**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**
**CÂMPUS DE JABOTICABAL**

# DINÂMICA DOS ATRIBUTOS FÍSICOS E ESTOQUE DE CARBONO DE UM LATOSSOLO EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO

**Eurico Lucas de Sousa Neto**
Engenheiro Agrônomo

**2013**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**

**CÂMPUS DE JABOTICABAL**

# DINÂMICA DOS ATRIBUTOS FÍSICOS E ESTOQUE DE CARBONO DE UM LATOSSOLO EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO

**Eurico Lucas de Sousa Neto**

**Orientador: Prof. Dr. Itamar Andrioli**

**Coorientador: Prof. Dr. Roberto Giolo de Almeida**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Ciência do Solo)

**2013**

Sousa Neto, Eurico Lucas de
S725d Dinâmica dos atributos físicos e estoque de carbono de um Latossolo em sistemas integrados de produção / Eurico Lucas de Sousa Neto. – – Jaboticabal, 2013
iii, 41 p. : il.; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2013
Orientador: Itamar Andrioli
Banca examinadora: José Frederico Centurion, Leandro Borges Lemos, Amauri Nélson Beutler, Cassiano Garcia Roque
Bibliografia

1. eucalipto. 2. integração lavoura-pecuária. 3. soja. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.43:636.34

Ficha catalográfica eleborada pela Secção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação – UNESP, Campus de Jaboticabal.

## DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Eurico Lucas de Sousa Neto, nascido em 09/11/1980 em São Paulo, SP, ingressou no curso de Agronomia da Universidade Estadual de Montes Claros, MG, campus de Janaúba em agosto de 1999 concluindo-o em julho de 2004. Em agosto do mesmo ano, iniciou o curso de mestrado em Ciência do Solo na Universidade Estadual Paulista, campus de Jaboticabal, obtendo o título de Mestre em fevereiro de 2006, quando começou a lecionar, como professor interino, na Universidade do Estado de Mato Grosso, campus universitário de Alta Floresta. Em agosto de 2006, após aprovação em concurso público, iniciou suas atividades como professor efetivo (Ciência do Solo) na Universidade do Estado de Mato Grosso, campus universitário de Pontes e Lacerda. Em agosto de 2010 iniciou o curso de doutorado em Ciência do Solo na Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP obtendo o título de Doutor (Ciência do Solo) em setembro de 2013.

## AGRADECIMENTOS

À Deus por sempre estar presente em minha vida

Aos meus pais pelo exemplo de família e por todo o suporte que sempre permitiu alcançar meus objetivos.

À Giulianna Z. Miguel pelo carinho, compreensão e companheirismo.

Ao programa de pós graduação em Ciência do Solo da Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias pela oportunidade.

Ao professor Dr. Itamar Andrioli, pela orientação, amizade sincera, ensinamentos transmitidos e toda confiança em mim depositada.

Ao pesquisador Dr. Roberto Giolo de Almeida pela coorientação, ensinamentos e troca de experiências.

À Embrapa Gado de Corte pela seção da área experimental e ao pesquisador Dr. Manuel Claúdio Motta Macedo pelos conhecimentos transmitidos.

Ao professor Dr. Rattan Lal pelo exemplo de profissionalismo e pela acolhida em Columbus, Ohio, USA.

Aos membros da comissão avaliadora Amauri Nélson Beutler, Cassiano Garcia Roque, José Frederico Centurion, Leandro Borges Lemos, Renato de Mello Prado e William Natale pelas valiosas sugestões.

À Universidade do Estado de Mato Grosso, pela concessão do afastamento para a realização do curso de doutorado.

A Capes pela concessão da bolsa sanduíche.

Aos estagiários Alex de A. Mazuy, Samara Borges e Vinicius Rodrigues Vasconcelos de Carvalho por toda ajuda durante a fase experimental.

Aos funcionários do departamento de Solos e Adubos: Ademir, Célia, Cristiano, Luis Mauro, Maria Inês, Mauro e Orivaldo Gomes pela atenção e ajuda no decorrer do curso.

Aos amigos do programa de pós graduação Alba Leonor, Fabiana Pereira, Getúlio Seben Júnior, Paula Oliveira, Karina Rossetti e Saulo S. Cardoso pela agradável convivência

# SUMÁRIO

Página

RESUMO ..... ii

ABSTRACT ..... iii

1 INTRODUÇÃO ..... 1

2 REVISÃO DE LITERATURA ..... 4

2.1 Sistemas de produção agropecuários ..... 4

2.2 Atributos físicos x uso e manejo do solo ..... 6

2.3 Carbono orgânico e estoques de carbono ..... 9

3 MATERIAL E MÉTODOS ..... 12

3.1 Área de estudo e tratamentos ..... 12

3.2 Amostragem e análises laboratoriais ..... 14

3.3 Análise estatística ..... 16

4 RESULTADOS ..... 18

5 DISCUSSÃO ..... 27

6 CONCLUSÃO ..... 32

7 REFERÊNCIAS ..... 33

# DINÂMICA DOS ATRIBUTOS FÍSICOS E ESTOQUE DE CARBONO DE UM LATOSSOLO EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO

