com alta produtividade e propício ao desenvolvimento das culturas (BATAGLIA; DECHEN; SANTOS, 1992).

Lovato et al. (2004), relataram que a fertilidade do solo é melhorada a partir do uso de plantio direto em relação aos sistemas convencionais.

Práticas inadequadas tais como o monocultivo e o uso excessivo de preparo tradicional do solo, causa queda de produtividade das culturas além de degradação contínua do solo (MACEDO, 2009). A adoção de sistemas que proporcionem manutenção, principalmente, de restos vegetais proporcionando cobertura satisfatória no solo acaba diminuindo os problemas de erosões, pois diminuem o impacto das gotas de chuva e o escoamento superficial da água, problemas estes comuns quando se adota manejos convencionais, tais como aração e gradagem, os quais desagregam o solo e proporcionam maiores degradações das áreas agrícolas (RHEINHEIMER et al., 1998).

Entre os sistemas de preparo do solo, tais como o plantio, a aração e a gradagem há em destaque o cultivo mínimo que vem se disseminando dentre as práticas de manejos físicos do solo. Sabe-se que o crescimento e desenvolvimento das plantas necessitam de uma boa absorção de água e nutrientes e para isso precisam apresentar um sistema radicular vigoroso, entretanto, um dos problemas que abrangem grande parte das áreas agricultáveis atuais é a compactação do solo, que se agrava dependendo do sistema de manejo adotado (SILVA et al., 2000).

Ressalta-se que, mesmo apresentando vários benefícios, tais como, controlador de perdas hídricas do solo, o plantio direto apresenta algumas frustrações tais como: maiores níveis de compactação superficial devido o tráfego de máquinas agrícolas e ausência de revolvimento do solo. Portanto, esse entrave faz com que os produtores adotem as práticas agrícolas de manejos físicos convencionais do solo (TORMENA, ROLOFF; SÁ, 1998).

Portanto, o preparo reduzido, com o uso do escarificador, popularmente conhecido como “mata broto”, por não inverter as leivas do solo, vem sendo utilizado para incorporação de resíduos vegetais no solo bem como para diminuir a compactação de áreas agrícolas e por necessitar de menor número operacional acaba sendo um manejo vantajoso com diminuição no custo de investimento em relação aos sistemas convencionais (DALLMEYER, 1994).

Silva et al. (2000) encontraram diferenças na densidade do solo entre os diferentes sistemas: plantio direto, preparo convencional e cultivo mínimo. Observaram que o plantio direto apresentou maior uniformidade na distribuição dos

poros das partículas de solo em profundidade, refletindo em melhor estruturação natural do solo. Hakansson, Voorhees e Riley (1998) afirmam que o sistema convencional ocasiona compactação subsuperficial, já que desestrutura apenas as camadas mais superficiais e as cargas de implementos e pisoteios animais começam a agregar as partículas em maior profundidade ao longo dos anos, ao contrário do plantio direto, que a compactação se dá superficialmente.

A porosidade do solo sofre influência de fatores extrínsecos, tais como: práticas de mecanização, cultura implantada, biologia, granulometria e textura do solo (GIMENEZ et al., 1997; SILVA et al., 2000). Consequentemente as alterações físicas no solo influenciam no desenvolvimento das culturas, assim como no fluxo de água do solo e em sua condutividade elétrica, de adsorção e dessorção (BAGARELLO, 1997).

O tipo de sistemas adotado, especialmente os que mantêm cobertura no solo quando associados com adubações, tais como a adição de carbono e nitrogênio, elevam os teores desses compostos no solo (BAYER et al., 1995) e consequentemente há um aumento nas atividades biológicas, devido ao incremento de substâncias húmicas (CERETTA, 1995).

Com relação à correção de pH em solo ácidos e a melhoria na disponibilidade de nutrientes, além da redução de alumínio tóxico, adotam-se geralmente a calagem e o gesso agrícola, por serem condicionadores de solo e proporcionarem melhorias na disponibilidade de nutrientes, tanto em superfície como em profundidade. Pois, o emprego inadequado de manejos do solo eleva a concentração da fertilidade do solo nas camadas superiores ao promover desbalanço na saturação de bases e há interferência na disponibilidade de nutrientes para as plantas (MACEDO, 2009)

De tal forma, o manejo de adubos e a escarificação vem sendo utilizada como alternativa de melhorias produtivas. O cultivo mínimo com o intuito de gerar a descompactação no solo é associado com o uso de plantas que apresentam sistemas radiculares profundos e agressivos, capazes de se desenvolverem em perfis de solos compactados. Contudo, para as condições reais de solos arenosos, são poucos os estudos que comprovem os sistemas que sejam realmente eficientes, necessitando de estudos em longo prazo nesse tipo de solo, para que se observem os efeitos das práticas adotadas no decorrer dos anos (CUBILLA et al., 2002).

### 3.6 Indicadores biológicos do solo

Indicadores biológicos são de suma importância, pois proporcionam uma avaliação precoce de eventuais efeitos sejam eles, positivos ou negativos, referente à qualidade do solo e ao tipo de manejo adotado, permitindo assim que precauções antecipadas sejam tomadas, garantindo medidas de controles eficientes, contribuindo conseqüentemente para o aumento da sustentabilidade do sistema de produção (CHAER; TÓTOLA, 2007).

Evidentemente as espécies de cobertura do solo e as distintas práticas de manejo dos diferentes sistemas que conduzem a agricultura atual, desempenham papéis importantes no equilíbrio microbiano (BORGES et al, 2009). Com os novos manejos atribuídos ao solo, passou-se a necessitar de bioindicadores que sejam sensíveis a essas mudanças e assim se torne possível avaliar a qualidade do solo, para que se possam fundamentar os fatores que comprovem o uso sustentável dos recursos naturais, permitindo a comprovação de índices de qualidade e fornecendo avaliações concretas entre a integração de atributos físicos, químicos e biológicos (SILVA et al., 2007).

Entretanto há poucos estudos atuais que se referem às propriedades microbiológicas e bioquímicas dos solos agricultáveis, bem como sobre suas mudanças devido aos impactos gerados pelos distintos sistemas de produção, principalmente pelos sistemas modernos, como os que integram culturas anuais com pastagens, rotações de culturas, plantio direto, agricultura orgânica, manejos físicos e químicos (SILVA et al., 2008).

Mesmo com a carência de pesquisa nesse enfoque, os poucos dados obtidos demonstraram que os sistemas de manejos conservacionistas, como a ILP, geram menores impactos nos atributos biológicos, químicos e físicos do solo quando são comparados com sistemas convencionais, que utilizam equipamentos como arados e grades para o revolvimento do solo (SILVA et al., 2008), além do uso excessivo de insumos químicos que contribuem intensamente para perdas microbiológicas e de C orgânico do solo (RASMUSSEN; ABRECHT; SMILEY, 1998; MIENLNICZUK et al., 2003). Dessa forma, as degradações tanto físicas, como químicas e principalmente biológicas, agravam as situações dos sistemas produtivos, refletindo em menores produtividades das culturas, acentuando-se cada vez mais com o uso inadequado e contínuo do solo (XAVIER et al., 2006).

Portanto, são necessárias cada vez mais pesquisas que se proponham a analisar os indicadores biológicos e sustentáveis, revelando com isto o grau de conservação dos sistemas de manejos empregados nas áreas agrícolas (DE-POLLI; PIMENTEL, 2005). Dentre os parâmetros biológicos tidos como os mais utilizados estão os que quantificam o carbono (C) e o nitrogênio (N) da biomassa microbiana, a taxa de respiração dos microrganismos do solo (consumo de O<sub>2</sub> ou emissão de CO<sub>2</sub>), quociente metabólico e microbiano e a enzima desidrogenase (KARLEN et al., 1997; DE-POLLI; PIMENTEL, 2005).

### 3.6.1 Biomassa microbiana

A biomassa microbiana representa a porção viva da matéria orgânica do solo, ou seja, é considerada a fração lábil da matéria orgânica a qual é facilmente alterada por fatores bióticos ou abióticos da natureza (POWLSON et al., 1987). Os solos tropicais apresentam, em média, de 2 a 5% de carbono orgânico total; 1 a 5% de nitrogênio orgânico e 2 a 20% de fósforo orgânico (SMITH; PAUL, 1990). Ressalta-se que a biomassa microbiana é composta principalmente por bactérias, fungos e também por representantes da microfauna, tais integrantes são essenciais em variadas funções no solo (TURCO; KENNEDY; JAWSON, 1994).

A microbiota do solo é a responsável principal pela decomposição de materiais orgânicos, ciclagem e liberações de nutrientes e pelo fluxo energético do solo, portanto, a biomassa microbiana e suas funções vêm sendo caracterizada como a indicadora mais sensível às alterações na qualidade do solo, ocasionadas por mudanças de uso e práticas de manejos (TRANNIN; SIQUEIRA; MOREIRA, 2007).

Referindo-se ainda sobre as funções da biomassa microbiana do solo, ela funciona como fator chave de vários ciclos existentes no solo, desde o acúmulo até a decomposição de resíduos orgânicos, os quais envolvem processos de mineralização da matéria orgânica. Portanto, a biomassa microbiana pode ser considerada uma fonte ativa de reservas nutricionais, pois há uma imobilização de nutrientes nos tecidos microbianos, os quais vão sendo liberados quando finda o ciclo de vida dos microrganismos ou a partir da assimilação por processos simbióticos (CERRI et al., 1992). Conseqüentemente solos com altos valores de

biomassa microbiana são capazes de estocar e propiciar mais ativamente a liberação de nutrientes ao sistema solo – planta (GREGORICH et al., 1994).

Estudos vêm demonstrando que áreas vegetadas com maiores porções de raízes influenciam na biomassa microbiana do solo, pois contribuem como fonte de carbono e energia para a mesma, tal interação fornece maior quantidade de exsudações de compostos orgânicos, melhorando a qualidade e a quantidade de resíduos no sistema, favorecendo um habitat propício para os microrganismos (SOUZA et al., 2010).

Em relação à adoção de diferentes tipos de sistemas, Marchão et al. (2007) afirmaram que a Integração Lavoura – Pecuária com Plantio Direto, e rotação entre gramínea e leguminosa, melhoram o habitat dos microrganismos e elevam a biodiversidade de espécies, oferecendo condições sustentáveis a qualidade do solo agrícola.

Dessa forma, o estudo de dados sobre a quantificação e atividade da biomassa microbiana fornece embasamento importante para planejar o uso correto da terra, levando em consideração a dinâmica dos microrganismos presentes no solo (ENÍVAR; LOVATO, 2002).

### 3.6.2 Quociente metabólico ( $qCO_2$ ) e quociente microbiano ( $qMic$ )

Entre os indicadores biológicos temos o  $qCO_2$  representando o quanto a biomassa microbiana está respirando e o  $qMic$ , expressando o acúmulo ou perda de carbono no solo, durante um longo período de tempo (BORGES et al., 2009).

Estudos como o de Gama-Rodrigues e Gama-Rodrigues (2008), em solos que apresentam baixos teores de matéria orgânica e nutrientes, a biomassa microbiana fica estressada, tornando-se incapaz de consumir o C orgânico total e assim, o  $qMic$  tende a reduzir. De tal forma,  $qCO_2$  funciona como um bom indicador, permitindo que se estime o potencial de decomposição da matéria orgânica (GAMA-RODRIGUES; GAMA-RODRIGUES; BARROS, 1997)

Referindo-se ao  $qCO_2$ , níveis baixos indicam economia na utilização de energia, demonstrando que o ambiente está mais estável ou próximo ao equilíbrio e por outro lado, valores elevados de  $qCO_2$  sugerem estresse, isto é, ecossistema submetido à alguma condição não favorável (TOTÓLA; CHAER, 2002), pois quando o valor da taxa respiratória dos microrganismos se eleva, pode significar que em

um curto prazo está ocorrendo liberação de nutrientes para as plantas, mas por outro lado, ao se prolongar estará tendo perda de carbono orgânico presente no solo para a atmosfera (PARKIN; DORAN; FRANCO-VIZCAÍNO, 1996).

Entretanto, de forma resumida, na medida em que a biomassa microbiana se demonstra com maior eficiência na utilização dos recursos disponíveis pelo ecossistema, menos CO<sub>2</sub> é perdido pela respiração e com isso a proporção de carbono incorporado nos tecidos microbianos são maiores, resultando em diminuições no qCO<sub>2</sub> e aumentos de qMic (SILVA et al, 2007). Entretanto, de forma contraditória, quando a biomassa microbiana está sob algum fator de estresse, como, por exemplo, deficiência nutricional, acidez do solo, entre outros, a capacidade em utilizar o carbono e o nitrogênio é diminuída (SILVA et al., 2007). Sendo assim, mudanças no uso do solo induzem aumentos significativos no carbono e nitrogênio orgânico e vice-versa (ANDERSON; DOMSCH, 1993).

Como se observa há fortes relações entre as taxas indicativas dos parâmetros biológicos quando avaliados com a situação em que se encontra o sistema, isto é, adubações e práticas de manejos diferenciadas afetam tanto de forma positiva como negativa a interação microbiológica. Como exemplo, Totóla e Chaer (2002), demonstraram que existe uma correlação significativa entre teores de fósforo presente no solo e o qCO<sub>2</sub>, indicando que elevados teores desse macronutriente estimulam o aumento nos valores do qCO<sub>2</sub>. Assim também ocorre com elevados níveis de potássio, onde altos teores desse nutriente provocam diminuição do carbono da biomassa microbiana, demonstrando um efeito supressor sobre os microrganismos (SOUSA; LOBATO, 2004).

Portanto, fica evidenciada a importância em se utilizar práticas conservacionistas de manejo como a sucessão e rotação de culturas, o cultivo mínimo do solo ou o plantio direto (ALOVISI, 2007).

### 3.6.3 Desidrogenase

Existem enzimas presentes no solo que podem ser determinadas e servem para medir a atividade microbiana, isto é, proporciona embasamento para as tomadas de decisões a partir de mudanças ocorridas na microbiota do solo (ANDRADE; SILVEIRA, 2004), sendo os microrganismos as principais fontes dessas enzimas (AJWA; DELL; RICE, 1999; AON et al., 2001). Ressalta-se que as enzimas



respondem rapidamente às mudanças do solo, podendo ser avaliadas como bioindicadoras de qualidade (GUEDES, 2013).

A atividade enzimática é fortemente ligada às condições de qualidade do solo, de tal forma, os fatores, sejam eles abióticos ou bióticos, que interferem ou favorecem a biota também refletem sobre as enzimas, por exemplo, adubações, presença de vegetação, rotação de culturas, pH do solo e manejos físicos do solo (GUEDES, 2013). O pH quando muito baixou ou muito alto, tende a diminuir a atividade enzimática do solo, já que as enzimas necessitam de pH ótimo para atingir sua máxima eficiência. Por isso, em análises de determinação de enzima se ajusta o pH, para que a atividade seja mensurada corretamente (SILVA, 2008).

As enzimas existentes no solo são exclusivamente advindas dos microrganismos, porque são proteínas sintetizadas através da genética microbiológica, podendo vir das células metabolicamente ativas ou liberadas após a morte dos microrganismos (BURNS, 1986). Quando uma proteína enzimática é liberada para o solo, ela pode ser imediatamente metabolizada por microrganismos ou ficar adsorvida aos colóides, tornando-se estável e com baixa vulnerabilidade a degradação (SILVA, 2008).

A desidrogenase, também conhecida como enzima de oxiredução, é responsável por promover a oxidação específica de um substrato através da subtração do hidrogênio (LONGO; RIBEIRO; MELO, 2011), ou seja, a ação de enzimas como a desidrogenase, se dá pela oxidação de compostos orgânicos a partir da transferências de pares de elétrons de um substrato para o  $\text{NAD}^+$  ou  $\text{NADP}^+$ , no qual se formará  $\text{NADH}$  ou  $\text{NADPH}$ , respectivamente (SMITH; MCFETERS, 1997).

A atividade da enzima desidrogenase está relacionada com a quantidade de matéria orgânica presente no sistema em processo de decomposição (CERRI et al., 1992). Moreira e Siqueira (2006) relatam que a atividade da desidrogenase é dependente do consumo de  $\text{O}_2$ , além de estar também intimamente relacionada com a biomassa microbiana, devido à adição externa de carbono ao solo (TABATABAI, 1994).

A transformação da matéria orgânica em composto orgânico simples e disponível ocorre em decorrência da liberação dessas enzimas intracelulares pelos microrganismos e então esse é o fator chave para se explicar as relações enzimáticas com os diversos fatores envolvidos no sistema solo – planta, já que a

microbiota está intimamente ligada e associada com as raízes e os exsudados liberados pelas plantas, ou seja, pode haver seleções de microrganismos de acordo com a planta (BUZINARO; BARBOSA; NAHAS, 2009),. De tal forma, as enzimas também são fortes aliadas no monitoramento de atividades poluidoras e de degradação ambiental (MARGESIN; ZIMMEBAUER; SCHINNER, 2000; TAYLOR et al., 2002).

### **3.7 Diagnose foliar**

O estudo da adubação nitrogenada em sistemas de Integração Lavoura – Pecuária é de suma importância, pois mesmo com os múltiplos benefícios dos efeitos residuais de adubações no sistema de integração estes devem ser monitorados, já que estudos como o de Anghinoni (2007), demonstraram que nos primeiros cinco anos sob adoção de plantio direto, o nitrogênio é altamente exigido em função de sua imobilização nas palhadas dos restos culturais.

A partir das diferentes adubações efetuadas no sistema de cultivo, as plantas podem apresentar respostas distintas nas taxas de aproveitamento e eficiência nutricional, de acordo com a parte disponibilizada pelo solo (PREZOTTI, 2001). Portanto, o uso de análises foliares permite diagnosticar o estado nutricional da planta, baseando-se no fato de que há uma correlação entre sua taxa de crescimento e o teor dos nutrientes presentes nos tecidos foliares (JONES; ECK; VOSS, 1990).

Sendo assim, análises foliares são peças chaves para obter as informações necessárias para se atingir às exigências precisas de nutrientes pelas plantas e saber se os manejos estão sendo favoráveis para o desenvolvimento da cultura (LAVIOLA; DIAS, 2008). Ressalta-se que a folha é o principal órgão de análise dos vegetais por ser a parte que mais reflete seu estado nutricional, respondendo de forma mais rápida e precisa as variações dos diferentes manejos nutricionais (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

Além das análises para diagnoses dos teores de nutrientes nas folhas, também existe a mensuração do teor relativo de clorofila na planta, onde os teores são obtidos instantaneamente por um medidor portátil, permitindo caracterizar deficiências de nitrogênio no vegetal a partir de comparações entre os valores obtidos nas plantas. Com esse método o diagnóstico rápido no campo dá suporte

para tomadas de decisões imediatas sobre a necessidade ou não das aplicações de nitrogênio em cobertura na cultura (RAMBO et al., 2004).

### **3.8 Atividades bioquímicas em plantas**

Além dos atributos físicos e microbiológicos do solo, os compostos bioquímicos em plantas também são tidos como bons indicadores para as sensíveis alterações impostas a partir dos diferentes usos do solo, propiciando ferramentas promissoras para orientações e planejamentos de manejos adequados, visando sustentabilidade no ecossistema (CARNEIRO et al., 2008).

#### **3.8.1 Malondialdeído (MDA)**

Nas plantas existe uma manutenção a partir do metabolismo secundário em equilibrar a geração de radicais livres com a produção de defesas antioxidantes, que podem ser enzimáticas e não enzimáticas, propiciando condições essenciais de funcionamento dos organismos. Entretanto, se há desequilíbrio nesses mecanismos de defesa há uma tendência em se produzir maiores quantidades de radicais livres no interior das células, passando então a ocorrer o estresse oxidativo, e nesta condição, os radicais livres em altas concentrações, tendem a oxidar e danificar lipídeos celulares, proteínas e DNA, afetando o funcionamento normal do ser vivo (FERREIRA; ABREU, 2007).

O Malondialdeído (MDA) é um produto gerado a partir da peroxidação de lipídeos da membrana, conseqüentemente, o maior conteúdo desse composto indicará o nível do estresse oxidativo da planta (HAN; WANG, 2002). Portanto, aumento no extravasamento de MDA inativa a atividade de enzimas antioxidantes pelo acúmulo excessivo de espécies reativas de oxigênio, agravando o desenvolvimento das plantas, já que a peroxidação induz ao aumento da permeabilidade da membrana e com isso há perda de eletrólitos e funções celulares (KHAN; PANDA, 2008).

### 3.8.2 Compostos fenólicos

Os compostos fenólicos são gerados a partir do metabolismo secundário das plantas, sendo sintetizados normalmente pelas vias do acetato malonato e melavonato e pela via do ácido chiquímico. Eles são essenciais para o crescimento do vegetal e reprodução, entretanto, também se formam em condições de estresse (NACZK; SHAHIDI, 2004). Ressalta-se ainda que esses compostos sejam um grupo de fitoquímicos derivados de fenilalanina e tirosina (SHAHIDI; NACZK, 1995).

Há cerca de 8000 substâncias de compostos fenólicos encontradas nas plantas presentes na natureza. Tais compostos podem ser distribuídos em caules, flores, frutos e raízes. Dentre os compostos fenólicos estão os pigmentos, que dão as mais variadas cores aos alimentos, e produtos do metabolismo secundário, normalmente induzido como defesa em plantas, devido supressões ambientais. Portanto, os compostos fenólicos se enquadram como antioxidantes, pois doam hidrogênio e elétrons e por possuir radicais estáveis, impedem a oxidação de lipídeos (BRAND-WILLIAMS; CUVELIER; BERSET, 1995).

Antioxidantes são substâncias que retardam ou impedem danos oxidativos mesmo em baixas concentrações nos vegetais. Os antioxidantes são divididos em primários e secundários; os primários são os compostos capazes de retardar e inibir a oxidação ao inativar os radicais livres com doação de elétrons e hidrogênios, já os secundários inativam a formação de espécies reativas de oxigênio quando se ligam a íons metálicos (MAISUTHISAKUL; SUTTAJIT; PONGSAWATMANIT, 2007).

Ao referir-se a quantidade e a composição dos fenóis presentes nos vegetais, deve-se entender que eles podem ser influenciados pelo genótipo, época de plantio, manejos físicos do solo, estresses nutricionais e pelas condições ambientais, tais como déficit hídrico e alta taxa de raios ultravioletas (HOWARD; CLARK; BROWNMILLER, 2003).

Os fenóis são caracterizados por terem em sua estrutura um anel benzênico, um grupamento carboxílico e um ou mais grupos de hidroxila na molécula, conferindo assim, propriedades antioxidantes para os vegetais (SOARES, 2002). Desta forma, os compostos fenólicos encontrados em alimentos podem ser estruturas simples ou altamente polimerizadas, sendo frequentemente encontrados

polifenóis complexados com carboidratos, proteínas e dentre outros, sugerindo que ao ponto de vista analítico, esses compostos são solúveis e encontrados na forma livre ou conjugada em vacúolos celulares, ou então, insolúveis, ligados a polissacarídeos de paredes celulares (NACZK; SHAHIDI, 2004).

Os compostos fenólicos, como citado anteriormente, são produzidos em células especializadas pelos tecidos vegetais em locais específicos (estratégicos) ou ao acaso e as enzimas sintetizadoras de fenóis permitem que eles fiquem armazenados livres ou em forma conjugada em vesículas por serem altamente tóxicos. A descompartimentalização dos fenóis provoca oxidação instantânea pela ação das peroxidases em resposta a estresses. Compostos fenólicos livres no citoplasma podem ser tóxicos tanto para os patógenos como para a própria célula vegetal (HRAZDINA, 1994).

Portanto, existem procedimentos específicos para extrair os compostos fenólicos com especificidade, e os que extraem todos em conjunto, sendo estes quantificados em geral como: fenóis solúveis ou fenóis totais (MIRA et al., 2009). A extração de fenóis totais normalmente é realizada com metanol, etanol, acetato de etila, e em menor frequência com propanol e dimetilformamida, sendo estes os principais solventes extratores e com isso os extratos são considerados uma mistura de diferentes classes de compostos fenólicos solúveis (NACZK; SHAHIDI, 2004).

Dentre os principais compostos fenólicos da soja temos as isoflavonas. A concentração de isoflavonas nos grãos de soja, assim como de seus derivados, pode sofrer variações, pois é dependente da variedade, do solo, clima e do local onde foi cultivada (NAIM et al., 1976). Ainda referente aos fenóis na soja, os flavonóides, que são sintetizados tanto nas raízes como na parte aérea da planta (HARBONE, 1967), são liberados para a rizosfera e participam como sinalizadores para as bactérias fixadoras de nitrogênio, isto é, para desencadear a nodulação na soja ao ativarem o gene *Nod* (LONG, 1989).

Entre os flavonóides encontrados como indutores de genes na nodulação das leguminosas, incluem-se: flavonas, isoflavonas, chalconas, flavanonas, antocianidinas e flavonóis. A síntese e a liberação desses flavonóides são controladas especialmente pelo próprio vegetal como por ação das bactérias presentes na rizosfera, que também influenciam tanto na síntese como na exsudação dessas substâncias (STRALIOTTO et al., 2002).

### 3.8.3 Peroxidases

Dentre as enzimas presentes no metabolismo vegetal se encontra a peroxidase, sua importância é grande e a sua atividade está envolvida em diversas reações: ligações de polissacarídeos, oxidação do ácido indol-3-acético, lignificação, processos de cicatrizações de lesões, oxidação de compostos fenólicos, defesa de patógenos, regulação de alongação celular, entre outras (GASPAR et al., 1982; KAO, 2003).

As ações da peroxidase e a sua específica relação com compostos fenólicos são evidentes, pois elas lideram a degradação oxidativa dos fenóis que se acumulam próximos aos locais de descompartmentalização celular ocasionada pelo ataque de patógenos. Essa reação ocorre rapidamente nas células infectadas através de estímulos de células vizinhas, gerando um efetivo sistema de defesa da planta em direção à área ferida (FLEURIET; DELOIRE, 1982).

Conforme Padmaja, Balagopal e Potty (1982), ferimentos em raízes de mandioca promoveram aumentos nas quantidades de fenóis e em consequência o surgimento de enzimas peroxidases foram estimuladas. Siegel (1993) reportou que, as peroxidases participam da lignificação das paredes celulares dos vegetais e com isso estão envolvidas no metabolismo dos compostos fenólicos ao oxidá-los, onde ambos atuam juntos nos processos de defesa das plantas e no crescimento participando de regulagens hormonais como, por exemplo, nos níveis de auxinas.

Dentre os resultados provenientes dessas reações se encontram o surgimento de substâncias escuras provenientes da polimerização oxidativa, as quinonas (CAMPOS et al., 2004). Quinonas são substâncias com ação antimicrobiana presentes nas lesões ocasionadas em vegetais devido à infecção de microrganismos, elas formam complexos de proteínas que atuam como barreira física à penetração de patógenos (MUELLER; BECKMAN, 1974).

A ocorrência de estresse oxidativo nas plantas, ou seja, o desequilíbrio entre a geração dos compostos oxidantes e a atuação do sistema de defesa, contribui para o surgimento de radicais livres (BARBOSA et al., 2010). Entende-se que as espécies reativas de oxigênio (EROs) são subprodutos formados a partir do metabolismo celular, mas que podem ser gerados a partir da destruição do sistema de transporte de elétrons sob condições de estresse, onde as principais atuações da

## **4 MATERIAL E MÉTODOS**

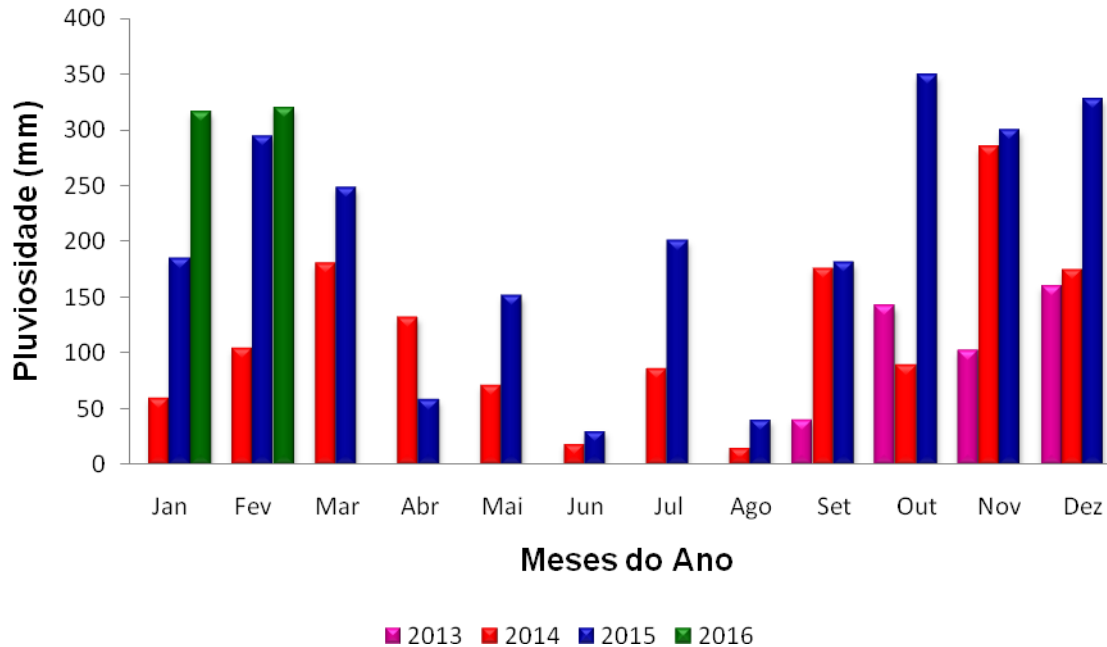
O presente trabalho foi conduzido em laboratório e em casa de vegetação. Para tanto, utilizou-se de um solo coletado de uma área a campo em seu terceiro ano experimental.

### **4.1 Localização da área experimental**

O experimento a campo foi instalado no ano de 2013 em uma área da Fazenda Experimental da Universidade do Oeste Paulista (UNOESTE), no município de Presidente Bernardes – SP, no qual se encontra localizada nas coordenadas geográficas: 22° 07' 32" Latitude Sul e 51° 23' 20" Longitude Oeste de Greenwich, com altitude de 475 metros.

O solo desta área experimental é caracterizado como argissolo vermelho distroférico, no qual apresenta maior acúmulo de argila em profundidade (horizonte b) do que na camada superficial do solo (EMBRAPA SOLOS, 2006). O clima da região, segundo a classificação de Koppen é do tipo Cwa, onde as temperaturas médias são de 25°C e os índices pluviométricos variam em determinadas épocas do ano, sendo o verão mais chuvoso e o inverno mais seco. Observam-se na Figura 01 os índices pluviométricos registrados na época experimental.

FIGURA 01 – Índices pluviométricos registrados durante o período de setembro de 2013 a fevereiro de 2016 na Fazenda Experimental da Unoeste. Presidente Bernardes – SP.



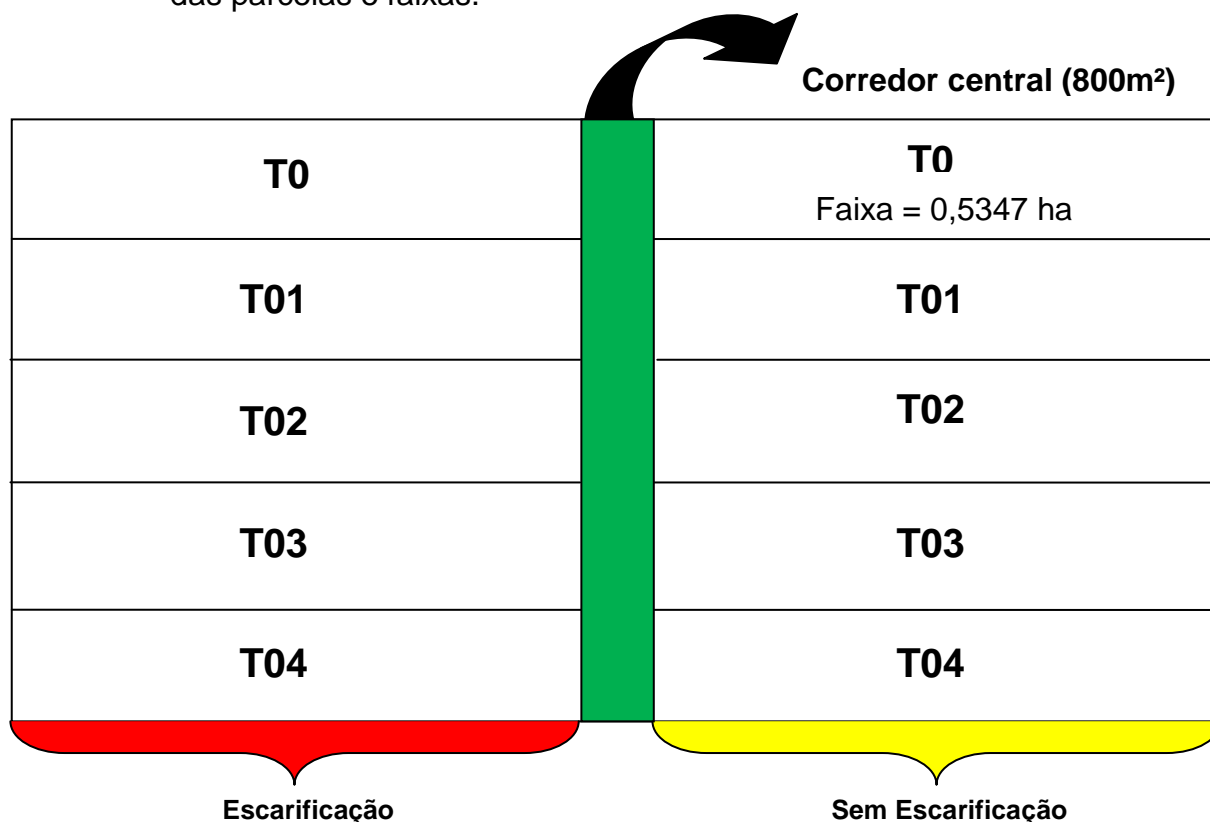
#### 4.2 Condução do experimento a campo

Para a implantação do experimento foram retirados os animais que se encontravam em área de pastagem extensiva (*Urochloa brizantha* cv Marandu), a qual foi considerada homogênea por ter recebido sempre os mesmos manejos físicos e químicos do solo.

A área experimental se constituiu de uma parcela total de 5,3 ha, na qual foi dividida em dois talhões. Cada um dos talhões foi dividido em 5 faixas de 0,5347 ha. Portanto, o modelo experimental adotado foi o delineamento inteiramente casualizado em faixas com esquema fatorial duplo, isto é, dois manejos físicos: com ou sem escarificação do solo e cinco manejos de fertilizações definidos como: T0 = Controle (Apenas ILP + Adubação de manutenção da soja); T1 = Calcário; T2 = Calcário + Gesso Agrícola; T3 = Calcário + Gesso Agrícola + NPK; e T4 = Calcário + Gesso Agrícola + NPK + Micronutrientes (Figura 02).



FIGURA 02 – Croqui da área experimental a campo, modelo simplificado da divisão das parcelas e faixas.



Fonte: Autor

Em 03/julho/2013 foi realizada em um dos talhões (nas 5 faixas) a escarificação do solo com uso de escarificador mecânico modelo DPT 320M/A Ikeda® (regulado para 30 cm de profundidade). Ressalta-se que a escarificação não promoveu mistura entre as camadas do solo, pois foram realizados cortes horizontais nas camadas de solo que de maneira homogênea induziram a descompactação e também destruíram os sistemas radiculares dos brotos da pastagem.

Após a escarificação da área, a qual foi dividida em dois talhões, se procedeu à coleta de 20 amostras de solo aleatoriamente, com auxílio do trado, na profundidade de 0 – 20 cm, para a caracterização química da área, como pode se observar na Tabela 01.

TABELA 01 – Caracterização química do solo da área experimental (0 – 20 cm) antes da instalação do experimento em Presidente Bernardes – SP, 2013.

M.O.	pH	Sem escarificação							CTC	V%
		P	K	Ca	Mg	Al <sup>3+</sup>	Al+H	SB		
g dm <sup>-3</sup>	CaCl <sub>2</sub>	mg dm <sup>-3</sup>					mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			
12,7	5,3	10,3	1,1	20,6	8,4	0	20,6	30,1	50,7	59,3
Com escarificação										
11,8	5,3	7,9	1,0	20,0	8,9	0	19,0	29,9	48,9	61,1

Sucedendo a escarificação, realizaram-se em 09/julho/2013 as correções do solo sobre a pastagem de acordo com o que foi estabelecido em cada tratamento, isto é, a calagem e a gessagem foram realizadas a lanço apenas nas faixas que foram pré-estabelecidas a serem corrigidas com calcário e gesso agrícola. Para tanto foi feito uso do calcário dolomítico (286 g Kg<sup>-1</sup> de CaO, 163 g Kg<sup>-1</sup> de MgO e PRNT de 84%) na dosagem de 1.200 Kg ha<sup>-1</sup> e nos tratamentos com gesso agrícola a dose aplicada foi de 1.000 Kg ha<sup>-1</sup> (260 g Kg<sup>-1</sup> de CaO e 150 g Kg<sup>-1</sup> de S), ambos seguiram normas de recomendações técnicas para o estado de São Paulo, solos arenosos, (RAIJ et al., 1996) a partir da interpretação de análise de solo da camada de 0 – 20 cm.