**RESUMO –** Nas últimas décadas os sistemas agropecuários têm objetivado o aumento da produtividade de forma menos danosa ao meio ambiente, neste sentido, destacam-se os sistemas de integração lavoura-pecuária (ILP) e integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF). O objetivo desta pesquisa foi avaliar atributos físicos e o teor e estoque de carbono orgânico de um Latossolo Vermelho distrófico sob sistemas integrados de produção. A pesquisa foi realizada em Campo Grande, MS, Brasil, cujos tratamentos constituíram-se de sete sistemas de uso do solo: integração lavoura-pecuária-floresta, com o cultivo de soja, eucalipto com 357 árvores $ha^{-1}$ e capim Piatã pastejado com altura de 0,15 m ($ILPF_{357-15}$); integração lavoura-pecuária-floresta, como cultivo de soja, eucalipto com 357 árvores $ha^{-1}$ e capim Piatã pastejado com altura 0,30 m ($ILPF_{357-30}$); integração lavoura-pecuária-floresta, com o cultivo de soja, eucalipto com 227 árvores $ha^{-1}$ e capim Piatã pastejado com altura de 0,15 m ($ILPF_{227-15}$); integração lavoura-pecuária-floresta, com o cultivo de soja, eucalipto com 227 árvores $ha^{-1}$ e capim Piatã pastejado com altura de 0,30 m ($ILPF_{227-30}$); integração lavoura-pecuária com o cultivo de soja e capim Piatã pastejado com altura de 0,15 m ($ILP_{15}$); integração lavoura-pecuária com o cultivo de soja e capim Piatã pastejado com altura de 0,30 m ($ILP_{30}$) e vegetação nativa (VN). Nos sistemas com ação antrópica o cultivo da soja se deu nos anos 2008/2009 e 2012/2013. Em janeiro de 2011 e em outubro de 2012, em todos os sistemas de uso foram coletadas amostras de solo, nos sistemas com ILPF as amostras foram coletadas na metade do espaçamento entre os renques e a 2 m das árvores. O maior adensamento de árvores (14 x 2 m; 357 árvores $hectare^{-1}$) associado com a menor altura de pastejo (0,15 m) permitiram menor proteção física ao solo e por consequência maior compactação, embora os valores obtidos não sejam considerados como restritivos ao desenvolvimento de espécies vegetais. Os sistemas integrados de produção promoveram aumento no estoque de carbono, porém a presença da espécie florestal (eucalipto) nos sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta foi determinante para que a taxa de acúmulo, nestes sistemas, atingissem 3 Mg $ha^{-1}$ $ano^{-1}$. A menor produtividade de soja, nas áreas sombreadas, nos sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta esta relacionada a menor incidência solar.

**Palavras-chave:** eucalipto, integração lavoura-pecuária, soja, sustentabilidade

# DYNAMICS OF PHYSICAL ATTRIBUTES AND CARBON STOCK IN AN OXISSOL IN INTEGRATED PRODUCTION SYSTEMS

**ABSTRACT –** In last decades, agricultural systems have aimed to increase productivity in a less damaging to the environment, the integrated crop-livestock (ICL) and integrated crop-livestock-forest (ICLF) is systems that can to contribute for this. The objective of this research was to evaluate physical attributes, soil carbon and soil carbon stock of an Oxisol under integrated production systems. The study was conducted in Campo Grande, MS, Brazil. Were used seven land use systems: integrated crop-livestock-forest, with the cultivation of soybean, eucalyptus with 357 trees $ha^{-1}$ and palisade grass grazed with height of 0.15 m ($ICLF_{357-15}$), integrated crop-livestock-forest, with the cultivation of soybean, eucalyptus with 357 trees $ha^{-1}$ and palisade grass grazed with height 0.30 m ($ICLF_{357-30}$), crop- livestock-forest, with the cultivation of soybean, eucalyptus with 227 trees $ha^{-1}$ and palisade grass grazed with a height of 0.15 m ($ICLF_{227-15}$), integrated crop-livestock-forest, with the cultivation of soybean, eucalyptus 227 trees $ha^{-1}$ and palisade grass grazed with a height of 0.30 m ($ICLF_{227-30}$), integrated crop-livestock with the cultivation of soybean and palisade grass grazed with a height of 0.15 m ($ICL_{15}$); integrated crop-livestock with cultivation of soybean and palisade grass grazed with a height of 0.30 m ($ICL_{30}$) and native vegetation (NV). In systems with human action soybean cultivation occurred in the years 2008/2009 and 2012/2013. In January 2011 and in October 2012, were collect soil samples in all use systems, in ICLF systems the samples were collected at half the spacing between trees and in 2 m from trees. The highest density of trees (14 m x 2; 357 trees $ha^{-1}$) in together with the low grazing height (0.15 m) allow smaller physical protection to the soil and thus greater compaction, although the values are not considered restrictive to development of plant species. The integrated production systems led to an increase in carbon stock, but the presence of forest species (eucalyptus) in integrated crop-livestock-forest was crucial for the rate of accumulation, these systems reach 3 Mg $ha^{-1}$ $yr^{-1}$. The lower soybean yield in the shaded areas in integrated crop-livestock-forest is related by less sunlight

Key-words: eucalyptus, integrated crop-livestock, soybean, sustainability

# 1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, nos estudos dos sistemas de produção agropecuária tem-se dado ênfase ao aumento da produtividade de forma menos danosa possível ao meio ambiente, sempre almejando a sustentabilidade ambiental, social e econômica das atividades. De acordo com IPCC (2007), em virtude das mudanças climáticas, até 2020 haverá redistribuição nos locais de produção dos produtos agropecuários, o que sugere a necessidade de adaptação dos tradicionais sistemas de produção. A região centro-oeste do Brasil ocupa área de 160 milhões de hectares sendo responsável por 20% da produção de grãos (AGRIANUAL, 2013) e 10% da produção de carne bovina (ANUALPEC, 2012) do país, o que a destaca no setor agropecuário.

Na região centro-oeste a semelhança entre a exploração com pecuária ou lavoura, se deve ao fato de ambas serem realizadas em grandes áreas. Entretanto, a exploração com lavoura se dá de forma altamente tecnificada, em solos de melhor qualidade enquanto a pecuária é desenvolvida de forma extensiva em solos marginais. De acordo com IBGE (2006), 3 milhões de hectares dos solos sob pastagem, na região centro-oeste, se encontram degradados, sendo o manejo animal inadequado e a não reposição de nutrientes ao solo os principais causadores deste processo (MACEDO, 2009).

A introdução de sistemas de integração lavoura-pecuária (ILP), que consiste em alternar em uma mesma área o cultivo de espécies forrageiras para a produção de carne ou leite com culturas destinadas a produção de grãos, ou mais recentemente o sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) que é similar ao ILP, porém como a introdução de espécies florestais, tem sido apontados como sistemas promissores (BALBINO; BARCELLOS; STONE, 2011).