A adubação com NPK, nas faixas dos respectivos tratamentos, foi realizada em 10/agosto/2013 seguindo as dosagens de: 50 Kg ha<sup>-1</sup> de N, 90 Kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e 50 Kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; e nos tratamentos que envolviam micronutrientes a adubação procedeu em 01/setembro/2013, com 0,5 Kg ha<sup>-1</sup> tanto para B (ácido bórico) como para Cu (Sulfato de cobre) e 1,0 Kg ha<sup>-1</sup> de Zn (sulfato de zinco) e a mesma quantia para Mn (sulfato de manganês), sendo que os micronutrientes foram aplicados com pulverizador mecânico de barras via solo. Ressalta-se que foram adicionados 1,9 t ha<sup>-1</sup> de S (enxofre) elementar em toda área, exceto no manejo de adubação T04 (Calagem + Gesso Agrícola + NPK + Micronutrientes), para equilibrar o S aplicado via sulfato contido nos micronutrientes.

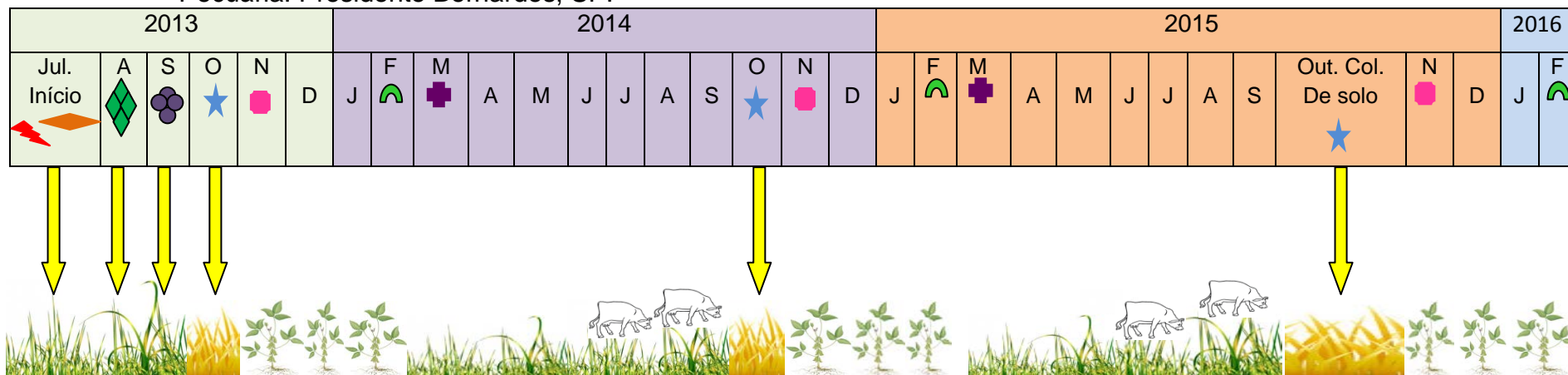
Em 17/setembro/2013 dessecou-se a pastagem (*Urochloa brizantha* cv Marandu) em área total com 5 L do herbicida comercial Glyphosate, em um volume de 330 L de calda ha<sup>-1</sup>, onde a forrageira dessecada passou a servir como cobertura morta. Em novembro de 2013 ocorreu o plantio da soja e no procedimento de semeadura foi realizada a inoculação das sementes com *Bradyrhizobium elkanii*,

sendo que neste período também se realizou a adubação de plantio (em todos os tratamentos) com 330 Kg ha<sup>-1</sup> da formulação 04-30-10 (NPK). A condução da soja seguiu as recomendações técnicas regionais com a execução de todos os manejos fitossanitários. A soja foi cultivada na área experimental nas safras 2013/2014, 2014/2015 e 2015/2016.

Ressalta-se que após as safras da soja dos anos de 2013/2014 e 2014/2015, foi realizada a semeadura da pastagem (*Urochloa brizantha* cv. Piatã) sucedendo a colheita da soja em fevereiro de cada ano, com espaçamento de 0,45 m entre plantas atingindo uma população de 35 plantas por metro linear. Após 60 dias do semeio, em ambos os anos agrícolas, a área recebeu bovinos de cortes com lotação de 2 e 2,9 UA ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Os animais ficavam nas áreas até que a forragem atingisse entre 20 a 30 cm de altura do solo e após serem retirados era realizada a dessecação, seguindo os procedimentos descritos anteriormente e a área total ficava vedada por um período de 30 a 40 dias antecedendo o plantio da soja.

Os procedimentos realizados na área experimental podem ser observados a partir do esquema exposto na Figura 03. Observa-se que até o momento da coleta de solo, realizada em outubro de 2015, para a condução do presente trabalho, não haviam sido refeitas as adubações impostas em 2013 nos tratamentos, pois de acordo com a análise de solo não houve constatação de necessidade de reposição nutricional do solo.

FIGURA 03 – Esquemática da execução dos manejos e culturas implantadas na área experimental de Integração Lavoura – Pecuária. Presidente Bernardes, SP.



LEGENDA:

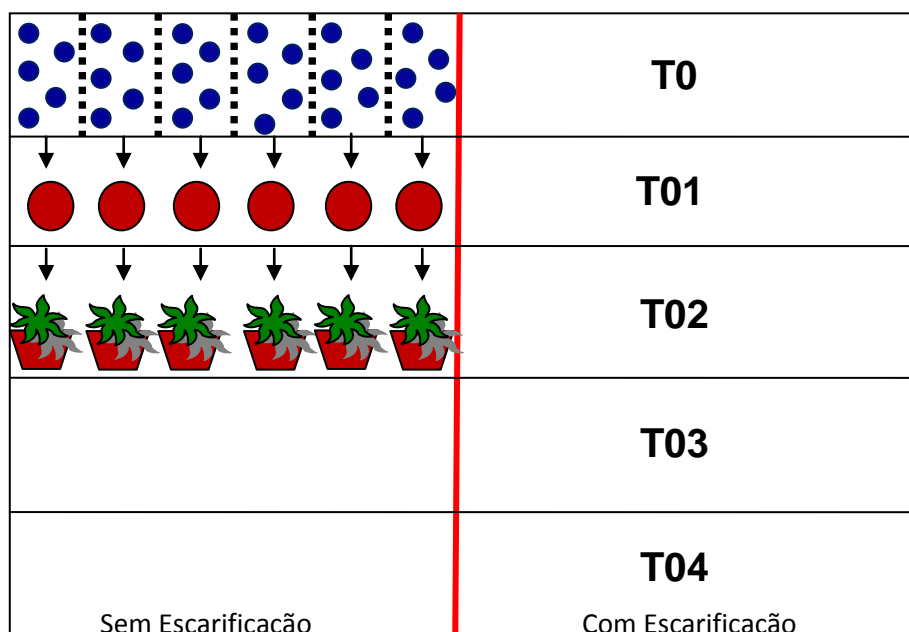
- = Escarificação
- = Calagem e Gessagem
- = Adubação de NPK
- = Adubação de Micronutrientes
- = Dessecação da pastagem
- = Plantio e adubação de manutenção da soja
- = Colheita da soja
- = Semeio da pastagem
- = Pastagem (*Urochloa brizantha*)
- = Pastagem com bovino de corte
- = Pastagem dessecada
- = Soja

Fonte: Autor.

### 4.3 Condução do experimento em casa de vegetação

Em 15 de outubro de 2015, no terceiro ano da implantação do sistema a campo, foram coletadas amostras de solo de cada tratamento com auxílio de uma cavadeira para o preenchimento de vasos de polietileno, onde foram acondicionados 5 Kg de solo vaso<sup>-1</sup>. Para coletar o solo igualmente, cada faixa a campo foi dividida em seis sub-faixas (repetições) e dentro de cada uma delas foram coletadas cinco sub-amostras, em uma profundidade de até 15 cm, que quando juntas formaram uma amostra composta, ou seja, cada amostra composta se referiu ao preenchimento de um vaso, como pode se observar na Figura 04, que demonstra como exemplo a coleta da primeira faixa do tratamento controle, no talhão sem escarificação.

FIGURA 04 – Exemplificação da coleta do solo na área experimental a campo para preenchimento dos vasos.



LEGENDA: ● Sub – amostras; ● Amostras Compostas; Vasos (repetições).

Fonte: Autor

Após a coleta do solo a campo, o experimento foi instalado em casa de vegetação no Campus II da UNOESTE, Presidente Prudente – SP. A casa de vegetação na qual se conduziu este experimento apresenta condições controladas de umidade e temperatura, sendo sua estrutura de aço galvanizado, coberta por

filme de polietileno transparente com uma espessura de 150 micras em camada dupla e inflável. A mesma apresenta sistema de refrigeração parcial, tendo sua parede inferior (fundo da casa de vegetação) uma colméia umidificada e dois ventiladores na parede “inicial” (próxima a porta de entrada).

A casa de vegetação apresenta duas entradas, na qual a primeira entrada é composta por uma ante-câmara também recoberta por filme de polietileno e laterais vedadas com tela lisa de antiáfídeos, onde se encontra o painel eletrônico que permite regular as condições desejadas do interior da casa de vegetação. As portas das entradas são de correr e se constituem de policarbonato com espessura de 10 mm. A área total da casa de vegetação é de aproximadamente 75 m<sup>2</sup>, composta no seu interior por duas bancadas que apresentam 1 metro de altura.

Para tanto, adotou-se o delineamento experimental inteiramente ao acaso com esquema fatorial duplo (2x5), com seis repetições. Sendo que os fatores dos tratamentos foram então compostos pelos dois manejos físicos: com ou sem escarificação do solo e os cinco manejos de fertilizações (tratamentos conduzidos no ambiente de produção a campo) como descrito no item 4.2.

Na Tabela 02, pode-se observar a caracterização química do solo da área experimental no momento em que se realizou a coleta para os preenchimentos dos vasos, em 2015.

TABELA 02 – Características químicas de um argissolo vermelho distroférico (camada 0 – 20 cm) na região do Oeste Paulista no terceiro ano de implantação do sistema de Integração Lavoura – Pecuária submetido a diferentes adubações e escarificação do solo.

	M.O.	pH	P	Sem Escarificação								B	Zn	Cu	Fe	Zn
				K	Ca	Mg	Al <sup>3+</sup>	Al+H	SB	CTC	V%					
	g dm <sup>-3</sup>	CaCl <sub>2</sub>	mg dm <sup>-3</sup>				mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>									
T0 <sup>1</sup>	10,45	4,90	52,49	0,83	9,19	6,18	1,54	25,73	16,37	41,93	39,58	0,28	1,35	35,18	1,43	0,85
T1 <sup>2</sup>	11,75	5,19	21,85	0,50	11,62	6,98	0,75	21,03	19,08	40,08	47,32	0,22	1,20	24,68	1,85	0,73
T2 <sup>3</sup>	11,20	5,52	17,40	1,36	13,28	8,04	0,00	19,02	22,67	41,69	54,14	0,29	1,38	24,25	1,28	0,30
T3 <sup>4</sup>	12,20	5,40	20,64	0,82	13,83	8,02	0,00	19,30	22,63	41,96	53,93	0,20	1,20	21,60	1,58	0,40
T4 <sup>5</sup>	13,65	5,44	24,53	1,79	14,44	9,23	0,00	20,54	25,45	45,98	54,28	0,26	1,40	24,50	2,03	0,68
Com Escarificação																
T0 <sup>1</sup>	13,90	4,99	13,68	0,72	8,37	6,56	0,89	22,40	15,62	38,03	40,48	0,29	1,58	26,45	2,45	0,65
T1 <sup>2</sup>	13,15	5,72	35,15	0,73	17,00	12,59	0,00	17,21	30,31	47,58	61,24	0,22	1,48	19,90	2,53	1,18
T2 <sup>3</sup>	12,70	5,83	29,24	0,68	18,85	10,19	0,00	16,72	29,71	46,41	63,18	0,18	1,73	25,55	2,20	1,70
T3 <sup>4</sup>	10,60	5,21	29,02	0,79	10,68	6,17	0,55	21,39	17,62	39,03	44,79	0,25	1,75	24,33	1,55	0,80
T4 <sup>5</sup>	12,35	5,89	26,44	1,22	18,02	10,53	0,00	16,34	29,79	46,12	62,78	0,29	1,83	22,00	1,95	0,95

<sup>1</sup>T0 = Controle (apenas adubação de plantio da soja); <sup>2</sup>T1 = Calagem; <sup>3</sup>T2 = Calagem + Gesso Agrícola; <sup>4</sup>T3 = Calagem + Gesso Agrícola + NPK e <sup>5</sup>T4 = Calagem + Gesso Agrícola + NPK + Micronutrientes.

### 4.3.1 Semeadura da soja

Após a instalação do experimento em casa de vegetação, realizou-se a semeadura da soja no dia 11 de novembro de 2015, onde foram semeadas 4 sementes vaso<sup>-1</sup> da cultivar de soja RIBER 6813 RR, previamente inoculada com 1 mL de Gelfix 5 para cada 500 gramas de sementes, sendo o inoculante líquido comercial formulado a partir de estirpes de *Bradyrhizobium elkanii*, com concentração de  $5 \times 10^9$  UFC mL<sup>-1</sup>. Após 15 dias do semeio foi realizado o desbaste, permanecendo apenas uma planta em cada vaso. A soja foi conduzida durante 60 dias em casa de vegetação, tendo sido os vasos dispostos sobre bancada a uma altura de 1,0 m do solo; os vasos com a soja foram semanalmente casualizados, permanecendo em condições de irrigação por aspersão periódica, suprimindo a necessidade da cultura, com uma média de 7,5 mm dia<sup>-1</sup> (KUSS, 2006) e níveis controlados de temperatura e umidade, onde as temperaturas médias oscilaram entre 25°C a 27°C e a umidade relativa do ar permaneceu em 75%.

## 4.4 Análises microbiológicas do solo

Durante a coleta do solo da área experimental, foram separadas pequenas amostras do solo que seria acondicionado em cada vaso, as quais foram armazenadas em sacos plásticos e acondicionadas imediatamente dentro de uma caixa térmica, para manutenção de temperatura ambiente, sendo posteriormente utilizadas para a realização das análises microbiológicas do solo, descritas a seguir:

### 4.4.1 Biomassa microbiana

O carbono da biomassa microbiana (Cmic) foi determinado pelo método da irradiação-extração (VANCE; BROOKES; JENKINSON, 1987), com algumas modificações. O solo coletado foi posto em estufa a 30°C por 24 horas e após esse tempo foi peneirado em malha de 2 mm. Em erlenmeyer com capacidade de 125 mL foram pesadas e dispostas 50 gramas de cada amostra, em duplicata. Em ambas foram colocados 3 mL de água destilada e uma das duas amostras foi irradiada em microondas por 70 segundos. Após o processo de irradiação, todas as



amostras, até mesmo as não – irradiadas receberam 50 mL de sulfato de potássio (0,5 mol) e foram agitadas por 30 minutos em mesa agitadora orbital.

Após o processo de agitação, ambas as amostras foram decantadas e filtradas em papéis de filtração lenta, posteriormente retirou-se uma alíquota de 10 mL da amostra filtrada e acrescentou 2 mL de  $K_2Cr_2O_7$  ( $0,066 \text{ mol L}^{-1}$ ); 10 mL de  $H_2SO_4$ ; 5 mL de  $H_3PO_3$  e esperou esfriar. Em seguida foram acrescentadas 3 gotas de solução fenil-alanina e realizou-se a titulação com sulfato ferroso amoniacal (0,04 mol). Para a realização da leitura foram feitas duas amostras branco, contendo todos os reagentes, exceto a amostra extraída do solo.

O carbono da biomassa microbiana foi calculado a partir da seguinte fórmula:

$$C \text{ (mg Kg}^{-1}\text{)} = \frac{(V_b - V_a) \cdot N \cdot 1000 \cdot V_{\text{extrator}}}{\text{(volume do extrato x massa seca do solo)}}$$

Onde:

C = carbono extraído;

$V_b$  = Valor gasto do sulfato ferroso amoniacal (mL) na titulação do branco da amostra;

$V_a$  = Valor gasto do sulfato ferroso amoniacal (mL) na titulação da amostra;

N = 0,677 (normalidade exata do sulfato ferroso amoniacal);

$V_{\text{extrator}}$  = 50 mL (volume de  $K_2SO_4$  utilizado na extração);

$V_{\text{extrato}}$  = 10 mL (volume de  $K_2SO_4$  utilizado para à análise);

Massa seca do solo = 50 g (peso de solo seco utilizado para extração com sulfato de potássio).

O valor do carbono foi calculado tanto para a amostra não irradiada como para a amostra irradiada e então se calculou posteriormente o  $C_{mic}$ , a partir da fórmula a seguir:

$$C_{mic} \text{ (mg Kg}^{-1}\text{)} = \frac{C_I - C_{NI}}{K_{ec}}$$

Onde:

$C_I$  = Carbono da amostra irradiada;

$C_{IN}$  = Carbono da amostra não irradiada;

$K_{ec}$  = coeficiente de carbono extraído após irradiação, onde se adotou 0,21 (FRIGUETTO, 2000), ressalta-se que na literatura esse fator de correção é variável (0,21 a 0,41), não há um consenso a respeito de seu valor.

#### 4.4.2 Quociente metabólico ( $qCO_2$ )

Os valores de quociente metabólico foram definidos a partir da relação entre a respiração e o carbono da biomassa microbiana, conforme proposto por Anderson e Domsch (1993), sendo expresso em  $mg\ C-CO_2\ mg\ C_{mic}^{-1}\ dia^{-1}$ , conforme a fórmula a seguir:

$$qCO_2 = TRM/CBM \text{ e } TRM = RM/d$$

Em que:

TRM = taxa de respiração microbiana ( $mg\ C-CO_2\ kg^{-1}\ dia^{-1}$ );

RM = respiração microbiana ( $mg\ C-CO_2\ Kg^{-1}$ );

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

CBM = carbono da biomassa microbiana ( $mg\ C\ Kg^{-1}$ ).