O que se deve ao fato dos sistemas mistos de produção agropecuária serem mais sustentáveis ambientalmente e socialmente que os sistemas especializados de produção de fibra, cereais e carne (WILKINS, 2008); a possibilidade de um maior número de *commodities* agrícolas (MARTHA JÚNIOR; ALVES; CONTINI, 2011); pela capacidade de sinergismo em que a fase lavoura do sistema propicia à

recuperação de pastagens degradadas; e a fase pecuária que permite o acúmulo de fitomassa sobre solo, essencial no sistema plantio direto (VILELA et al., 2011).

Embora a diminuição na lixiviação de nutrientes (OLIVEIRA et al., 2011), o aumento da biomassa microbiana (MUNIZ et al., 2011; SOUZA et al., 2010) e a agregação do solo (CONTE et al., 2011) são relatados como fatores benéficos da adoção do ILP. Por outro lado o aumento da densidade do solo (ARAÚJO et al., 2010), da resistência à penetração de raízes (TRACY; ZHANG, 2008) e a diminuição da infiltração de água (LANZANOVA et al., 2007) são fatores freqüentemente associados à ILP que podem comprometer sua viabilidade.

A compactação do solo pelo pisoteio animal é mais pronunciada nas camadas superficiais e depende da umidade do solo (SILVA; IMHOFF; CORSI, 2003), da lotação animal (BELL et al., 2011) e da altura de pastejo da espécie forrageira (MOREIRA et al., 2012). Em ILP seu efeito pode ser dissipado com o tempo de adoção (FRANZLUEBBERS; STUEDEMANN, 2008) e não interferir na produção de grãos (TRACY; ZHANG, 2008).

Em sistemas de ILPF a presença de espécies florestais propiciam a formação de duas áreas distintas: uma, próxima as árvores influenciada diretamente pela projeção da copa (área sombreada) e outra mais distante que recebe maior incidência solar. Em virtude da melhor condição térmica (menor temperatura) e melhor qualidade nutricional da espécie forrageira, a área sombreada é preferencialmente a mais utilizada por animais em pastejo (ALMEIDA et al., 2011), o que pode ocasionar maior compactação do solo neste local (PACIULLO et al., 2010).

Em regiões tropicais, com solos altamente intemperizados, a introdução de pastagens juntamente com lavouras em ILP e ILPF, podem ser também uma alternativa para promover o aumento do estoque de carbono do solo e a diminuição da emissão de $CO_2$ para a atmosfera (CARVALHO et al., 2010), em razão da capacidade de crescimento e potencial de acúmulo de carbono do sistema radicular das gramíneas forrageiras, principalmente as do gênero *Urocholoa* (MAIA et al., 2009) e, a possível formação de macroagregados (8 - 19 mm) que contenham maior quantidade de carbono orgânico (TIVET et al., 2013).

Embora a adoção dos sistemas integrados de produção tenham aumentado nos últimos anos, a maior parte dos estudos abordam a ILP, existindo uma lacuna

quanto a ILPF. De acordo com Macedo, Vale e Venturin (2010), existem inúmeras possibilidades de combinações de espécies florestais, forrageiras, culturas anuais, e arranjos estruturais que determinarão as interações entre os componentes e o manejo específico.

A hipótese deste estudo é que a densidade de árvores, a altura de pastejo da espécie forrageira, o tempo de pastejo e o local de amostragem nos sistemas de ILPF possam contribuir para alterações nos atributos físicos do solo, o teor e o estoque de carbono orgânico bem como a produtividade do capim Piatã e da cultura da soja.

O objetivo desta pesquisa foi avaliar os atributos físicos, o teor e o estoque de carbono orgânico de um Latossolo Vermelho sob sistemas integrados de produção no Cerrado brasileiro.

# 2 REVISÃO DE LITERATURA

## 2.1 Sistemas de produção agropecuário

Nas próximas décadas dois fatores exercerão significativa importância nos sistemas de produção agropecuário, o primeiro relacionado à necessidade do aumento da produção em decorrência ao aumento populacional mundial, pois até 2025 o mundo terá 7,9 bilhões de habitantes, 10% a mais do que os 7,2 bilhões atuais (FAO, 2013) e o segundo diz respeito as alteração que serão impostas aos sistemas e locais de produção em virtude das mudanças climáticas (IPCC, 2007). Embora sejam esperadas significativas alterações nos sistemas de produção agropecuários, todas irão convergir para sistemas que sejam sustentáveis ambientalmente, socialmente e economicamente (ALTIERI, 2002).

No processo de colonização o modelo de exploração agropecuária preconizou a substituição de florestas nativas por culturas de grãos e posteriormente por pastagens. A elevada extensão territorial, o baixo custo da terra e os incentivos governamentais fizeram que tal processo iniciado nas regiões sul e sudeste do país avançasse atingindo as regiões centro-oeste e norte no início da década 80, quando se buscava o aumento da área agricultável e o desbravamento de regiões interioranas (MACHADO; BALBINO; CECCON, 2011).

Nas últimas décadas, com a limitação da possibilidade da abertura de novas áreas agrícolas, uma nova tendência foi imposta aos sistemas de produção, onde se evidencia a necessidade da utilização de todos os recursos e técnicas disponíveis com vistas ao aumento da produtividade e sustentabilidade ambiental (ALTIERI, 2002).

É neste contexto que a adoção de sistemas mistos de produção como o sistema integração lavoura-pecuária (ILP) que consiste na implantação de diferentes sistemas produtivos de grãos, carne, leite, madeira, fibra, entre outros, na mesma área, em plantio consorciado, sequencial ou rotacional (MACEDO, 2009) são tidos como promissores (BALBINO; BARCELLOS; STONE, 2011). Isto em razão de disponibilizarem um maior número de *commodities* agrícolas aos produtores (MARTHA JÚNIOR; ALVES; CONTINI, 2011) e podem ser adaptáveis as

peculiaridades regionais e da propriedade, como condições de clima e de solo, infraestrutura, experiência do produtor e tecnologia disponível (VILELA et al., 2011).

A adoção de sistemas integrados de produção, como o ILP, ocorre desde a domesticação dos animais e o cultivo de plantas (MACHADO; BALBINO; CECCON, 2011). Na agropecuária atual, os sistemas integrados baseiam-se em sistema altamente tecnificados onde se explora ao máximo a capacidade de sinergismo entre as atividades (VILELA et al., 2011).

No Brasil, a introdução de sistemas integrados de produção mais precisamente a ILP, ocorreu no final de década de 80, na ocasião da abertura das novas fronteiras agrícolas na região centro-oeste, como alternativa para a minimização de custos da formação de pastagens (KLUTHCOUSKI; AIDAR, 2003); em um segundo momento, a expansão dos sistemas de ILP, na região centro oeste, foi baseada na implantação de pastagens, principalmente com espécies do gênero *Urochloa* em áreas até então exploradas com lavoura com o intuito da produção de fitomassa (palhada) sobre o solo (MACHADO; BALBINO; CECCON, 2011) ou com a implantação de lavouras, principalmente de soja, em áreas sob pastagens degradadas com o objetivo de recupera-las a um baixo custo (MACEDO, 2009).

De acordo com IBGE (2006) 3 milhões de hectares dos solos sob pastagens na região centro-oeste se encontram degradadas. Estima-se que a recuperação das pastagens, desta região, por meio da adoção de sistemas de ILP possa proporcionar um aumento de 20% e 16% da produção nacional de grãos e carne bovina respectivamente, o que colocaria o país como maior produtor mundial destes produtos, sem a necessidade da abertura de novas áreas (MARTHA JÚNIOR; ALVES; CONTINI, 2011).

Além dos sistemas de ILP, vem ganhando atenção por parte de pesquisadores e produtores os sistemas de integração lavoura pecuária floresta (ILPF), o quais são semelhantes aos sistemas de ILP, porém, com a implantação de espécies florestais (BALBINO; BARCELLOS; STONE, 2011; MACEDO, 2009). A introdução de árvores (espécies florestais) em pastagens nos sistemas de ILPF além de possibilitar mais uma alternativa de renda ao produtor (MARTHA JÚNIOR; ALVES; CONTINI, 2011), propicia, para os animais em pastejo, melhores condições ambientais (proteção contra geadas, ventos, chuvas e altas temperaturas) que são

determinantes para a produção de carne e leite (LEME et al., 2005). Além disso, a criação de animais em pastagens devidamente arborizadas é capaz de contribuir para o seqüestro de carbono, menor emissão de óxido nitroso ($N_2O$) e para a mitigação de gás metano ($CH_4$) pelos ruminantes, contribuindo assim para um menor aquecimento global (BALBINO; CORDEIRO; MARTÍNEZ, 2011).

Embora as áreas cultivadas com ILP e ILPF tenham apresentado crescimento constante nos últimos anos, a capacidade de investimento dos produtores rurais aliado a um carência de informações técnicas como, por exemplo, a dinâmica dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo (VILELA et al., 2011), assim como estudos sobre a disposição e densidade de árvores, considerando-se ILPF, são fatores que contribuem negativamente  para uma maior expansão dos sistemas de ILP e ILPF.

## 2.2 Atributos físicos x uso e manejo do solo

A intensificação do uso agropecuário do solo com vistas ao aumento da produtividade, na maioria das vezes, causa uma séria de alterações que podem comprometer sua funcionalidade em suportar o desenvolvimento de plantas e por consequência sua sustentabilidade (DE BIE et al., 1996).

Em relação aos atributos físicos do solo suas alterações estão relacionadas a forma ou a estabilidade da sua estrutura (CASTRO FILHO; MUZILLI; PODANOSCHI, 1998) e dependentes do sistema de uso e práticas de manejo (BONO; MACEDO; TORMENA, 2013).

A compactação do solo, que consiste na compressão do solo não saturado e que provoca reorganização estrutural das partículas e seus agregados (GUPTA; ALLMARAS, 1987) é um dos principais problemas de ordem física e pode comprometer a produtividade das culturas (BEUTLER et al., 2006; BONELLI et al., 2011).

Em solos explorados com agricultura a compactação esta relacionado ao tráfego de máquinas (DIAS JÚNIOR, 2000). Por sua vez, em solos sob pastagem sua origem esta associada ao pisoteio animal (COLLARES et al., 2011; MARTÍNEZ; ZINCK, 2004). Embora a pressão exercida por bovinos sobre o solo varie em função

da raça, idade e categoria animal, existe um consenso a respeito de que estas pressões, quando o animal esta em movimento, são entre 300 e 400 kPa (PROFFITT; BENDOTTI; MCGARRY, 1995; RESZKOWSKA et al., 2010) que é semelhante a pressão exercida por um trator agrícola de 5979 kg de massa (353 kPa) (MACHADO et al., 2005).

A compactação do solo decorrente do pisoteio animal pode ser potencializada em função da lotação animal (BELL et al., 2011), umidade do solo (SILVA; IMHOFF; CORSI, 2003), tipo de solo (CORREA; REICHARDT, 1995) e altura de pastejo da espécie forrageira (MOREIRA et al., 2012) sendo seus efeitos mais pronunciados nas camadas superficiais (LANZANOVA et al., 2007).

O aumento da densidade do solo ($\rho_s$) e diminuição da porosidade total e macroporosidade foram relatados por Santos et al. (2011) em um Latossolo e por Santos et al. (2010) em um Argissolo Vermelho Amarelo cultivados com *Urochloa* e pastejado por 2 e 25 anos, respectivamente. De acordo com (IMHOFF; SILVA; TORMENA, 2000; MARCHÃO et al., 2007; SILVA; IMHOFF; CORSI, 2003) todos os solos sob pastejo sofrem compactação, porém Santos et al. (2011) ao estudarem atributos físicos do solo em sistema de plantio convencional, pastagem contínua e ILP, durante dois anos, constataram que somente o plantio convencional apresentou aumento da densidade do solo e diminuição da porosidade total.