#### 4.4.3 Quociente microbiano ( $qMic$ )

O  $qMic$  foi calculado de acordo com Sparling (1992), onde utilizou-se a seguinte expressão:

$$qMic = (Cmic)/(CO)/10$$

De tal forma o  $qMIC$  foi expresso em porcentagem (%);  $Cmic$ : carbono da biomassa microbiana ( $mg\ Kg^{-1}$ ) e o  $CO$ : carbono orgânico total ( $g\ Kg^{-1}$ ).

#### 4.4.4 Nitrogênio microbiano (Nmic)

O mesmo extrato utilizado para a determinação do carbono da biomassa microbiana foi utilizado para determinar o Nmic (VANCE; BROOKES; JENKINSON, 1987). Foram utilizados 10 mL do extrato dispostos em tubos de digestão de 100 mL. Em seguida adicionou-se 0,35 g de mistura digestora (composta por 100 g de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 10 g de CuSO<sub>4</sub> e 1 g de selênio metálico) e 2,5 mL de Ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Os tubos foram colocados em um bloco digestor onde a temperatura foi sendo elevada no período de 3 horas até atingir 360°C e após o conteúdo ficar claro, permaneceu por mais duas horas a 360°C em ebulição.

Após o procedimento descrito anteriormente e após o resfriamento das amostras, foram adicionadas 10 mL de água em cada tubo. A destilação do N foi realizada acrescentando 20 mL de NaOH 10 mol L<sup>-1</sup> aos tubos e o destilado foi coletado em 5 mL de ácido bórico a 2%, sendo titulado com HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup>.

O nitrogênio da biomassa microbiana foi calculado pela fórmula abaixo:

$$N_{\text{extrato}} = \frac{[(V_{\text{amostra}} - V_{\text{branco}}) \times N_{\text{padrão}} \times 14 \times 1000 \times V_{\text{extrator}}]}{V_{\text{extrato}} \times \text{MSS}}$$

Em que:

$N_{\text{extrato}}$  = nitrogênio microbiano ( $\mu\text{g g}^{-1}$ );

$V_{\text{amostra}}$  = volume de HCl gasto na amostra (mL);

$V_{\text{branco}}$  = volume de HCl gasto no branco (mL);

$N$  = normalidade padronizada do HCl;

14 = massa do nitrogênio;

1000 = fator para conversão em microgramas;

$V_{\text{extrator}}$  = volume do extrator (L);

$V_{\text{extrato}}$  = volume do extrato (L);

MSS = massa seca do solo (g).

Em seguida calculou-se o Nmic pela equação:

$$N_{\text{mic}} = \frac{N_I - N_{IN}}{K_{EN}}$$

Onde:

$N_I$  = Nitrogênio da amostra irradiada;

$N_{IN}$  = Nitrogênio da amostra não irradiada;

$K_{EN}$  = 0,45 (coeficiente de nitrogênio extraído após irradiação).

#### 4.4.5 Respiração basal do solo

A respiração basal do solo foi avaliada segundo Alef e Nanipieri (1995). Foram pesados 50 g de solo de cada amostra, estas foram mantidas dentro de frascos herméticos. Sobre a superfície do solo dentro de cada frasco foi colocado um becker com capacidade de 50 mL contendo 40 mL de solução de NaOH 0,025 mol L<sup>-1</sup>. Os frascos ficaram incubados pelo período de 48 horas. Para avaliar a retenção de CO<sub>2</sub> na solução, foi utilizado o método condutimétrico (RODELLA; SABOYA, 1999) com leituras de condutividade na solução de NaOH a cada 24 horas, empregando-se um condutivímetro de mesa Modelo O795A7 (Quimis® Aparelhos Científicos Ltda). A quantidade de CO<sub>2</sub> produzida pela respiração foi calculada utilizando-se a fórmula definida por Rodella e Saboya (1999) e os resultados foram expressos em mg C·CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> de solo dia<sup>-1</sup>.

#### 4.4.6 Desidrogenase

Para realização da atividade da enzima desidrogenase, seguiu-se o método descrito por Casida, Klein e Santoro (1964). Foram adicionados 2 mL da solução de TTC (cloreto de 2,3,5 – trifeniltetrazólio) a 1% e 1 mL de glicose a 0,1% em 5 g de solo de cada amostra em tubos de vidro. O solo foi seco por 24 horas em estufa a 30°C e peneirados em peneira de malha 2 mm. Realizou-se uma homogeneização da amostra e dos reagentes nos tubos e prosseguiu para incubação por 18 horas em estufa a 37°C no escuro. Após o tempo estipulado, foram adicionados 9 mL de metanol em cada amostra para ocorrer a extração do TTC reduzido a trifenil formazan (TTF). Realizou-se uma filtragem com papéis filtros e o líquido coletado foi lido em espectrofotômetro a 530 nm. Os resultados foram expressos em µg TTF g<sup>-1</sup> de solo 18 horas<sup>-1</sup>.

#### 4.4.7 Carbono orgânico total (COT)

Foram coletadas quatro amostras de solo de cada tratamento na profundidade de 0 – 20 cm com trado, as quais foram encaminhadas para a realização de análise química de solo, pelo Laboratório de Análises Químicas de Solo da UNOESTE. Os valores de matéria orgânica obtidos foram convertidos em COT através do fator de conversão de van Bemmelen (1,724), com base no pressuposto de que há 58% de C orgânico presente na matéria orgânica. Para o cálculo seguiu a seguinte fórmula:

$$\text{COT (g Kg}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Matéria orgânica}}{1,724}$$

### 4.5 Análises nutricionais da folha

#### 4.5.1 Análise foliar de nitrogênio

Para realização da análise de nitrogênio foliar foram utilizadas folhas das plantas coletadas aos 60 dias, secas em estufa a 60°C até atingirem peso constante. As mesmas foram moídas em moinho, tipo Wiley, passando por peneira de 20 mesh. Em seguida as amostras passaram por digestão sulfúrica e prosseguiram para a determinação do nitrogênio segundo a metodologia de Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). A quantidade de nitrogênio foliar foi expressa em: g Kg<sup>-1</sup>.

#### 4.5.2 Teor relativo de clorofila (TRC)

O teor relativo de clorofila foi obtido utilizando um medidor portátil SPAD modelo CFL1030 (Falker Automação Agrícola). Foram realizadas três leituras no decorrer da condução do experimento, a primeira no estágio de transição V3 – V4; a segunda no estágio R1 (início do florescimento) e a terceira no dia da coleta das plantas (estádio R3).

Para realizar a mensuração do teor de clorofila foram considerados os valores médios obtidos a partir dos teores das 3 (três) folhas de um trifólio,

expandido e fotossinteticamente ativo, das plantas de todas as seis repetições de cada tratamento.

#### **4.6 Análises biométricas e contagem de nódulos**

As plantas foram retiradas dos vasos no dia 11 de janeiro de 2016, após 60 dias de crescimento. No dia da coleta as folhas de cada planta foram retiradas uma a uma para realizar a mensuração da área foliar ( $AF = \text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$ ), para tal procedimento foi utilizado um integrador Modelo 300C (Li-cor®). Em seguida as folhas, juntamente com seus respectivos ramos, foram dispostas em sacos de papéis. As raízes foram lavadas em água corrente, retirando-se os nódulos para a realização da contagem, sendo então avaliada a nodulação ( $n^{\circ} \text{ de nódulos planta}^{-1}$ ). Posteriormente a parte radicular também foi acondicionada em sacos de papéis.

As raízes e as partes aéreas foram secas em estufa de ar forçado a  $60^{\circ}\text{C}$  até atingirem peso constante. Após a secagem foram avaliadas as massas secas da parte aérea e da raiz, a pesagem das amostras foi realizada com o auxílio de uma balança analítica de precisão (BEL Engineering) e os valores expressos em g de MSPA e/ou MSR  $\text{planta}^{-1}$ .

#### **4.7 Análises bioquímicas**

Para que fossem realizadas às análises bioquímicas na soja se coletou o trifólio mais desenvolvido (fotossinteticamente ativo) de cada planta de todas as repetições dos tratamentos. No momento da coleta as folhas foram armazenadas em saquinhos plásticos e dispostas imediatamente em nitrogênio líquido, sendo levadas para freezer  $-80^{\circ}\text{C}$ . A coleta das folhas foi realizada no estágio de desenvolvimento vegetativo V3 – V4, onde se sugere que há um aumento das atividades fisiológicas na planta, já que as reservas que poderiam existir para o início de seu desenvolvimento já foram esgotadas.

Foram conduzidas as seguintes análises a partir dessas coletas:

#### 4.7.1 Malondialdeído (MDA)

A atividade de peroxidação de lipídeos foi quantificada pela determinação da concentração de Malondialdeído (MDA), segundo metodologia de Heath e Packer (1968). Portanto, 100 mg de tecidos foliares sem a nervura central, de cada repetição de ambos os tratamentos, foram maceradas em almofariz e homogeneizados em solução 80:20 (etanol:água) com 3 mL de volume final, seguindo para centrifugação a 3.000 g (gravidade) por 10 minutos. Em seguida, 1 mL do extrato foi aliquotado em tubo de microcentrifuga de 15 mL e homogeneizado em 1 mL de solução de TCA 20% (ácido tricloroacético) e 0,65% de TBA (ácido tiobarbitúrico). As amostras foram então misturadas vigorosamente e incubadas a 100°C por 25 minutos e posteriormente transferidas para gelo e centrifugadas novamente a 3.000 g por 10 minutos. Dados os procedimentos foi coletado o sobrenadante para realização da leitura em espectrofotômetro. As absorvâncias foram lidas nos comprimentos de onda de 532 nm e 600 nm, e a concentração do complexo de MDA foi calculada pela seguinte fórmula:

$$\text{Equivalentes de MDA (nmol.mL}^{-1}\text{)} = [(A_{532} - A_{600}) / 155000] \times 10^6$$

Onde,  $A_{532}$  indica a absorvância máxima do complexo MDA-TBA a 532 nm,  $A_{600}$  é a absorvância a 600 nm, que corrige interferentes não-específicos e 155000 é o coeficiente de extinção molar para o MDA.

O ensaio foi realizado em triplicata e os valores foram expressos em nanomol de MDA por grama de massa fresca ( $\text{nmol g}^{-1}$  de MF).

#### 4.7.2 Fenóis Totais

A determinação do teor de fenóis totais foi realizada a partir de extratos dos vegetais por meio de espectroscopia na região visível, utilizando o método de Folin – Ciocalteu, segundo a metodologia descrita por Jayaprakasha, Singh e Sakariah (2001).

As folhas foram secas, maceradas e lavadas três vezes com álcool 70° (25 g da amostra em 250 mL de álcool 70°), o extrato coletado foi seco em estufa a 38°C até evaporação total do álcool, restando apenas uma borra (extrato seco).

Após a obtenção do extrato, seguiu-se a metodologia de Folin – Ciocalteu. Preparou-se uma solução padrão de ácido gálico, onde foram dissolvidos 0,01 g de ácido gálico em 10 mL de etanol (98°), chegando à concentração de 1,0 mg mL<sup>-1</sup>. A partir da solução padrão foi elaborada a solução de trabalho, na concentração de 0,1mg mL<sup>-1</sup>, onde esta foi diluída em etanol 70°. A Solução de Folin – Ciocalteu foi preparada a 10% (5 mL de Folin em 45 mL de água) e por fim houve o preparo da solução de carbonato de sódio a 7,5%.

Após o preparo das soluções foi elaborada uma curva padrão com concentrações de 5, 10, 20, 30, 40, 50 e 70 µg mL<sup>-1</sup> de ácido gálico, no qual foi adicionado Folin e a solução de carbonato de sódio preparadas anteriormente. Para as amostras, 10 mg do extrato seco foi pesado e diluído em 10 mL de etanol (70°). Para a leitura também foram adicionadas as soluções de Folin e de carbonato de sódio, sendo feita uma amostra “branco”, isenta do extrato vegetal. As leituras foram realizadas por espectrofotometria a 735 nm.

Os resultados finais das concentrações de fenóis totais nas amostras foram calculados em função da curva padrão, onde se traçou a linha de tendência para encontrar os coeficientes, fazendo uso da fórmula a seguir:

$$X (\mu\text{g mL}^{-1}) = [(y-a)/b]$$

Onde: a= coeficiente linear da reta; b = coeficiente angular da reta; y= absorvância da amostra e X= concentração final de fenóis totais.

#### 4.7.3 Peroxidase

Para avaliação da peroxidase utilizou partes de tecidos foliares de cada amostra (100 mg planta<sup>-1</sup>), as folhas foram maceradas em nitrogênio líquido e a extração protéica foi realizada por meio de um tampão fosfato 50 Molar, em pH 6,0. Em seguida, o macerado foi centrifugado a 2.000 g por 25 minutos e o sobrenadante (extrato protéico) foi utilizado para a realização da análise. A atividade da peroxidase foi determinada segundo a metodologia de Souza (1997) com algumas modificações, onde se utilizou solução de Tampão Fosfato contendo guaiacol e hidróxido de sódio como substrato. A leitura foi realizada imediatamente em espectrofotômetro a 470 nm e após 01 minuto repetiu a leitura da mesma amostra.



Os valores foram expressos em Unidade Enzimática (UE 100 mg<sup>-1</sup> de tecido foliar min<sup>-1</sup>).

#### **4.8 Análise estatística**

Para realização da análise estatística fez-se uso do programa Assistat 7.7 Beta (SILVA, 2014). Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo Teste de Tukey, em comparação de médias, ao nível de 5% de probabilidade objetivando avaliar as diferenças estatísticas entre os diferentes sistemas em função dos fatores: escarificação e adubações.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Efeitos da escarificação do solo, da calagem e de adubações sobre os atributos microbiológicos do solo

A escarificação do solo, mesmo após o segundo ano experimental de sua realização reduziu o estoque de carbono imobilizado na biomassa microbiana no solo, considerando-se a média de todos os tratamentos (Tabela 03). O sistema sem escarificação e apenas com calagem incrementou em 60% o carbono microbiano em relação ao solo escarificado e com a mesma adubação. Tais resultados estão de acordo com relatos encontrados em literatura, nas quais os autores descreveram que o solo sob plantio direto, sem qualquer tipo de mobilização, proporciona maiores estoques de carbono microbiano (AZEVEDO et al., 2007; LEITE et al., 2010). Neste mesmo propósito, Aquino (2007) também relatou que as mudanças no ambiente devido aos manejos começam a se estabelecer a partir do segundo ano experimental, sendo a biomassa microbiana um dos indicadores pioneiros a reportarem o novo comportamento microbiano do solo.

Observa-se também que os tratamentos controle e os que receberam micronutrientes foram responsáveis por baixos valores de carbono da biomassa microbiana, comparando-se aos outros tratamentos conduzidos (Tabela 03).

TABELA 03 – Carbono da biomassa microbiana, no terceiro ano experimental após a implantação do sistema de ILP com diferentes manejos físicos e químicos do solo. Presidente Bernardes – SP (2015).

Adubações	Escarificação		Médias
	Sem	Com	
mg C Kg <sup>-1</sup> de solo			
Controle <sup>1</sup>	67,60 cA	62,04 cA	64,82 b
Calagem <sup>2</sup>	147,13 aA	88,25 bB	117,69 a
Calagem + Gesso Agrícola <sup>2</sup>	128,04 abA	113,41 aA	120,72 a
Cal. + Ges. + NPK <sup>2</sup>	106,66 bA	120,50 aA	113,58 a
Cal.+ Ges. +NPK + Micros <sup>2</sup>	35,82 dA	43,28 cA	39,55 c
Médias	97,05 A	85,49 B	

<sup>1</sup>Apenas com adubação de plantio da cultura anual; <sup>2</sup> Com adubação de plantio da cultura anual mais as respectivas adubações minerais descritas; Letras maiúsculas são referentes aos valores das linhas e letras minúsculas aos valores das colunas. Letras iguais não se diferem ao Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O tratamento controle (escarificação) e com micronutrientes (sem escarificação) apresentaram valores elevados de respiração basal comparando com os demais manejos químicos dentro desses sistemas (Tabela 04). Este fato ocasionou perda de carbono acentuado para a atmosfera, detectado pela redução do estoque de C na biomassa microbiana no solo em ambos os tratamentos enfatizados (Tabela 03).

Nota-se também que ocorreu uma interação entre os fatores, demonstrando que os ambientes sem escarificação nos tratamentos calagem e calagem + gesso agrícola proporcionaram maiores valores de respiração basal em relação ao solo que recebeu as mesmas correções e, no entanto, foi escarificado no primeiro ano experimental. Assim como o tratamento controle da área sem escarificação que apresentou valor inferior ao controle escarificado (Tabela 04).

Quando nos referimos à respiração basal, os valores maiores de liberação de C-CO<sub>2</sub> são resultantes da alta atividade microbiana do solo, que pode ser relacionada com a quantidade de carbono lábil disponível (FOLLET; SCHIMEL, 1989). Porém, deve-se levar em consideração que os ambientes que proporcionam valores altos de respiração da biomassa microbiana, ao se prolongarem acarretam decréscimo de carbono do solo para a atmosfera (NASCIMENTO et al., 2009; PARKIN et al., 1996).

TABELA 04 – Respiração basal do solo, no terceiro ano experimental após a implantação do sistema de ILP com diferentes manejos físicos e químicos do solo. Presidente Bernardes – SP (2015).

Adubações	Escarificação		Médias
	Sem	Com	
	mg de C-CO <sub>2</sub> g <sup>-1</sup> solo h <sup>-1</sup>		
Controle <sup>1</sup>	2,87 bB	6,68 aA	4,78 ab
Calagem <sup>2</sup>	4,36 aA	3,10 bB	3,77 b
Calagem + Gesso Agrícola <sup>2</sup>	5,09 aA	3,08 bB	4,08 ab
Cal. + Ges. + NPK <sup>2</sup>	4,26 abA	5,40 aA	4,83 a
Cal.+ Ges. +NPK + Micros <sup>2</sup>	3,74 abA	3,76 bA	3,75 c
Médias	4,06 A	4,42 A	

<sup>1</sup>Apenas com adubação de plantio da cultura anual; <sup>2</sup> Com adubação de plantio da cultura anual mais as respectivas adubações minerais descritas; Letras maiúsculas são referentes aos valores das linhas e letras minúsculas aos valores das colunas. Letras iguais não se diferem ao Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Todavia, a respiração basal do solo não deve ser interpretada isoladamente, mas sim em conjunto com o quociente metabólico, já que a partir do

qCO<sub>2</sub> é possível estimar a eficiência da biomassa microbiana em relação ao carbono imobilizado ou desmineralizado pelos microrganismos, isto é, maiores valores de qCO<sub>2</sub> sugerem que há maior oxidação de carbono das células microbianas, retratando ambientes submetidos a condições estressantes (ANDERSON; DOMSCH, 1993; ISLAM; WEIL, 2000), enquanto que menores perdas de C-CO<sub>2</sub> pela biomassa microbiana é indicativo de que há maior quantidade de carbono sendo assimilado no sistema, isto é, a redução do valor de qCO<sub>2</sub> indica ambientes mais estáveis (CUNHA et al., 2011).

Diante do exposto, a realização da escarificação teve seus efeitos prolongados e observados no terceiro ano experimental após sua realização, elevando os níveis de qCO<sub>2</sub> nas áreas agrícolas em questão. A partir dos valores obtidos de qCO<sub>2</sub> é notório a maior eficiência quanto ao uso do carbono pela biomassa microbiana nos tratamentos controle (apenas área sem escarificação), calagem, calagem + gesso agrícola e calagem + gesso agrícola + NPK, os quais apresentaram menores valores de qCO<sub>2</sub> (Tabela 05).

Nota-se ainda que ocorreu uma interação significativa, a qual demonstrou que a não escarificação do solo, reduziu o qCO<sub>2</sub> do solo no terceiro ano experimental nos tratamentos controle e calagem + gesso agrícola + NPK, quando comparados aos mesmos tratamentos químicos que tiveram o solo escarificado no passado (Tabela 05).

Mercante et al. (2004), ao avaliarem a eficiência microbiana de um solo sob sistema de integração lavoura – pecuária, relataram que onde não ocorreu interferência física do solo o sistema conduziu para um ambiente mais estabilizado. Ambiente microbiano estável apresenta uma disponibilização gradual do carbono para o sistema, ou seja, o estoque de carbono torna-se maior por ser utilizado apenas quando necessário para manutenção da atividade microbiana basal.

TABELA 05 – Quociente metabólico, no terceiro ano experimental após a implantação do sistema de ILP com diferentes manejos físicos e químicos do solo. Presidente Bernardes – SP (2015).

Adubações	Escarificação		Médias
	Sem	Com	
	mg de C-CO <sub>2</sub> Kg <sup>-1</sup> CO <sub>2</sub> dia <sup>-1</sup>		
Controle <sup>1</sup>	0,068 bB	0,215 aA	0,141 b
Calagem <sup>2</sup>	0,056 bA	0,061 dA	0,058 d
Calagem + Gesso Agrícola <sup>2</sup>	0,063 bA	0,032 eB	0,048 d
Cal. + Ges. + NPK <sup>2</sup>	0,074 bB	0,107 cA	0,091 c
Cal.+ Ges. +NPK + Micros <sup>2</sup>	0,245 aA	0,149 bB	0,197 a
Médias	0,101 B	0,113 A	

<sup>1</sup>Apenas com adubação de plantio da cultura anual; <sup>2</sup> Com adubação de plantio da cultura anual mais as respectivas adubações minerais descritas; Letras maiúsculas são referentes aos valores das linhas e letras minúsculas aos valores das colunas. Letras iguais não se diferem ao Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Em relação aos valores de carbono orgânico total (COT) no terceiro ano experimental após a realização dos manejos de adubações e escarificação do solo, não foram encontradas diferenças significativas (Tabela 06). Resultado este que corrobora com o de Souza et al. (2008), os autores não observaram em sistema de integração lavoura – pecuária, durante seis anos consecutivos de rotação entre pastagem e soja, alterações nos níveis de COT no solo. Moreira (2016), em um trabalho de dois anos também não encontrou diferenças significativas nos teores de carbono orgânico total em solo arenoso, no entanto constatou uma tendência de maiores teores de carbono (5,2 kg ha<sup>-1</sup>) em áreas sob o cultivo de *Urochloa*.

Referindo-se ao quociente microbiano (qMic) como o potencial da presença microbiana na matéria orgânica total do solo, os tratamentos controles e que receberam micronutrientes apresentaram os menores valores (Tabela 06). Os menores valores detectados foram cerca de 4,7 vezes inferiores ao qMic do solo com calagem sem escarificação. Ressalta-se que o qMic pode sofrer variações entre 1 e 4 %, onde valores inferiores a 1% sugerem que há limitação de atividade microbiana no solo (JAKELAITIS et al., 2008). Valores ideais em solos cultivados devem apresentar em média 2% de qMic (JENKINSON; LADD, 1981). Portanto, baseando-se nesse índice podemos indicar o sistema sem escarificação com calagem (2,15%) e calagem + gesso agrícola (1,97%), com os valores mais adequados para o sistema de produção avaliado nesse estudo.

TABELA 06 – Carbono orgânico total (COT) e quociente (qMic) no terceiro ano experimental após a implantação do sistema de ILP com diferentes manejos físicos e químicos do solo. Presidente Bernardes – SP (2015).

Adubações	Escarificação		Médias
	Sem	Com	
--- COT (g Kg <sup>-1</sup> ) ---			
Controle <sup>1</sup>	6,92 aA	8,35 aA	7,63 a
Calagem <sup>2</sup>	8,20 aA	8,56 aA	8,38 a
Calagem + Gesso Agrícola <sup>2</sup>	7,43 aA	8,27 aA	7,85 a
Cal. + Ges. + NPK <sup>2</sup>	7,97 aA	6,35aA	7,16 a
Cal.+ Ges. +NPK + Micros <sup>2</sup>	8,98 aA	7,65 aA	8,31 a
Médias	7,89 A	7,83A	
--- qMic (%) ---			
Controle <sup>1</sup>	1,11 cA	0,77dB	0,94 b
Calagem <sup>2</sup>	2,15 aA	1,15 cB	1,64 a
Calagem + Gesso Agrícola <sup>2</sup>	1,97 aA	1,54 bB	1,75 a
Cal. + Ges. + NPK <sup>2</sup>	1,51 bB	1,96 aA	1,73 a
Cal.+ Ges. +NPK + Micros <sup>2</sup>	0,45 dA	0,60 dA	0,53 c
Médias	1,44 A	1,20 B	

\*Valor de COT apenas como referência da análise de caracterização da área no início da implantação do projeto (2013);<sup>1</sup>Apenas com adubação de plantio da cultura anual; <sup>2</sup> Com adubação de plantio da cultura anual mais as respectivas adubações minerais descritas; Letras maiúsculas são referentes aos valores das linhas e letras minúsculas aos valores das colunas. Letras iguais não se diferem ao Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Na avaliação da atividade enzimática (desidrogenase), observou-se que ocorreram interações significativas entre os valores dos tratamentos que tiveram o solo escarificado e diferenças estatísticas de acordo com o fornecimento de adubos no solo (Tabela 07), sendo que a média demonstrou menor atividade enzimática no solo escarificado, indicando que houve um efeito decorrente da degradação da matéria orgânica devido ao manejo imposto na área, sendo detectado mesmo após longo prazo das implantações dos tratamentos.

Observa-se na Tabela 07 que, o tratamento controle da área sem escarificação apresentou menor atividade enzimática (13,7 µg TTF g<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>) em relação ao controle do sistema escarificado (17,1 µg TTF g<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>), resultados esses que se relacionam com as altas taxas respiratórias encontradas nesses tratamentos (Tabela 04).

Longo, Ribeiro e Melo (2011), relataram que a atividade da enzima desidrogenase se elevou no decorrer do tempo em áreas com plantio de

leguminosas, como o caso do presente trabalho. Em experimentos com distintas fontes de fertilizantes, Goyal et al. (1992), salientaram que o aumento da atividade da enzima desidrogenase está condicionada pela adição de fertilizantes ofertados no solo.

TABELA 07 – Atividade da enzima desidrogenase através da extração de TTC reduzido a TTF (trifenilformazan) em solo sob sistema de Integração Lavoura – Pecuária em razão de diferentes manejos. Presidente Bernardes – SP (2015).

Adubações	Escarificação		Médias
	Sem	Com	
	$\mu\text{g TTF g}^{-1} \text{h}^{-1}$		
Controle <sup>1</sup>	13,7cB	17,1aA	15,4 a
Calagem <sup>2</sup>	16,9bA	16,9aA	16,9 a
Calagem + Gesso Agrícola <sup>2</sup>	21,8aA	9,1 bB	15,5 a
Cal. + Ges. + NPK <sup>2</sup>	8,5 dB	15,8aA	12,2 b
Cal.+ Ges. +NPK + Micros <sup>2</sup>	18,8abA	14,7aB	16,7 a
Médias	15,9 A	14,7 B	

<sup>1</sup>Apenas com adubação de plantio da cultura anual; <sup>2</sup> Com adubação de plantio da cultura anual mais as respectivas adubações minerais descritas; Letras maiúsculas são referentes aos valores das linhas e letras minúsculas aos valores das colunas. Letras iguais não se diferem ao Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Com relação à concentração de nitrogênio microbiano no solo (Nmic) foram observadas interações entre os fatores (manejos) impostos no primeiro ano experimental a campo (Tabela 08).

Destaca-se que no terceiro ano experimental, o sistema de produção sem escarificação com calagem, resultou em maior imobilização de nitrogênio pelos microrganismos (2,11 mg de N Kg<sup>-1</sup> de solo) quando comparado ao tratamento com a mesma adubação da área escarificada, assim como sobre os demais manejos químicos da área que não recebeu escarificação (Tabela 08). Ressalta-se que, o tratamento controle e calagem + gesso agrícola na área com escarificação apresentou maior imobilização de Nmic em relação aos tratamentos que não tiveram o solo mobilizado.

Rambo et al. (2015) relataram que os maiores valores de Nmic no solo em áreas sem perturbações são consequências de maiores aportes de restos culturais nas primeiras camadas do solo, promovendo aumentos na disponibilidade de nutrientes e gerando maior fonte de energia para a comunidade microbiana.

De acordo com os autores Perez, Ramos e Mcmanus (2005), o cultivo de soja em áreas agrícolas associadas com manejos físicos contribui para aumentos

de até 13% dos valores de Nmic, assim como áreas com *Urochloa*, afirmação esta de Rambo et al. (2015). Moreira (2016) concluiu que a rotação entre forrageira e leguminosa se mostra promissora em região tropical, contribuindo para imobilizações de Nmic ao mesmo nível de quando se aplicam doses elevadas de N mineral em solo arenoso, valores estes que foram obtidos pela autora no segundo ano experimental.

TABELA 08 – Nitrogênio microbiano (Nmic) do solo após dessecação de *U. brizantha* para o plantio da soja em razão de diferentes manejos. Presidente Bernardes – SP (2015).

Adubações	Escarificação		Médias
	Sem	Com	
	mg de N Kg <sup>-1</sup>		
Controle <sup>1</sup>	0,52 cB	1,71 abA	1,12 c
Calagem <sup>2</sup>	2,11 aA	1,58 bB	1,85 a
Calagem + Gesso Agrícola <sup>2</sup>	0,78 bcB	2,24 aA	1,51 ab
Cal. + Ges. + NPK <sup>2</sup>	1,05 bcA	1,31 bcA	1,18 bc
Cal.+ Ges. +NPK + Micros <sup>2</sup>	1,31 bA	0,78 cB	1,05 c
Médias	1,16 B	1,52 A	

<sup>1</sup>Apenas com adubação de plantio da cultura anual; <sup>2</sup> Com adubação de plantio da cultura anual mais as respectivas adubações minerais descritas; Letras maiúsculas são referentes aos valores das linhas e letras minúsculas aos valores das colunas. Letras iguais não se diferem ao Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

## 5.2 Avaliação da nodulação, atividades bioquímicas e desenvolvimento da soja cultivada em solo amostrado dos tratamentos a campo, em condições de casa de vegetação

Houve maior nodulação da soja nos tratamentos controles e calagem + gesso agrícola, na média em comparação aos tratamentos que receberam as demais adubações na implantação do experimento (Tabela 9). Os sistemas que receberam fontes de adubação nitrogenada (no passado) podem ter interferido na comunidade rizobiana nestes solos o que podem ter influenciado na diminuição da quantidade de nódulos na soja. Segundo Libório, Bárbaro e De Nobile (2015) apenas a inoculação padrão com *Bradyrhizobium* spp. via sementes, na ausência de formulação de adubo contendo nitrogênio, se mostra, até hoje, como a forma mais eficiente para nodulação em soja.

Estudos já detectaram que ocorre aumento da nodulação e do nitrogênio total em leguminosas que são cultivadas em áreas com gramíneas



(HUNGRIA et al., 1997). No entanto, Fontanelli et al. (2000) avaliaram a nodulação da soja em quatro épocas e constataram que a partir do quinto ano a nodulação da soja se tornou abundante independente do tipo de cultura que a antecedia. De tal forma, os autores sugeriram que no decorrer do tempo há uma naturalização da população de *Bradyrhizobium*, em números e em eficiência na comunidade microbiológica do solo em sistemas que proporcionam condições favoráveis à fixação biológica.

Sendo assim, os sistemas agrícolas que proporcionaram maiores nodulações na soja são considerados ambientes que contribuíram para que ocorresse maior persistência nas comunidades rizobianas, ao contrário do que ocorreu nos sistemas que influenciaram menor nodulação, que indicam alguma perturbação sobre essas comunidades.

TABELA 09 – Nodulação da soja conduzida em vasos em casa de vegetação sobre o solo coletado dos diferentes tratamentos implantados a campo em 2013. Presidente Prudente – SP (2016).

Adubações	Escarificação		Médias
	Sem	Com	
	nº de nódulos planta <sup>-1</sup>		
Controle <sup>1</sup>	132,5 aA	117,17 abA	124,83 a
Calagem <sup>2</sup>	95,83 bcA	97,83 abA	96,83 bc
Calagem + Gesso Agrícola <sup>2</sup>	114,17 abA	123,66 aA	118,92 ab
Cal. + Ges. + NPK <sup>2</sup>	87,17 bcA	86,17 bA	86,67 c
Cal.+ Ges. +NPK + Micros <sup>2</sup>	77,17 cB	114,33 abA	95,75 bc
Médias	101,37 A	107,83 A	

<sup>1</sup>Apenas com adubação de plantio da cultura anual; <sup>2</sup> Com adubação de plantio da cultura anual mais as respectivas adubações minerais descritas; Letras maiúsculas são referentes aos valores das linhas e letras minúsculas aos valores das colunas. Letras iguais não se diferem ao Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Pode ser verificada a interação entre os fatores em estudos sobre a quantidade de fenóis totais nas plantas, exceto no tratamento calagem + gesso agrícola + NPK, na qual não houve diferenças devido ao manejo físico do solo, sendo que na média geral a escarificação do solo conduziu para que as plantas apresentassem maior acúmulo de compostos fenólicos em suas folhas (Tabela 10).

A soja cultivada no solo onde foi realizada a escarificação, apresentou maior acúmulo de fenóis totais no tratamento apenas com calagem + gesso agrícola. Também pode ser observado que os tratamentos que receberam todas as fontes de

adubos (Calagem + Gesso agrícola + NPK + Micros) conduziram para os menores valores de fenóis totais nas plantas (Tabela 10).

A influência dos fertilizantes do solo sobre a quantidade de fenóis totais em plantas foi relatada por Cerdeira (2010), a autora afirmou que 99% da produção de fenóis nas folhas das plantas são em detrimento da oferta nutricional adequada. Leite et al. (2012), afirmaram que pode ocorrer maiores produções de fenóis em plantas quando se tem menor oferta de nutrientes. Deficiências em nitrogênio mineral resultam em maiores quantidades de fenóis, desde que exista uma relação antagônica entre o fornecimento de nitrogênio mineral e uma menor síntese de metabólitos derivados da via do ácido chiquímico. A mesma correlação seria válida para solos onde a oferta adequada de micronutrientes, especialmente o boro, resulta em menores valores de compostos fenólicos nas plantas (GERSHENZON, 1984; COLEY; BRYANT; CHAPIN, 1985; PRINCE, 1989; PEIXOTO; PIMENTA; CAMBRAIA, 2007).

No entanto, os maiores valores de fenóis totais encontrados nas folhas de soja neste trabalho não indicam estresse oxidativo, pois estão próximos aos valores encontrados por Mello, Friguetto e Valarini (2009), que relataram acúmulo de fenóis totais de até 42  $\mu\text{g mL}^{-1}$  em trifólios de soja conduzida sob condições ambientais consideradas normais ao desenvolvimento vegetal e as plantas foram inoculadas apenas com *Bradyrhizobium* spp., inferindo que a melhor eficiência da fixação biológica pode ocasionar maiores valores de fenóis totais nas plantas e não precisamente estresse.

TABELA 10 – Fenóis totais dos extratos alcoólicos obtidos da massa seca das folhas de soja (*Glycine max*) em razão do cultivo em solo com diferentes manejos. Presidente Prudente – SP (2016).

Adubações	Escarificação		Médias
	Sem	Com	
	$\mu\text{g mL}^{-1}$		
Controle <sup>1</sup>	34,22 bB	41,75 bA	37,98 b
Calagem <sup>2</sup>	35,66 aA	33,69 dB	34,68 d
Calagem + Gesso Agrícola <sup>2</sup>	32,67 cB	46,55 aA	39,61 a
Cal. + Ges. + NPK <sup>2</sup>	35,14 abA	37,86 cA	36,50 c
Cal.+ Ges. +NPK + Micros <sup>2</sup>	28,33 dB	36,75 cA	32,54 e
Médias	33,20 B	39,32 A	

<sup>1</sup>Apenas com adubação de plantio da cultura anual; <sup>2</sup> Com adubação de plantio da cultura anual mais as respectivas adubações minerais descritas; Letras maiúsculas são referentes aos valores das linhas e letras minúsculas aos valores das colunas. Letras iguais não se diferem ao Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O tratamento apenas com calagem na área escarificada diminuiu a atividade da enzima peroxidase na soja, no terceiro ano experimental, em relação as plantas da área sem escarificação com a mesma correção do solo (Tabela 11).

A atividade da peroxidase também mostrou que os solos originários de áreas escarificadas induziram as plantas aos maiores valores dessa atividade enzimática na média geral (Tabela 11). A soja cultivada em amostras de solo provenientes de área remanescente de adubação com NPK e micronutrientes apresentou os menores valores de atividade da peroxidase.

Campos et al. (2004), afirmaram que pode ocorrer uma relação positiva entre a quantidade de fenóis e a atividade de peroxidases em leguminosas. Dentre as enzimas antioxidantes, as peroxidases de fenóis, são bem reportadas ao reduzirem os compostos fenólicos e formarem barreiras de resistência no vegetal (SHIGEOKA et al. 2002; CAVALCANTI et al., 2007).

TABELA 11 – Atividade da enzima peroxidase em tecido foliar de soja cultivada sob diferentes manejos do solo. Presidente Prudente – SP (2016).