O estudo da dinâmica da resistência mecânica a penetração de raízes de um Argissolo, durante 50 anos de pastejo, indicou que as maiores alterações ocorreram nos primeiros anos de pastejo, sendo diminuídas ou imperceptíveis com o tempo de uso (BACHMANN et al., 2006), o que evidencia a capacidade das pastagens em condicionarem melhorias na qualidade física do solo (GARCÍA-PRÉCHAC et al., 2004).

Os benefícios físicos que as pastagens, principalmente as gramíneas, podem proporcionar ao solo estão relacionadas as características do sistema radicular (MAIA et al., 2009), capaz de se desenvolver uniformemente ao longo do perfil do solo e atingir camadas profundas, até 1 m, como relatado por Santos et al. (2007) para *Urochloa* brizantha em Latossolo Vermelho, e também às exsudações radiculares ricas em polissacarídeos que auxiliam no processo de agregação (SALTON et al., 2008).

Semelhante a sistemas exclusivos de pastagens em sistemas de ILP também ocorre a compactação do solo, a qual é causada pelo tráfego de máquinas na fase lavoura e pelo pisoteio animal da fase pecuária do sistema (CONTE et al., 2011; LANZANOVA et al., 2007). Petean et al. (2009) em um Latossolo Vermelho em sistema de ILP com o cultivo com soja no verão e aveia e azevém como espécie forrageira, pastejada do outono até a primavera, encontraram aumento da densidade do solo e diminuição da porosidade total e macroporosidade após, 3 anos de implantação do sistema. Porém, Moreira et al. (2012) ao avaliar o mesmo experimento após 8 anos de implantação constatou diminuição da densidade do solo e melhoria dos atributos físicos o que foi atribuído a resiliência física do solo.

De acordo com Santos et al. (2011) a utilização de pastagem em rotação com lavoura em ILP, após 4 anos, não favoreceu a qualidade física do solo em comparação com pastagem contínua. Embora Tracy e Zhang (2008) também tenham encontrado aumento da densidade do solo e resistência mecânica a penetração de raízes em um sistema de ILP, tais alterações não diminuíram a produtividade de milho. Spera et al. (2009) também encontrou aumento da densidade do solo em sistemas de ILP porém não obteve decréscimo na produtividade de soja e trigo quando comparado a área não pastejadas.

O não declínio da produtividade das culturas anuais, após o pastejo em sistemas de ILP, não se deve a capacidade das culturas em se desenvolver em solos compactados (COLLARES et al., 2011), mas sim a uma melhoria global dos solos em sistemas de ILP que se estendem desde aspectos biológicos (SOUZA et al., 2010) até o aumento da disponibilidade de nitrogênio (TRACY; ZHANG, 2008).

O processo de compactação em solos cultivados com pastagens esta relacionado também ao comportamento animal, ou seja, a maneira e a intensidade de movimentação dos animais no pasto (CAVALLINI et al., 2010). A presença de árvores em pastagens como nos sistemas agroflorestais ou integração lavoura pecuária floresta, propicia a formação de zonas contrastantes, onde as áreas sob a projeção das copas são sombreadas e permite menor incidência de raios solares quando comparado as regiões entre os renques de árvores (ALMEIDA et al., 2011). Paciullo et al. (2010) encontraram em um sistema de ILPF com Eucalipto diminuição de 22,5% na biomassa de *Urochloa decumbens* na faixa arborizada comparado a

área sem a influência das árvores, embora Almeida et al. (2011) também tenham encontrado menor produtividade de *Urochloa piatã* em áreas sob influencia de sombreamento de Eucalipto em sistemas de ILPF, os autores concluíram que o sombreamento propiciou melhor qualidade nutricional da forrageira constatado pelo maior teor de proteína bruta.

A melhor qualidade nutricional da forrageira associada a melhor condição climática, fazem das áreas sombreadas as mais utilizadas pelos animais em pastejo em sistemas de ILPF, o que pode ocasionar maior compactação do solo, como em áreas próximas a carreadores, cochos e bebedouros (AZENEGASHE; ALLEN; FONTENOT, 1997).

## 2.3 Carbono orgânico e estoques de carbono

A constituição de um solo agrícola ideal preconiza que em sua composição existam entre 4 a 5% de compostos orgânicos, quantidade esta relativamente pequena comparado a sua capacidade em melhorar as condições químicas, físicas e biológicas do solo (BRADY; WEIL, 2012). O aumento do carbono orgânico é frequentemente associado ao aumento da capacidade de troca de cátions (CIOTTA et al., 2003), da agregação solo (SALTON et al., 2008) e do coeficiente de atividade microbiológica (SOUZA et al., 2010).

Embora sejam amplamente conhecidos os efeitos positivos do carbono orgânico sobre atributos do solo, é pouco comum encontrar solos sob exploração agropecuária com grandes quantidades (SALTON et al., 2011). Em sistemas sem ação antrópica, a dinâmica do carbono no solo tende a ser equilibrada. Por sua vez, a substituição da vegetação nativa por sistemas agropecuários causam diminuição na quantidade de carbono (LAL, 2005). Todavia o uso e o sistema de manejo impostos ao solo, após a substituição da vegetação nativa, irão determinar a amplitude do desequilíbrio na quantidade carbono (CONCEIÇÃO; DIECKOW; BAYER, 2013).

De acordo com Lutzow et al. (2006) a inacessibilidade ao carbono presente nos agregados, a preservação seletiva por meio da recalcitrância bioquímica e a proteção química por meio da interação com as superfícies minerais são os três

principais mecanismos que controlam o manutenção da quantidade de carbono no solo. No entanto, Tivet et al. (2013) afirmaram que o aumento da quantidade de carbono orgânico do solo se dá principalmente pelo aporte de resíduos vegetais.