Adubações	Escarificação		Médias
	Sem	Com	
	UE min <sup>-1</sup> 100 mg <sup>-1</sup> tecido foliar		
Controle <sup>1</sup>	0,074 aB	0,113 aA	0,093 a
Calagem <sup>2</sup>	0,085 aA	0,063 bB	0,074 b
Calagem + Gesso Agrícola <sup>2</sup>	0,085 aA	0,073 bA	0,079 ab
Cal. + Ges. + NPK <sup>2</sup>	0,040 bB	0,068 bA	0,054 c
Cal.+ Ges. +NPK + Micros <sup>2</sup>	0,041 bA	0,048 bA	0,048 c
Médias	0,065 B	0,074 A	

<sup>1</sup>Apenas com adubação de plantio da cultura anual; <sup>2</sup> Com adubação de plantio da cultura anual mais as respectivas adubações minerais descritas; Letras maiúsculas são referentes aos valores das colunas e letras minúsculas aos valores das linhas. Letras iguais não se diferem ao Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A ausência de escarificação no tratamento controle e também as correções com calagem e calagem + gesso agrícola influenciaram para aumento do teor de malondialdeído (MDA) nas plantas cultivadas nesses solos (Tabela 12). Estudos têm mostrado que a peroxidação lipídica determinada a partir do teor de MDA em plantas são relacionados principalmente com estresses salinos e hídricos (ANDRADE, 2013; DEUNER et al., 2011). Andrade (2013) ao avaliar estresse oxidativo em folhas, obteve valor de até 4 µmol de MDA g<sup>-1</sup> MF em soja cultivada sob tratamento controle, ou seja, sem condições estressantes. Assim, os valores encontrados nesse estudo que foram inferiores a 2 µmol de MDA g<sup>-1</sup> MF

demonstram que não houve nenhum fator limitante ocasionando estresse oxidativo na soja, pois os valores extraídos foram inferiores até mesmo ao valor encontrado em literatura em condições normais de desenvolvimento das plantas (Tabela 12).

Os sistemas enzimáticos têm como cofatores alguns antioxidantes, tais como os compostos fenólicos (BLOKHINA; VIROLAINEN; FAGERSTEDT, 2003), os quais quando em equilíbrio, ou seja, condições fisiológicas normais, atuam contra a peroxidação lipídica – MDA (MITTLER, 2011). Segundo Hernandez, Garcia e Vivancos (2010) as plantas quando elevam a atividade dos sistemas antioxidantes acabam por se tornarem mais resistentes aos danos oxidativos e apresentam respostas de defesas mais rápidas.

TABELA 12 – Peroxidação lipídica reportada a partir do conteúdo de malondialdeído (MDA) presente em folhas de soja, em consequência de diferentes manejos. Presidente Prudente – SP (2016).

Adubações	Escarificação		Médias
	Sem	Com	
	μmol de MDA g <sup>-1</sup> de MF		
Controle <sup>1</sup>	1,79 aA	1,03 abB	1,41 a
Calagem <sup>2</sup>	1,24 bA	0,99 bA	1,11 ab
Calagem + Gesso Agrícola <sup>2</sup>	1,38 abA	1,22 abA	1,30 ab
Cal. + Ges. + NPK <sup>2</sup>	1,10 bA	0,95 bA	1,03 b
Cal.+ Ges. +NPK + Micros <sup>2</sup>	1,22 bA	1,50 aA	1,36 ab
Médias	1,34 A	1,14 B	

<sup>1</sup>Apenas com adubação de plantio da cultura anual; <sup>2</sup> Com adubação de plantio da cultura anual mais as respectivas adubações minerais descritas; Letras maiúsculas são referentes aos valores das linhas e letras minúsculas aos valores das colunas. Letras iguais não se diferem ao Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os índices relativos de clorofila (IRC) foram influenciados apenas em função do manejo físico do solo realizado anteriormente a campo, onde ocorreu aumento do IRC em função da não escarificação apenas na soja em estágio vegetativo, V3 – V4, nos tratamentos de correções com calagem e calagem + gesso agrícola (Tabela 13). Barbosa Filho et al. (2008) sugeriram que a partir do estágio vegetativo as leguminosas tendem a responder menos as análises de IRC, já que os teores de nitrogênio tendem a se estabilizar nas fases reprodutivas.

TABELA 13 – Índice Relativo de Clorofila em estágio vegetativo (V3 – V4) da soja conduzida em casa de vegetação em razão de diferentes manejos do solo realizados anteriormente a campo. Presidente Prudente – SP (2016).

Adubações	Escarificação		Médias
	Sem	Com	
	Unidades de SPAD		
Controle <sup>1</sup>	10,95 aA	10,82 aA	10,88 a
Calagem <sup>2</sup>	12,32 aA	9,93 aB	11,12 a
Calagem + Gesso Agrícola <sup>2</sup>	12,00 aA	9,93 aB	10,97 a
Cal. + Ges. + NPK <sup>2</sup>	11,25 aA	11,47 aA	11,36 a
Cal.+ Ges. +NPK + Micros <sup>2</sup>	10,74 aA	11,09 aA	10,92 a
Médias	11,45 A	10,66 B	

<sup>1</sup>Apenas com adubação de plantio da cultura anual; <sup>2</sup> Com adubação de plantio da cultura anual mais as respectivas adubações minerais descritas; Letras maiúsculas são referentes aos valores das linhas e letras minúsculas aos valores das colunas. Letras iguais não se diferem ao Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Quanto à análise de N foliar da soja, observam-se nas médias das adubações, maiores valores de nitrogênio nas plantas cultivadas no solo originário dos tratamentos controle e com calagem (Tabela 14). Os maiores teores de N foliar encontrados nesses tratamentos são explicados em parte pela melhor nodulação também encontradas nessas plantas (Tabela 09), pois de acordo com Alves et al. (2006), os incrementos de nitrogênio foliar, em soja, são atribuídos pela alta capacidade de assimilação do nutriente através das bactérias fixadoras de nitrogênio.

TABELA 14 – Teores de N foliar em soja conduzida em casa de vegetação como resposta ao cultivo sobre o solo de diferentes manejos implantados anteriormente a campo. Presidente Prudente – SP (2016).

Adubações	Escarificação		Médias
	Sem	Com	
	g Kg <sup>-1</sup>		
Controle <sup>1</sup>	23,88 bA	28,35 aA	26,11 a
Calagem <sup>2</sup>	27,84 aA	25,57 bB	26,70 a
Calagem + Gesso Agrícola <sup>2</sup>	20,35 cA	19,77 cA	20,06 c
Cal. + Ges. + NPK <sup>2</sup>	23,14 bA	21,56 cB	22,35 b
Cal.+ Ges. +NPK + Micros <sup>2</sup>	24,00 bA	20,74 cB	22,37 b
Médias	23,84 A	23,19 A	

<sup>1</sup>Apenas com adubação de plantio da cultura anual; <sup>2</sup> Com adubação de plantio da cultura anual mais as respectivas adubações minerais descritas; Letras maiúsculas são referentes aos valores das linhas e letras minúsculas aos valores das colunas. Letras iguais não se diferem ao Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Não houve influência das adubações e nem interação entre os fatores dos tratamentos sobre a área foliar da soja, apenas ocorreu diferença estatística nas médias dos sistemas em relação ao manejo físico, onde os solos originários dos sistemas que foram escarificados proporcionaram área foliar na soja 7% maior comparada às plantas cultivadas nos solos dos sistemas sem escarificação (Tabela 15).

Nota-se que mesmo com área foliar menor (Tabela 15), a soja cultivada nos tratamentos provenientes da área sem escarificação apresentaram maiores índices relativos de clorofila (Tabela 13). Segundo Yokoyama et al. (2016), as menores quantidades de clorofila em soja que apresenta maior área foliar, pode se dar devido a sua maior diluição no tecido foliar, isto é, uso do pigmento para a realização de fotossíntese para manter o funcionamento correto do metabolismo, já que a planta apresenta maior demanda devido sua expansão foliar e também ao requerimento do estágio de desenvolvimento que a cultura se encontra.

TABELA 15 – Área foliar da soja aos 60 dias após o plantio em casa de vegetação como resposta ao cultivo sobre solo de diferentes manejos realizados anteriormente a campo. Presidente Prudente – SP (2016).

Adubações	Escarificação		Médias
	Sem	Com	
	cm <sup>2</sup> planta <sup>-1</sup>		
Controle <sup>1</sup>	1660,73aA	1572,47aA	1616,60 a
Calagem <sup>2</sup>	1398,21aA	1665,69aA	1531,95 a
Calagem + Gesso Agrícola <sup>2</sup>	1572,84aA	1714,33aA	1643,59 a
Cal. + Ges. + NPK <sup>2</sup>	1488,23aA	1625,12aA	1556,67 a
Cal.+ Ges. +NPK + Micros <sup>2</sup>	1523,00aA	1703,68aA	1613,34 a
Médias	1528,60 B	1656,26 A	

<sup>1</sup>Apenas com adubação de plantio da cultura anual; <sup>2</sup> Com adubação de plantio da cultura anual mais as respectivas adubações minerais descritas; Letras maiúsculas são referentes aos valores das linhas e letras minúsculas aos valores das colunas. Letras iguais não se diferem ao Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Apenas os valores de massa seca da raiz (MSR) foram responsivos aos tratamentos conduzidos originalmente na área (Tabela 16). Os tratamentos que receberam no primeiro ano experimental as adubações formuladas com NPK e micronutrientes foram responsáveis pelos maiores valores de MSR da soja em relação à MSR das plantas cultivadas nos tratamentos controles.

TABELA 16 – Massa seca da raiz (MSR) da soja conduzida em casa de vegetação em solo sob diferentes manejos realizados anteriormente a campo. Presidente Prudente – SP (2016).

Adubações	Escarificação		Médias
	Sem	Com	
	MSR g planta <sup>-1</sup>		
Controle <sup>1</sup>	1,82 cA	1,84 cA	1,83 c
Calagem <sup>2</sup>	2,05 bcA	2,08 bcA	2,06 bc
Calagem+ Gesso Agrícola <sup>2</sup>	1,78 cB	2,31 abA	2,04 bc
Cal. + Ges. + NPK <sup>2</sup>	2,20 abA	1,96 cA	2,08 b
Cal.+ Ges. +NPK + Micros <sup>2</sup>	2,49 aA	2,48 aA	2,49 a
Médias	2,07 A	2,13 A	

<sup>1</sup>Apenas com adubação de plantio da cultura anual; <sup>2</sup> Com adubação de plantio da cultura anual mais as respectivas adubações minerais descritas; Letras maiúsculas são referentes aos valores das linhas e letras minúsculas aos valores das colunas. Letras iguais não se diferem ao Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

### 5.3 Produtividades acumuladas da soja das safras dos três anos consecutivos em resposta a escarificação do solo e dos diferentes manejos de adubações em sistema de Integração Lavoura – Pecuária.

A produtividade acumulada da colheita da soja durante as três safras (2014-2016) revelou diferenças significativas apenas nos manejos químicos da área sem escarificação e destacou que o melhor desempenho da produção de soja, nesse talhão, ocorreu quando se efetuou apenas a calagem tendo os tratamentos controles e com micronutrientes não apresentados diferenças estatísticas em relação ao tratamento em questão (Tabela 17).

No entanto, o tratamento com calagem, no sistema sem escarificação, contribuiu para acúmulo de produtividade acima de 8.300 Kg ha<sup>-1</sup> de grãos de soja, o que seria uma média por safra equivalente a valores estimados acima de 2.750 Kg ha<sup>-1</sup> (Tabela 17). Segundo dados do Instituto de Economia Agrícola (2015), a média obtida de soja nesse tratamento se aproxima da média de produtividade de soja do estado de São Paulo (2.884 Kg ha<sup>-1</sup>). Vale ressaltar que na safra de 2013/2014 ocorreu veranico por 28 dias na área, o que contribuiu para que na primeira safra experimental as produtividades da soja, em ambos os tratamentos, não ultrapassassem 1.800 Kg ha<sup>-1</sup>.

No entanto, o tratamento controle apenas com a Integração Lavoura – Pecuária, desde a implantação do experimento, foi suficiente para proporcionar alto

desempenho no rendimento da soja e por outro lado, a utilização dos fertilizantes no início não contribuiu para melhorias no desempenho de produção da cultura.

Incrementos de produtividade na soja de até 17% foram observados por Martha-Junior, Vilela e Sousa (2008) em sistema de Integração Lavoura – Pecuária durante um ciclo de três safras. Os autores também ressaltaram que maiores rendimentos de grãos foram obtidos em áreas que receberam menores quantidades de adubos, tais resultados demonstram a alta eficiência do uso de nutrientes presentes no solo pela soja na Integração Lavoura – Pecuária, implicando em economia de fertilizantes. No entanto, abre-se a ressalva de que se faz necessária a adubação básica nas lavouras, pois é a premissa básica para manter tais produtividades elevadas.

TABELA 17 – Produtividade (Kg ha<sup>-1</sup>) acumulada das safras (2013/2014; 2014/2015 e 2015/2016) dos três anos de implantação do sistema de Integração Lavoura – Pecuária em razão de diferentes manejos. Presidente Bernardes – SP.

Adubações	Escarificação	
	Sem	Com
	Kg ha <sup>-1</sup>	
Controle <sup>1</sup>	7701,05 abA	7124,52 aA
Calagem <sup>2</sup>	8323,50 aA	7602,25 aA
Calagem+ Gesso Agrícola <sup>2</sup>	6184,61 bcA	6934,18 aA
Cal. + Ges. + NPK <sup>2</sup>	5913,94 cB	7642,94 aA
Cal.+ Ges. +NPK + Micros <sup>2</sup>	7347,49 abcA	7722,00 aA

<sup>1</sup>Apenas com adubação de plantio da cultura anual; <sup>2</sup> Com adubação de plantio da cultura anual mais as respectivas adubações minerais descritas; Letras maiúsculas são referentes aos valores das linhas e letras minúsculas aos valores das colunas. Letras iguais não se diferem ao Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Informações não publicadas, Guerra (2016).

Os sistemas de produção integrados como o de: lavoura – pecuária, tem proporcionado ganhos de qualidade de solo relatados em diferentes estudos (NASCIMENTO; CARVALHO, 2011; SILVA et al., 2011; MARTHA-JUNIOR; VILELA; SOUSA, 2008; TRACY; ZHANG, 2008; MARTHA-JUNIOR et al., 2006). Zimmer et al. (1994) demonstrou que em solos arenosos o cultivo de soja por mais de dois anos proporcionou recuperações em pastagens que estavam degradadas há mais de dez anos. Assim como apresentado por Aquino (2007), que observou melhorias na microbiologia e produção da soja em sistemas integrados sem mobilização do solo no prazo de dois anos experimentais.



No presente estudo ficou evidente a partir dos resultados obtidos que, o sistema de manejo implantado na área bem como os fertilizantes minerais utilizados, foi capaz de promover modificações no ambiente de produção, influenciando a microbiota do solo com mudanças qualitativas e quantitativas em atividades específicas, o que conduziu a comunidade microbiana a um novo patamar dentro da propriedade biológica do solo.

O carbono da biomassa microbiana (Tabela 03) consolidou-se como um indicador responsivo às alterações exercidas pelos manejos, revelando no terceiro ano às mudanças nos sistemas, antes mesmo que os teores de matéria orgânica no solo apresentassem mudanças significativas, como se observa nos valores de COT na Tabela 06. Costa Neto et al. (2015), ao compararem sistemas após o 2º e o 3º ano de implantação, de manejo agro florestal de recuperação de pastagem degradada, afirmaram que o carbono da biomassa se elevou a partir do terceiro ano experimental e foi a variável mais sensível às mudanças.

Num contexto geral a biomassa microbiana do solo decresceu no sistema controle e com maior aporte de intervenções químicas e físicas, sendo que na média a escarificação reduziu os valores desse indicador na avaliação após os três anos (Tabela 03). Ressalta-se que, foi possível verificar que a calagem e o gesso agrícola proporcionaram, dentro dos manejos conduzidos, maiores benefícios para a comunidade microbiana, o que refletiu em ganhos nos indicadores biológicos avaliados neste trabalho.

Cattelan e Vidor (1990) afirmaram que o calcário favorece a microbiologia do solo de maneira direta, pois é agente atuante na elevação de pH e na disponibilização de nutrientes às células microbianas. A elevação do pH faz com que se potencialize o processo de nitrificação de tal forma que há um maior fornecimento de nitrogênio no solo (ROSOLEM; FOLONI; OLIVEIRA, 2003) e consequentemente favorecimento nutricional para as plantas. Sorrilha, Pereira e Costa (2011), atribuíram valores de CO<sub>2</sub> sendo liberados pela respiração microbiana, efetivamente maiores em um solo de textura arenosa com calagem, pois de acordo com os autores o calcário eleva a atividade microbiana ao contribuir para um ambiente rizosférico propício ao crescimento microbiano.

Trabalhos como os de Kaminski et al. (2005), demonstraram efeitos residuais da calagem por mais de sete anos no solo, independente da forma de aplicação. Em outra área experimental, após 23 anos de realização da calagem,

Azevedo, Kampf e Bohnen (1996) afirmaram que o solo ainda apresentava pH e teores de Ca e Mg trocáveis elevados comparados ao solo natural, ficando explicito que o calcário favorece os sistemas agrícolas por longo prazo.

Por outro lado a disponibilização de nutrientes através da gessagem estimula o crescimento dos microrganismos e participa diretamente dos inúmeros processos metabólicos microbianos, bem como na decomposição e assimilação de carbono nos tecidos celulares ou na disponibilização de nutrientes para a solução do solo e para as plantas (NAHAS; DELFINO; ASSIS, 1997).

A baixa disponibilidade nutricional em solos arenosos em região tropical limita o desenvolvimento microbiano. Segundo Michereff, Andrade e Menezes (2005) a aplicação de fertilizantes em doses moderadas exercem efeitos benéficos sobre a microbiologia e por outro lado, a aplicação excessiva, especialmente de minerais solúveis e salinos podem provocar desbalanço microbiológico no solo.

Existem poucas informações sobre supressão de microrganismos no solo pelo uso de micronutrientes, porém segundo Motta et al. (2007) os micronutrientes são menos adsorvidos em solos arenosos e com isso podem se tornar tóxicos. Khan e Scullio (2002) observaram que ao longo do tempo, após aplicação de micronutrientes, tais como Zn e Cu, em pastagem implantada em solo moderadamente ácido, as plantas não apresentaram reações adversas, entretanto, as análises microbiológicas demonstraram que a comunidade microbiana e suas atividades estavam sendo afetadas. Isto indica, com os resultados encontrados neste estudo, que se fazem necessárias avaliações de longo prazo no campo para verificar o impacto do fornecimento de micronutrientes sobre a microbiologia do solo.

A escarificação contribui para que o solo ficasse desagregado no momento da ação mecânica e expusesse a matéria orgânica ao ataque de microrganismos, aumentando no decorrer do tempo a mineralização dos resíduos vegetais e como consequência a geração de maiores perdas de carbono e nitrogênio através da atividade microbiana (SIX et al., 1998). Segundo Calonego e Rosolem (2008, 2010) os efeitos da escarificação sobre os atributos físicos do solo não persistem por mais de três anos, mas, neste trabalho, observou-se que o efeito desta intervenção em relação à microbiologia do solo, pode ser verificado ainda no terceiro ano experimental, após sua realização. Mostrando que essas práticas são

muito impactantes para a propriedade biológica e podem persistir por vários anos após sua execução.

Do ponto de vista agrônomo, estudos apontam que a Integração Lavoura – Pecuária é considerada como um sistema que promove impactos positivos sobre os atributos biológicos, químicos e físicos do solo e ao promover essas melhorias, conseqüentemente gera maiores capacidades de armazenagem de nutrientes no solo (MARTHA-JUNIOR; VILELA; SOUSA, 2008). Conquanto, a cultura passa a apresentar maior eficiência em absorver os nutrientes disponíveis e o seu desenvolvimento garante maiores produções, especialmente em culturas graníferas que sucedem as gramíneas e as adubações (DIAS-FILHO, 2014), todavia, tais resultados nem sempre são visualizados instantaneamente após a adoção dos manejos (MARTHA-JUNIOR; VILELA; SOUSA, 2008).

Neste estudo, conduzido em solo arenoso, verificou-se que o manejo com a correção do solo e sem revolvimento apresentou os melhores resultados nas melhorias das propriedades biológicas, no terceiro ano após sua execução. Constatou-se também que o rendimento acumulado da soja, nesse período, apresentou altos rendimentos quando se realizou apenas correção do solo ou até mesmo no tratamento controle, se tornando economicamente viável já que despreza o uso excessivo de adubos.

A partir deste trabalho foi demonstrado que a atividade microbiana apresenta sensibilidade, em médio prazo, às alterações nas propriedades químicas e físicas do solo, assim também aconteceu com as plantas, que apresentaram alterações em seu metabolismo secundário, confirmando com isto que os manejos influenciam o ambiente de produção como um todo e são atuantes diretos sobre a produção de compostos secundários, tais como os compostos de defesa como também já relatado por Cerdeira (2010).

A soja, na avaliação efetuada no terceiro ano após implantados os manejos químicos e físicos, apresentou redução em compostos de defesa (fenóis e peroxidases) nos tratamentos com maior aporte de insumos químicos no solo (Tabelas 10 e 11). Segundo Conrath et al. (2001), plantas que estão com sistemas de defesas em maiores atividades fazem com que ocorram respostas mais rápidas aos estresses do que as plantas que apresentam baixa atividade antioxidante, ou seja, se tornam menos suscetíveis a fatores bióticos ou abióticos que ocasionam estresses.

Com base nos resultados apresentados no período avaliado deste estudo pode-se afirmar que, a adoção do sistema de Integração empregado em solos arenosos, apenas com calagem e adubação de manutenção da soja, se mostrou como uma prática viável a ser adotada pelos produtores, pois promoveu melhorias na atividade microbiana no solo, incrementou o metabolismo de defesa das plantas e elevou a produção da lavoura no decorrer dos três anos, reduzindo os custos com fertilizantes minerais e agregando valores ao sistema.

## 6 CONCLUSÕES

- A escarificação do solo e as adubações com micronutrientes, proporcionaram no terceiro ano experimental, após sua efetivação no sistema de produção, redução nos indicadores microbiológicos no solo.
- O sistema de produção sem escarificação com intervenção apenas da calagem, no início da implantação, elevou a biomassa microbiana e manteve o quociente microbiano em valores adequados para sistemas agrícolas sustentáveis.
- O metabolismo secundário na soja indicou que, ainda no terceiro ano experimental, houve aumento nos compostos relacionados com a defesa das plantas nos manejos com menos intervenções químicas e físicas do solo.

## REFERÊNCIAS

- AJWA, H.A.; DELL, C.J.; RICE, C.W. Changes in enzyme activities and microbial biomass of tallgrass prairie soil as related to burning and nitrogen fertilization. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v.31, n.5, p.769-777, 1999.
- ALEF, K.; NANNIPIERI, P. **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. London: Academic Press, 1995. p.576.
- ALOVISI, A. M. T. Alterações de atributos físicos e químicos de solo sob sistemas de manejo em Dourados - MS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31 2007, Gramado – RS. **Anais...** SBCS. p. 1-4. 2007.
- ALVARENGA, R. C. et al. Sistema integração lavoura-pecuária-floresta: condicionamento do solo e intensificação da produção de lavouras. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte – MG, v.31, n. 257 p.59-67, 2010.
- ALVES, B. J. R. et al. Fixação biológica de nitrogênio e fertilizantes nitrogenados no balanço de nitrogênio em soja, milho e algodão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília – DF, v.41, n.3, p. 449-456, 2006.
- ANDERSON, T.H.; DOMSCH, K.H. The metabolic quotient for CO<sub>2</sub> (qCO<sub>2</sub>) 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**, Elmsford, v.25, n.3, p.393-395, 1993.
- ANDRADE, C. A. **O papel do peróxido de hidrogênio na tolerância de soja (*Glycine max*) ao alagamento**. 2013, 58 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras – MG, 2013.
- ANDRADE, S.A.L.; SILVEIRA, A.P.D. Biomassa e atividade microbianas do solo sob influência de chumbo e da rizosfera da soja micorrizada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.2, p.1191-1198, 2004.
- ANGELICO, J. C., **Efeitos da matéria orgânica sobre óxidos de ferro em um latossolo vermelho**. 2000. 62 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu – SP, 2000.
- ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo em sistema plantio direto. In: NOVAIS, R.F. et al. (Eds.). Fertilidade do solo. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, p. 873-928, 2007.
- ANJOS, J. T. et al. Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, n.01, p. 139-145, 1994.
- AON, M.A. et al. Spatio-temporal patterns of soil microbial and enzymatic activities in an agricultural soil. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v.18, n.3, p.239-254, 2001.

AQUINO, S.S. **Atributos microbiológicos em sistemas de manejos do solo na integração lavoura-pecuária**. 2007. 76 p. Tese (Doutorado em agronomia) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2007.

ASMUS, G.L.; ANDRADE, P.J.M. **Reprodução do nematóide das galhas (Meloidogyne javanica) em algumas plantas alternativas para uso em sucessão à cultura da soja**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. p.4. (Comunicado técnico, v. 37).

AZEVEDO, A.C.; KAMPF, N.; BOHNEN, H. Alterações na dinâmica evolutiva de latossolo bruno pela calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.20, n.1, p.191-198,1996.

AZEVEDO, D. M. P. et al. Atributos físicos e químicos de um Latossolo Amarelo e distribuição do sistema radicular da soja sob diferentes sistemas de preparo no cerrado maranhense. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.38, n.1, p.32-40, 2007.

BAGARELLO, V. Influence of well preparation on field-saturated hydraulic conductivity measured with the Guelph permeameter. **Geoderma**, Amsterdam, v.80, n.1-2, p.169-180, 1997.

BALBINOT-JUNIOR, A. B. et al. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. **Ciência Rural**, Santa Maria – RS, v.39, n.6, p.1925-1933, 2009.

BARBOSA FILHO, M. P. et al. Determinação da necessidade de adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro irrigado com auxílio do clorofilômetro portátil. **Ciencia rural**, Santa Maria, v.38, n.7, p.1843-1848, 2008.

BARBOSA, K. B. F. et al. Estresse oxidativo: conceito, implicações e fatores modulatórios. **Revista nutrição**, Campinas, v.23, n.4, p.629-643, 2010.

BATAGLIA, O.; DECHEN, A. R.; SANTOS, W. R. Diagnose visual e análise de plantas. In: XX Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 20. **Anais...** Campinas – SP, Fundação Cargil: p. 369-394, 1992.

BAYER, C. et al. Teores de carbono e nitrogênio total em um solo Podzólico Vermelho-Escuro submetido 9 anos a diferentes sistemas de manejo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25. **Resumos...** Viçosa: SBCS, 1995. p.2036-2038.

BAYER, C. et al. A method for estimating coefficients of soil organic matter dynamics based on long-term experiments. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v.91, n.1, p.217-226, 2006.

BLOKHINA, O.; VIROLAINEN, E.; FAGERSTEDT, K. V. Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review. **Annals of botany**, Oxford, v.91, n.2, p.179-194, 2003.

BORGES, C. D. et al. Impacto de sistemas agropecuários na qualidade do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. O SOLO E A PRODUÇÃO DE BIONERGIA: PERSPECTIVAS E DESAFIOS. 32. **Anais...** Fortaleza: Comunicação Visual, 2009. p. 549.

BORKERT, C.M. et al. Seja o doutor da sua soja. **Informações Agronômicas**, n.66, p.16, 1994.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT-Food science and Technology**, London, v.28, n.1, p.25-30, 1995.

BRAZ, A.J.B.P. et al. Emergência de plantas daninhas em lavouras de feijão e de trigo após o cultivo de espécies de cobertura de solo. **Planta Daninha**, v.24, n.4, p.621-628, 2006.

BURNS, R. G. Interactions of enzymes with soil mineral and organic colloids. In: HUANG, P.M. SCHNITZER, M. Interactions of soils mineral with natural organics and microbes. Madison. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, n.17, p. 429-452, 1986.

BUZINARO, T.N.; BARBOSA, J.C.; NAHAS, E. Atividade microbiana do solo em pomar de laranja em resposta ao cultivo de adubos verdes. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v. 31, n. 2, p. 408-415, 2009.

CALONEGO, J.C.; ROSOLEM, C.A. Estabilidade de agregados do solo após manejo com rotação de culturas e escarificação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.4, p.1399-1407, 2008.

CALONEGO, J.C.; ROSOLEM, C.A. Soybean root growth and yield in rotation with cover crops under chiseling and no-till. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v.33, n.3, p.242-249, 2010.

CÂMARA, G. M. S. **Introdução ao agronegócio**: soja. Piracicaba: ESALQ/USP, Novembro de 2012.

CAMPOS, Â. D. et al. Atividade de peroxidase e polifenoloxidase na resistência do feijão à antracnose. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.7, p.637-643, 2004.

CARNEIRO, M.A.C. et al. Atributos bioquímicos em dois solos de cerrado sob diferentes sistemas de manejo e uso. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.38, n.4, p.276-283, 2008.

CASIDA, L.E.; KLEIN, D.A.; SANTORO, T. Soil dehydrogenase activity. **Soil Science**, Berlin, v.98, n.6, p.371-376, 1964.

CATTELAN, A.J.; VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo, em função de variações ambientais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, n.2, p.133-142, 1990.



CAVALCANTI, F.R. et al. Roots and leaves display contrasting oxidative response during salt stress and recovery in cowpea. **Journal of Plant Physiology**, v. 164, n. 5, p. 591-600, 2007.

CERDEIRA, Â. M. C. **Efeito de factores microclimáticos e de fertilidade do solo nos teores fenólicos e de pigmentos do sabugueiro (Sambucus nigra L.)**. 2010. 31 f. Dissertação (Mestrado) - UTAD, Vila Real, 2010.

CERETTA, C.A. **Fracionamento de N orgânico, substâncias húmicas e caracterização de ácidos húmicos de solo em sistema de culturas sob plantio direto**. 1995. 127f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995.

CERRI, C.C. et al. **Microbiologia do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p.360.

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**, v.31, n.6, p.1381-1396, 2007.

COLEY, P.D., BRYANT, J.P., CHAPIN, F.S.S. Resource availability and plant antiherbivore defense. **Science**, Washington, v.230, n.4728, p.895-899, 1985.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: décimo primeiro levantamento**. v. 3 - Safra 2015/16. n. 11, agosto 2016.

CONRATH, U. et al. Priming as a mechanism in induced systemic resistance in plants. **European Journal of Plant Pathology**, v.107, n.1, p.113-119, 2001.

CORREIA, N.M.; DURIGAN, J.C.; KLINK, U.P. Influência do tipo e da quantidade de resíduos vegetais na emergência de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v.24,n.2, p.245-253, 2006.

COSTA NETO, V. P. et al. Atributos microbiológicos do solo em área de pastagem degradada e em áreas reabilitadas sob manejo agroecológico. **Cadernos de Agroecologia**, Cruz Alta, v.10, n.3, p.01-05, 2015.

CUBILLA, M. et al. Plantas de cobertura do solo: uma alternativa para aliviar a compactação em sistema plantio direto. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v.71, n.5, p.29-32, 2002.

CUNHA, E. D. Q. et al. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho: II - atributos biológicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n.2, p. 603-611, 2011.

DALLMEYER, A. U. **Avaliação energética e desempenho operacional de equipamentos de preparo do solo**. 1994. 156 f. Tese. (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1994.

DE-POLLI, H.; PIMENTEL, M.S. Indicadores de qualidade do solo. In: AQUINO, A.M.; ASSIS, R.L. (Ed.). **Processos biológicos no sistema solo-planta: ferramentas para uma agricultura sustentável**. Brasília: Embrapa-SCT, 2005. p.17-28. 2005.

DEUNER, C. et al. Viabilidade e atividade antioxidante de sementes de genótipos de feijão-miúdo submetidos ao estresse salino. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 33, n. 4, p. 711-720, 2011.

DIAS-FILHO, M. B. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação**. 2. ed. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2005. 173 p.

DIAS-FILHO, M. B. Os desafios da produção animal em pastagens na fronteira agrícola brasileira. **Revista brasileira de zootecnia**, Viçosa, v.40, (Supl. Esp.), p.243-252, 2011.

DIAS-FILHO, M.B. Recuperação de pastagens degradadas na Amazônia: desafios, oportunidades e perspectivas. In: SAMBUICHI, R. H. R. et al. (Org.). **Políticas agroambientais e sustentabilidade: desafios, oportunidades e lições aprendidas**. Brasília: Ipea, 2014. p.149-169.

EMBRAPA SOJA. **Sistemas de Produção**. Tecnologia de Produção de soja – Região Central do Brasil. Londrina: Embrapa Soja, 2013. p. 04.

EMBRAPA SOJA. Tecnologias de Produção de Soja Região Central do Brasil. Sistema de Produção, nº 01. 2004  
<http://www.cnpso.embrapa.br/producaosoja/index.htm> (Acesso em: 15/08/2016).

EMBRAPA SOLOS. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. p.306.

ENÍVAR, R. D. S. N. M.; LOVATO, L. T. Manejo das pastagens de inverno e potencial produtivo de sistemas de integração lavoura-pecuária no Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.6, p.1799-1805, 2006.

FAGAN, E. B. **A cultura de soja: modelo de crescimento e aplicação da estrobilurinapiraclostrobina**. 2007. 84f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2007.

FERREIRA, I. C.; ABREU, R. Stress oxidativo, antioxidantes e fitoquímicos. **Bioanálise**, Bragança, v.2, n.2, p.32-39, 2007.

FLEURIET, A.J.J.; DELOIRE, A. Aspects histochimiques et biochimiques de la cicatrization des fruits de tomate blessés. **Phytopathologische Zeitschrift**, Amsterdam, v.107, n.3, p.259-268, 1982.

FOLLET, R.F.; SCHIMMEL, D.S. Effect of tillage practices on microbial biomass dynamics. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.53, n.4, p.1091-1096, 1989.

FONTANELI, R.S. et al. Rendimento de soja em diferentes rotações de espécies anuais de inverno sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.2, p.349-355, 2000.

FREITAS, P.L. et al. Nível e natureza do estoque orgânico de latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.1, p.157-170, 2000.

FREITAS, M. D. G. B.; MORAES, S. O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.3, p.963-969, 2004.

GAMA-RODRIGUES, E.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A. et al. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.159-170.

GAMA-RODRIGUES, E.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C; BARROS, N.F. Biomassa microbiana de carbono e de nitrogênio de solos sob diferentes coberturas florestais. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, n. 3, p. 361-365, 1997.

GASPAR, T.H. et al. **Peroxidases**: a survey of their biochemical and physiological roles in higher plants. Geneva: Université de Genève, 1982. p.324.

GERSHENZON, J. Changes in the levels of plant secondary metabolites under water and nutrient stress. In: **Phytochemical adaptations to stress**. US: Springer, 1984. p. 273-320.

GIMENEZ, D. et al. Prediction of the saturated hydraulic conductivity-porosity dependence using fractals. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 61, n. 5, p. 1285-1292, 1997.

GONÇALVES, S. L.; FRANCHINI, J. C. **Integração lavoura-pecuária**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. Circular Técnica, n. 44, p. 1-6.

GOYAL, S. et al. Organic matter-microbial biomass relationships in field experiments under tropical conditions: effects of inorganic fertilization and organic amendments. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v.24, n.11, p.1081-1084, 1992.

GREGORICH, E. G. et al. Towards a minimum data set to assess soil organic-matter quality in agricultural soil. **Canadian Journal of Soil Science**, Canadá, v.74, n.1, p.367-385, 1994.

GUEDES, A. C. T. P. **Atividade biológica e enzimática em solo tratado com cloreto e sulfato de bário**. 2013. 66 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, 2013.

- HAKANSSON, I.; VOORHEES, W.B.; RILEY, H. Vehicle and wheel factors influencing soil compaction and crop response in different traffic regimes. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.11, n.3-4, p.239-282, 1988.
- HAN, Y.C.; WANG, C.Y. Physiological basis of bentazon tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) lines. **Weed Biology and Management**, Kyoto, v.2, n.4, p.186-193, 2002.
- HEATH, R. L.; PACKER, L. Photoperoxidation in isolated chloroplast. I. kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, New York, v.125, n.1, p.189-198, 1968.
- HERNANDEZ, M.; GARCIA, N. F.; VIVANCOS, P. D. A different role for hydrogen peroxide and the antioxidative system under short and long salt stress in *Brassica oleracea* roots. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.61, n.2, p. 521-535, 2010.
- HOWARD, L.R.; CLARK, J.R.; BROWNMILLER, C. Antioxidant capacity and phenolic content in blueberries as affected by genotype and growing season. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v.83, n.12, p.1238-1247, 2003.
- HRAZDINA, G. Compartmentation in phenolic metabolism. **Acta Horticulturae**, Palo Alto, v.1, n.1, p.86-93, 1994.
- HUNGRIA, M. et al. Interação entre microrganismos do solo, feijoeiro e milho em monocultura ou consórcio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, n.8, p.807-818, 1997.
- HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. **A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja**: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro. Londrina: Embrapa Soja: Planaltina: Embrapa Cerrados, 2007. 80 p. (Documentos, 283).
- ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Soil quality indicator properties in mid-atlantic soils as influenced by conservation management. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 55, n.1, p. 69-78, 2000.
- INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. **Previsões e estimativas das safras agrícolas do estado de SP, 2º levantamento, ano agrícola 2015/2016 e levantamento final do ano agrícola 2014/2015**, novembro de 2015.
- JAKELAITIS, A. et al. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 38, n. 2, p. 118-127, 2008.
- JAYAPRAKASHA, G. K.; SINGH, R. P.; SAKARIAH, K. K. Antioxidant activity of grape seed (*Vitis vinifera*) extracts on peroxidation models in vitro. **Food chemistry**, Barkin, v.73, n.3, p.285-290, 2001.