Tanto a manutenção como o aumento da quantidade de carbono relacionam-se com o processo de formação e estabilização de agregados, pois são no interior dos agregados que se encontram grande parte do carbono orgânico presente no solo (TISDALL; OADES, 1982). De acordo com Oades (1984) a agregação do solo consiste em uma série de processos de organização hierárquica com diferentes estágios de agregação, que se iniciam com formação dos microagregados pela união das partículas primárias mediante ação de óxidos de ferro e alumínio e a posterior estabilização dos agregados, com a formação de macroagregados (união de microagregados) pela atuação de hifas de fungos e raízes.

A adoção do sistema de plantio direto ou pastagens, bem manejadas, são frequentemente citados como sistemas de uso do solo eficientes em aumentar a quantidade de carbono no solo (MACEDO, 2009; MARCHÃO et al., 2009; SALTON et al., 2011). No caso do plantio direto, tal fato se explica pela entrada contínua ao solo de resíduos vegetais que irão aumentar a estabilização dos agregados e pelo não revolvimento que permite maior proteção do carbono orgânico presente nos interior dos agregados (CONCEIÇÃO; DIECKOW; BAYER, 2013; TIVET et al., 2013) e, em pastagens, principalmente pela atuação do sistema radicular das espécies forrageiras, que além de propiciar aproximação física de partículas primárias do solo, devido a sua capacidade de crescimento, ainda promovem a liberação de exsudados que tem atuação direta no processo de estabilização dos agregados (SALTON et al., 2008).

De acordo com Carvalho et al. (2010), a introdução de culturas anuais e pastagens em sistemas de ILP resultam em acumulação de carbono ao solo. Porém, a quantidade de carbono acumulado depende das espécies envolvidas, condições edafo climáticas e tempo de adoção do sistema. A utilização de um Latossolo Vermelho com sistema de ILP por nove anos proporcionou valores intermediários no estoque de carbono orgânico quando comparado a lavoura continua e pastagem (SALTON et al., 2011). Neste mesmo estudo, a quantidade de carbono orgânico acumulada nos sistemas de ILP foi entre 0,60 – 0,43 Mg $ha^{-1}$ $ano^{-1}$, inferior aos

valores entre 1,35 – 1,03 Mg $ha^{-1}$ $ano^{-1}$, encontrados por Carvalho et al. (2010), em um Latossolo Vermelho a quatro anos sob ILP.

De acordo com Marchão et al. (2009), a maior taxa de acúmulo de carbono em sistemas de ILP acontece nos primeiros anos de implantação, sendo diminuída posteriormente, o que segundo Conceição, Dieckow e Bayer ( 2013) se deve a capacidade específica de armazenamento de carbono que cada solo possui.

Assim como os sistemas de ILP os sistemas de ILPF também podem ser eficientes em aumentar a quantidade de carbono do solo (THANGATA; HILDEBRAND, 2012). Kumar, Udwatta e Anderson (2010) conduziram um estudo para comparar a densidade radicular e o estoque de carbono em um sistema silvopastoril e pastagem, ambos com sete anos de implantação em Missouri, EUA. Os autores concluíram que o sistema silvopastoril apresentou maior estoque de carbono o que foi creditado a maior densidade radicular.

Embora no Brasil ainda não existam grande número de pesquisas sobre o acumulo de carbono orgânico no solo em sistemas de ILPF, Tonucci et al. (2011) afirmaram que a introdução dos sistemas de ILPF na região do Cerrado brasileiro pode proporcionar aumento na quantidade de carbono seqüestrado. Isto devido ao acumulo de carbono no solo decorrente da presença de maior diversidade radicular e pela maior produção de biomassa (cultura anual, pastagem e espécies florestal), que também foi constatado por Müller et al. (2010), em um sistema silvopastoril misto com 10 anos de implantação.

# 3 MATERIAL E MÉTODOS

## 3.1 Área de estudo e tratamentos

A pesquisa foi realizada na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte (Embrapa-CPGC), em Campo Grande, MS, Brasil (20º27'S e 54º37W; 530 m de altitude) (Figura 1A).

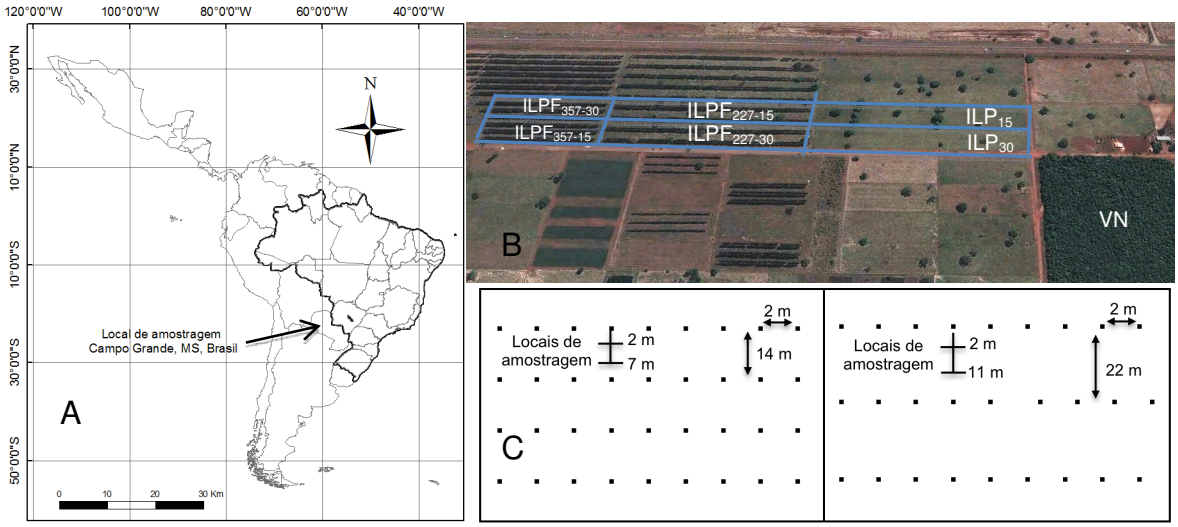


Figura 1. Localização do local de amostragem (A), croqui da área experimental (B) e pontos de amostragem nos sistemas sob ILPF (C).

O clima do local encontra-se na transição entre os padrões climáticos Cfa e Aw segundo o sistema de classificação de Koppen, com 22,8 ºC e 1.500 ± 220 mm, de temperatura e precipitação média anual respectivamente.

O material que originou os solos da região é composto por derrames basálticos do período Cretáceo, caracterizado por basalto e basalto andesito de filiação toleítica intercalados com camadas de arenito, formação Serra Geral. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico (LVd) (EMBRAPA, 2013) ou Oxisol (SOIL SURVEY STAFF, 2010) ou Ferrassol (FAO, 2006), cuja composição granulométrica na camada de 0 - 0,20 m foi de 389 ± 0,22 g $kg^{-1}$ argila, 71 ± 0,16 g $kg^{-1}$ silte e 540 ± 0,15 g $kg^{-1}$ areia.

Os tratamentos foram sete sistemas de uso do solo, dos quais seis se constituíram de sistema integrados de produção (ILP e ILPF), com diferentes alturas

de pastejo e densidades de árvores e um sob vegetação nativa, os quais estão descritos detalhadamente na Tabela 1.

Tabela 1. Descrição dos tratamentos utilizados no estudo.

| Abreviação | Descrição |
|---|---|
| $ILPF_{357-15}$ | Integração lavoura-pecuária-floresta, com o cultivo de soja, eucalipto com densidade de 357 árvores $ha^{-1}$ e capim Piatã, pastejado com altura de 0,15 m. |
| $ILPF_{357-30}$ | Integração lavoura-pecuária-floresta, com o cultivo de soja, eucalipto com densidade de 357 árvores $ha^{-1}$ e capim Piatã pastejado com altura de 0,30 m. |
| $ILPF_{227-15}$ | Integração lavoura-pecuária-floresta, com o cultivo de soja, eucalipto com densidade de 227 árvores $ha^{-1}$ e capim Piatã pastejado com altura de 0,15 m. |
| $ILPF_{227-30}$ | Integração lavoura-pecuária-floresta, com o cultivo de soja, eucalipto com densidade de 227 árvores $ha^{-1}$ e capim Piatã pastejado com altura de 0,30 m. |
| $ILP_{15}$ | Integração lavoura-pecuária com o cultivo de soja e capim Piatã, pastejado com altura de 0,15 m. |
| $ILP_{30}$ | Integração lavoura-pecuária com o cultivo de soja e capim Piatã, pastejado com altura de 0,30 m. |
| VN | Vegetação de Cerrado nativo, com espécies vegetais do tipo tropófilas caducifólias. |

Em cada sistema de uso foram delimitadas sete áreas de 300 $m^2$, as quais constituíram as parcelas experimentais, sendo utilizado um delineamento inteiramente casualizado.

A área experimental ocupada com ILP e ILPF (Figura 1B) foi desbravada em 1980 e utilizada durante 27 anos por pastejo contínuo. Em 2008, antes da instalação dos sistemas ILP e ILPF, foram aplicados 3 Mg $ha^{-1}$ de calcário dolomítico e posteriormente preparado com subsolagem e duas gradagens. A adubação de semeadura da cultura da soja foi mediante a aplicação de 300 kg $ha^{-1}$ do formulado 05-25-15. Em novembro de 2008 as sementes de soja (*Glycine max L.* cv. BRS 245 RR) foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* e semeadas em espaçamento de 0,45 m entre linhas (300.000 plantas $ha^{-1}$). Em janeiro de 2009, nos tratamentos com densidade de árvores de 357 árvores $ha^{-1}$ (14 m entre linhas x 2 m entre árvores) e 227 árvores $ha^{-1}$ (22 m entre linhas x 2 m entre ávores) foi realizado o plantio de eucalipto (*Eucalyptus urograndis* clone H13). Após a colheita da cultura da soja em abril de 2009, procedeu-se a semeadura do capim Piatã (*Urochloa brizantha*

cv. Piatã), na quantidade de 4 kg $ha^{-1}$ de sementes puras viáveis. As culturas foram conduzidas sob as praticas culturais recomendas para a cultivo da soja (EMBRAPA, 2006), eucalipto (MELOTTO; LAURA; BUNGENSTAB, 2011) e capim Piatã (GONTIJO NETO et al., 2006).

Em abril 2010, nos tratamentos com ILP e, em maio de 2010, nos tratamentos com ILPF (quando as plantas de eucalipto atingiram 0,07 m de diâmetro) foram introduzidos, para pastejo, bovinos da raça Nelore com aproximadamente 160 kg de peso vivo, os quais foram submetidos ao sistema de pastejo contínuo, com lotação animal variável, onde animais eram introduzidos ou removidos de modo a manter a altura de pastejo em 0,15 ou 0,30 m.

No mês de outubro de 2012, nos sistemas sob ILP e ILPF, foi realizada a aplicação de 2 Mg $ha^{-1}$ de calcário dolomítico, e posterior dessecação do capim Piatã com a aplicação de herbicida glifosato (1800 g $ha^{-1}$ do i.a.) com volume de calda de 250 L $ha^{-1}$. Em dezembro de 2012, procedeu-se a semeadura de soja cultivar BRS 318 RR, em espaçamento de 0,45 m (300.000 plantas $ha^{-1}$), inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* e adubadas com 100 kg $ha^{-1}$ do formulado 0-20-20, sendo realizados todos os tratos culturais recomendados (EMBRAPA, 2011).