JENKINSON, D. S.; LADD, J. N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. **Soil biochemistry**, New York, v.5, n.1, p. 415-471, 1981.

JONES, J.B.; ECK, H.V.; VOSS, R. Plant Analysis as an aid in fertilizing corn and grain sorghum. In: WESTERMAN, R.L. (Ed.) Soil testing and plant analysis. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.1, n.3, p.521-549, 1990.

JUNG, S. Effect of chlorophyll reduction in *Arabidopsis thaliana* by methyl jasmonate or norflurazon on antioxidant systems. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v.42, n.3, p. 225-231, 2004.

KAMINSKI, J. et al. Eficiência da calagem superficial e incorporada precedendo o sistema plantio direto em um Argissolo sob pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.4, p.573-580, 2005.

KAO, C.H. Differential effect of sorbitol and polyethylene glycol on antioxidant enzymes in rice leaves. **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v.39, n.1, p.83-89, 2003.

KARLEN, D.L. et al. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.61, n.1, p.4-10, 1997.

KHAN, M.H.; PANDA, S.K. Alterations in root lipid peroxidation and antioxidative responses in two rice cultivars under NaCl-salinity stress. **Acta Physiologiae Plantarum**, Bangalore, v.30, n.1, p.81-89, 2008.

KHAN, M. H.; SCULLION, J. Effects of metal (Cd, Cu, Ni, Pb or Zn) enrichment of sewage-sludge on soil micro-organisms and their activities. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v.20, n.2, p.145-155, 2002.

KUSS, R.C. R. **Populações de plantas e estratégias de irrigação na cultura da soja**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS, 2006.

LAVIOLA, B. G.; DIAS, L. A. S. Teor e acúmulo de nutrientes em folhas e frutos de pinhão manso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.5, p.1969-1975, 2008.

LEITE, G.L.D. et al. NPK and flavonoids affecting insect populations in *Dimorphandra mollis* seedlings. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.34, n.1, p.17-22, 2012.

LEITE, L. F. et al. 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, n.12, p.1273–1280, 2010.

LIBÓRIO, P. H. S.; BÁRBARO, I. M.; DE NOBILE, F. O. Co-inoculação no desenvolvimento vegetativo e nodulação de plântulas de soja submetidas à calagem, fertilização nitrogenada e aplicação de micronutrientes. **Nucleus**, Ituverava, v. 12, n. 2, p. 245-255, 2015.

LONG, S. R. Rhizobium-legume nodulation: life together in the underground. **Cell**, Cambridge, v.56, n.2, p.203-214, 1989.

LONGO, R. M.; RIBEIRO, A. I.; MELO, W. J. Recuperação de solos degradados na exploração mineral de cassiterita: biomassa microbiana e atividade da desidrogenase. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 1, p. 132-138, 2011.

LOVATO, T. et al. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de ciência do solo**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 175-187, 2004.

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.38, n.1, p.133-146, 2009.

MACHADO, L. A. Z.; ASSIS, P. D. Produção de palha e forragem por espécies anuais e perenes em sucessão à soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.4, p.415-422, 2010.

MACHADO, L. A. Z.; CECCON, C. Sistemas integrados de agricultura e pecuária. In: PIRES, A. V. (Ed.). **Bovinocultura de corte**. Piracicaba: FEALQ, 2010. v.2, n.1, p.1401-1420.

MACHADO, L.A.Z. et al. Estrutura do dossel em pastagens de capim-Marandu submetidas a quatro ofertas de lâminas foliares. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.10, p.1495-1501, 2007.

MACIEL, G. A. et al. Efeito de diferentes fontes de fósforo na *Brachiaria brizantha* cv. Capim – Marandu cultivada em dois tipos de solos. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v.8, n.2, p.227-233, 2007.

MAISUTHISAKUL, P.; SUTTAJIT, M.; PONGSAWATMANIT, R. Assessment of phenolic content and free radical-scavenging capacity of some Thai indigenous plants. **Food Chemistry**, London, v.100, n.4, p.1409-1418, 2007.

MALAVOLTA, E; VITTI, G.C.; OLIVEIRA S, A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios de aplicações. Piracicaba: POTAFÓS, 1997. p. 319.

MALLICK, N.; RAI, L.C. Response of the antioxidant systems of the nitrogen fixing cyanobacterium *Anabaena doliolum* to the copper. **Journal of Plant Physiology**, Lancaster, v.155, n.1, p. 146-149, 1999.

MARCHÃO, R.L. et al. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.6, p.873-882, 2007.

MARGESIN, R.; ZIMMERBAUER, A.; SCHINNER, F. Monitoring of bioremediation by soil biological activities. **Chemosphere**, Dordrecht, v.40, n.4, p.339-346, 2000.

MARTHA-JUNIOR, G. B. M. et al. **Benefícios bioeconômicos e ambientais da integração lavoura-pecuária**. Planaltina: Embrapa Cerrado, 2006. Documento 164,

MARTHA-JUNIOR, G.B.; VILELA, L.; SOUSA, D.M.G. Economia de fertilizantes na integração lavoura-pecuária. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, v.17, n.4, p.14-19, 2008.

MELLO, U. Q.; FRIGHETTO, R. T. S.; VALARINI, P. J. **Teor de fenólicos totais e crescimento radicular em soja (*Glycine max* (L.) merr.) inoculada com as bactérias endofítica e epifítica e sua exposição à ferrugem**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2009.

MERCANTE, F. M. et al. **Parâmetros microbiológicos como indicadores da qualidade do solo sob sistemas integrados de produção agropecuária**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2004. p. 27. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento.

MICHEREFF, S. J.; ANDRADE, D. E. G. T.; MENEZES, M. **Ecologia e manejo de patógenos radiculares em solos tropicais**. Recife: Universidade Federal e Rural de Pernambuco, 2005. p.41–60.

MIRA, N. V. M. et al. Comparative study of phenolic compounds in different Brazilian rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v.22, n.5, p.405-409, 2009.

MISSÃO, M. R. Soja: origem, classificação, utilização e uma visão abrangente. **Revista de Ciências Empresariais**, Maringá, v.3, n.1, p.7-15, 2006.

MITTLER, R. et al. ROS signaling: the new wave?. **Trends in plant science**, Oxford, v.16, n.6, p.300-309, 2011.

MOREIRA, A. C.M. **Fracionamento de N no solo e na cultura da soja manejada em sistema de semeadura direta com rotação de culturas**. 2016. 20 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente – SP, 2016.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Ecologia do solo**. Microbiologia e Bioquímica do Solo. 2. ed. Lavras: UFLA, 2006. p.625.

MOTTA, A., C., V. et al. **Micronutrientes na rocha, no solo e na planta**. 1. ed. Curitiba: [s.n.], 2007. p. 94.

MULLER, M. M. L. et al. Degradação de pastagens na Região Amazônica: propriedades físicas do solo e crescimento de raízes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.11, p.1409-1418, 2001.

MUELLER, W.C.; BECKMAN, C.H. Ultra structure of the phenol storing cells in roots of banana. **Physiological Plant Pathology**, London, v.4, n.2, p.187-190, 1974.

NACZK, M.; SHAHIDI F. Extraction and analysis of phenolics in food. **Journal of Chromatography A**, New York, v.1054, n.1, p.95-111, 2004.

NAHAS, E.; DELFINO, J.; ASSIS, L. Atividade microbiana e propriedades bioquímicas do solo resultantes da aplicação de gesso agrícola na cultura do repolho. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.54, n.3, p.160-166, 1997.

NAIM, M. et al. Antioxidative and antihemolytic activities of soybean isoflavones. **J. Agriculture Food Chemistry**, Columbus, v.24, n.6, p.1174-1177, 1976.

NASCIMENTO, J. B. et al. Determinação da biomassa e atividade microbiana do solo sob cultivo orgânico do feijoeiro-comum em sistemas de plantio direto e convencional após cultivo de diferentes espécies de adubos verdes. **Cadernos de Agroecologia**, Cruz Alta, v.4, n.2, p.4240-4243, 2009.

NASCIMENTO, R. S.; CARVALHO, N. L. Integração lavoura-pecuária. **Revista Monografias Ambientais**, Santa Maria, v.4, n.4, p.828-847, 2011.

NKANG, A.; OMOKARO, D.; EGBE, A. Effects of desiccation on the lipid peroxidation and activities of peroxidase and polyphenoloxidase in seeds of *Telfairia occidentalis*. **Seed Science and Technology**, Zürich, v.28, n.1, p.1-9, 2000.

OLIVEIRA, F. A. et al. **Fertilidade do solo e nutrição da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. Circular Técnica nº 50.

PACHECO, L.P. et al. Sobressemeadura da soja como técnica para supressão da emergência de plantas daninhas. **Planta Daninha**, Campinas, v.27, n.3, p.455-463, 2009.

PADMAJA, G.; BALAGOPAL, C.; POTTY, V.P. Polifenoles y el deterioro fisiológico en yucca. **Yuca Boletim Informativo**, v.10, p.2-22, 1982.

PARKIN, T.B.; DORAN, J.W.; FRANCO-VIZCAÍNO, E. Field and laboratory tests of soil respiration. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Eds). *Methods for assessing soil quality* Madison. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.49, n.1, p.231-245, 1996.

PEIXOTO, P.H.P.; PIMENTAD.S.; CAMBRAIA, J. Alterações morfológicas e acúmulo de compostos fenólicos em plantas de sorgo sob estresse de alumínio. **Bragantia**, Campinas, v.66, n.1, p.17-25, 2007.

PEREZ, K. S. S.; RAMOS, M. L. G.; MCMANUS, C. Nitrogênio da biomassa microbiana em solo cultivado com soja, sob diferentes sistemas de manejo, nos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.2, p.137-144, 2005.

POWLSON, D.S.; BROOKES, P.C.; CHRISTENSEN, B.T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in the total soil organic matter due to straw incorporation. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.19, n.1, p.159-164, 1987.

PREZOTTI, L. C. Fertilização do cafeeiro. In: ZAMBOLIM, L. (Ed). **Tecnologias de produção de café com qualidade**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2001. p.607-615.



PRICE, P. W. et al. Carbon-nutrient balance hypothesis in within-species phytochemical variation of *Salix lasiolepis*. **Journal of Chemical Ecology**, New York, v.15, n.4, p.1117-1131, 1989.

RAIJ, B. et al. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2. ed. Campinas: IAC, 1996. 285p. (IAC. Boletim Técnico, 100).

RAMBO, J. R. et al. Atributos Microbiológicos do Solo sob Distintos Sistemas de Manejo de Fertilidade. **Cadernos de Agroecologia**, Cruz Alta, v.9, n.4, p.1-12, 2015.

RAMBO, L. et al. Parâmetros de planta para aprimorar o manejo da adubação nitrogenada de cobertura em milho. **Ciência rural**, Santa Maria, v.34, n.5, p.1637-1645, 2004.

RASMUSSEN, P.E.; ALBRECHT, S.L., SMILEY, R.W. Soil C and N changes under tillage and cropping systems in semi-arid pacific north west agriculture. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.47, n.3, p.197-205, 1998.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN S. E. **Biologia de plantas**. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001. p.707-710.

RESCK, D. V. S. et al. **Dinâmica da matéria orgânica no Cerrado**. Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.359-417.

RHEINHEIMER, D. S. et al. Modificações em atributos químicos de solo arenoso sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n.4, p.713-721, 1998.

RODELLA, A. A.; SABOYA, L. V. Calibration for conductimetric determination of carbon dioxide. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.31, n.14, p.2059-2060, 1999.

ROSOLEM, C. A.; FOLONI, J. S. S.; OLIVEIRA, R. D. Dinâmica do nitrogênio no solo em razão da calagem e adubação nitrogenada, com palha na superfície. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.2, p.301-309, 2003.

SFREDO, G. J. **Calagem e adubação da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2008. p. 01-10. Circular Técnica n. 61.

SHAHIDI, F.; NACZK, M. Food phenolics: sources, chemistry, effects and applications. **Technomic**, Lancaster, p. 235-273, 1995.

SHIGEOKA, S. et al. Regulation and function of ascorbate peroxidase isoenzymes. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.53, n.372, p.1305-1319, 2002.

SIEGEL, B. Z. Plant peroxidases: an organismic perspective: review. **Plant Growth Regulation**, New York, v.12, n.3, p.303-312, 1993.

SILVA, F. A. S. **Assistat Versão 7.7 beta**. Campina Grande: DEAG-CTRN-UFCG, 2014.

SILVA, M. B. et al. Atributos biológicos do solo sob influência da cobertura vegetal e do sistema de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.12, p.1755-1761, 2007.

SILVA, L. G. D. **Uso e monitoramento de indicadores microbiológicos para avaliação da qualidade dos solos de cerrado sob diferentes agroecossistemas**. 2008. 30f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Brasília – DF, 2008.

SILVA, R. D. et al. Análise conjunta de atributos físicos e biológicos do solo sob sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.10, p.1277-1283, 2011.

SILVA, R. F. et al. Atributos físicos e teor de matéria orgânica na camada superficial de um argissolo vermelho cultivado com mandioca sob diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.6, p.2435-2441, 2008.

SILVA, V.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.1, p.191-199, 2000.

SIX, J. et al. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. **Soil Science Society of America Journal**, Oxford, v.62, n.5, p.1367-1377, 1998.

SMITH, J. J.; MCFETERS, G. A. Mechanisms of INT (2-(4-iodophenyl)-3-(4-nitrophenyl)-5-phenyl tetrazolium chloride), and CTC (5-cyano-2, 3-ditoly tetrazolium chloride) reduction in *Escherichia coli* K-12. **Journal of Microbiological Methods**, Amsterdam, v.29, n.3, p.161-175, 1997.

SMITH, J.J.; PAUL, E.A. The significance of soil microbial biomass estimations. In: BOLLAG, J.M.; STOTSKY, G. **Soil biochemistry**, New York, p.357- 398, 1990.

SOARES, S. E. Ácidos fenólicos como antioxidantes. **Revista de Nutrição**, Campinas, v.15, n.1, p.71-81, 2002.

SOARES, A. M. S.; MACHADO, O. L. T. Defesa de plantas: Sinalização química e espécies reativas de oxigênio. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas**, Chapadinha, v.1, n.1, p.10, 2007.

SORRILHA, P. A. A.; PEREIRA, L. H. G.; COSTA, F. A. Atividade microbiana de dois solos após calagem e adição. **Cadernos de Agroecologia**, Cruz Alta, v.5, n.1, p.1-4, 2011.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Correção da acidez do solo. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Eds.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. Brasília: Embrapa, 2004. p. 81-95.

SOUZA, E.D. et al. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.1, 79-88, 2010.

SOUZA, E. D. D. et al. Carbono orgânico e fósforo microbiano em sistema de integração agricultura-pecuária submetido a diferentes intensidades de pastejo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.3, p. 1273-1282, 2008.

SOUZA, I.R.P. **Gibberellic acid and dwarfism effects on peroxidase activity and secretion of anionic isoenzymes into the cell wall of expanding maize (*Zea mays* L.) leaf blade**. 1997. 1004p. Dissertation - Logan, Utah State University, 1997.

SPARLING, G.P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. *Aust. J. Soil Research*, Collingwood, v.30, n.2, p.195-207, 1992.

STRALIOTTO, R. et al. Fixação biológica de nitrogênio. Produção de feijoeiro comum em várzeas tropicais. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. p.122-153.

TABATABAI, M.A. Soil enzymes. In: WEAVER, R.W. (Ed.). **Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties**. Madison: ASA/SSA, 1994. p.775-883.

TAYLOR, J. P. et al. Comparison of microbial numbers and enzymatic activities in surface soils and subsoils using various techniques. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 34, n.3, p. 387-401, 2002.

TEIXEIRA, G. et al. Fosfato de Arad, NPK e calagem na cultura do milho em área de pastagem degradada. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.27, n.2, p.124-131, 2014.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G.; SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n.2, p.301-309, 1998.

TÓTOLA, M.R.; CHAER, G.M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade do solo. In: ALVAREZ VENEGAS, V.H. et al. (Ed.). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.2, n.1, p.195-276, 2002.

TRACY, B. F.; ZHANG, Y. Soil compaction, corn yield response, and soil nutrient pool dynamics within an integrated crop-livestock system in Illinois. **Crop Science**, Madison, v.48, n.3, p.1211-1218, 2008.

TRANNIN, I.C.B.; SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S. Características biológicas do solo indicadoras de qualidade após dois anos de aplicação de bio sólido industrial e cultivo de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.1, p.1173-1184, 2007.

TREIN, C.R.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Métodos de preparo do solo na cultura do milho e ressemeadura do trevo, na rotação aveia + trevo/milho, após pastejo intensivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.15, n.19, p.105-111, 1991.

TURCO, R.F.; KENNEDY, A.C.; JAWSON, M.D. Microbial indicators of soil quality. In: DORAN, J.W. (eds). Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, **Soil Science Society of America Journal**, Oxford, v.35, n.1, p.73-90, 1994.

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology Biochem**, Oxford, v.19, n.6, p.703-707, 1987.

VILELA, L. et al. **Integração lavoura-pecuária**. Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008. v.1, p.933-962.

VITTI, G. C.; TREVISAN, W. Manejo de macro e micronutrients para alta produtividade na soja. Encarte técnico. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 90, p.16, 2000.

WENDLING, B. et al. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.5, p.487-494, 2005.

XAVIER, F. A. et al. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na Chapada da Ibiapaba-CE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, n.2, p.247-258, 2006.

YOKOYAMA, A. H. et al. Evolução do índice de área foliar e índice spad da soja em função da densidade de semeadura. In: **REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA**, 35. Anais... Londrina, julho de 2016. p.21-23.

ZIMMER, A.H. et al. Estabelecimento e recuperação de pastagens de Brachiaria. In: **SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM**, 11. Piracicaba, 1994. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1994. p.153-208.