### 3.2 Amostragem e análises laboratoriais

Em janeiro de 2011 (época 1) e em outubro de 2012 (época 2), foram coletadas nas camadas de 0 - 0,10 m e 0,10 - 0,20 m, sete amostras de solo com estrutura indeformada, sete com estrutura deformada e sete anéis volumétricos de 100 $cm^{-3}$ (5,05 cm de diâmetro e 5,00 cm de altura). Nos sistemas com ILPF, com intuito de comparar a influência da projeção da copa sobre as variáveis estudadas, as amostras foram coletadas na metade do espaçamento entre os reques de árvores (7 m nos tratamentos $ILPF_{357\text{-}15}$ e $ILPF_{357\text{-}30}$ e 11 m nos tratamentos $ILPF_{227\text{-}15}$ e $ILPF_{227\text{-}30}$) denominado de sol e a 2 m do tronco das árvores, denominado de sombra (Figura 1C).

A estabilidade de agregados foi determinada nas amostras com estrutura indeformada pelo método do peneiramento úmido (NIMMO; PERKINS, 2002). Utilizou-se de 50 g de agregados secos ao ar, com tamanho entre 4,75 e 8,00 mm,

que foram colocados no topo de um conjunto de peneiras com abertura de 4,75, 2,00, 1,00, 0,50 e 0,25 mm e agitadas verticalmente com 30 oscilações por minuto, durante 30 minutos. As frações retidas em cada peneira foram separadas e secas em estufa a 105 ºC por 24 h. Posteriormente, efetuou-se o cálculo do diâmetro médio ponderado (DMP) e do diâmetro médio geométrico (DMG), de acordo com as equações 1 e 2.

$$DMP = \sum xiyi \qquad \text{(Equação 1)}$$

onde: DMP: diâmetro médio ponderado (mm), *xi*: proporção da classe de agregados em relação ao total (%) e *yi*: diâmetro médio do classe de agregados (mm).

$$DMG = \exp\left(\frac{\sum wi \ln xi}{\sum wi}\right) \qquad \text{(Equação 2)}$$

onde: DMG: diâmetro médio geométrico (mm), *wi*: massa de agregados na classe (g) e *xi*: proporção da classe de agregados em relação ao total.

Os anéis volumétricos foram saturados em água por 48 h e, posteriormente submetidos a sucção de 0,006 MPa em mesa de tensão (ROMANO; HOPMAMS, 2002). Após atingirem o equilíbrio, os anéis volumétricos foram pesados e secos em estufa a 105 ºC por 24 h para determinação da densidade do solo ($\rho_s$) (GROSSMAN; REINSCH, 2002).

As amostras de solo com estrutura deformada foram secas ao ar e passadas em peneira com abertura de 2,00 mm. A densidade de partícula ($\rho_p$) foi determinada pelo método do picnômetro (FLINT; FLINT, 2002), sendo valor médio encontrado igual a 2,58 $\pm$ 0,09 Mg m$^{-3}$.

A porosidade total ($f_t$) foi determinada de acordo com a equação 3. A microporosidade ($f_{mi}$) foi estimada pelo conteúdo de água retido na sucção de 0,006 MPa, obtida na mesa de tensão de acordo como o método proposto por (EMBRAPA, 2011) e, a macroporosidade ($f_{ma}$) (poros com tamanho > 50 μm) pela diferença entre porosidade total e microporosidade.

$$ft = 1 - \left(\frac{\rho s}{\rho p}\right) \qquad \text{(Equação 3)}$$

onde: *ft:* porosidade total (m$^3$ m$^{-3}$), $\rho_s$: densidade do solo (Mg m$^{-3}$) e $\rho_p$: densidade de partícula (Mg m$^{-3}$).

O teor de carbono orgânico (CO) foi determinado pelo método da oxidação por dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) à 170 – 180 ºC, seguido pela titulação com sulfato ferroso ($FeSO_4$) 0,1 mol $L^{-1}$ (WALKLEY; BLACK, 1934). O cálculo do estoque de carbono orgânico ($CO_{est}$) foi realizado pelo método da massa equivalente de solo (ELLERT; BETTANY, 1995), sendo considerada como referência a massa do solo sob vegetação nativa (VN), utilizando-se a equação 4.

$$COest = [COcamada * \rho camada * espessura * 10^{-3} * 10^{-4}] \quad \text{(Equação 4)}$$

onde: $CO_{est}$: estoque de carbono orgânico do solo (Mg $ha^{-1}$), *COcamada*: carbono orgânico na camada (kg $Mg^{-1}$), $\rho_s$ densidade do solo na camada (Mg $m^{-3}$) e espessura: espessura da camada (m).

Em outubro de 2012, antes da dessecação, nos mesmos locais das coletas das amostras de solo, foram coletadas na superfície do solo com o auxílio de um quadro de 0,25 $m^2$, sete amostras de capim Piatã em cada sistema de ILP e ILPF. As amostras foram secas em estufa a 65 ºC por 72 h para a determinação da matéria seca de forragem (MS). A produtividade de grãos de soja (PGS) foi obtida, no segundo ciclo de cultivo da cultura, em sete pontos por sistemas de uso, em uma área de 3 $m^2$, sendo a umidade corrigida para 13%.

Nos sistemas sob ILPF a extrapolação dos resultados de MS e PGS para hectare levou em consideração a perda de 14% da área em $ILPF_{357\text{-}15}$ e $ILPF_{357\text{-}30}$ e 9% em $ILPF_{227\text{-}15}$ e $ILPF_{227\text{-}30}$ devido a estas estarem ocupadas pela cultura do eucalipto.

### 3.3 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos aos testes de Cramér-von-Mises e Box Cox, ambos a 0,05 de probabilidade, para verificação da normalidade dos resíduos e homocedasticidade das variâncias, respectivamente.

Com o intuito de se avaliar os efeitos dos sistemas de uso e épocas de amostragem sobre os atributos edáficos, realizou-se análise de variância, de forma isolada para cada camada, em um delineamento inteiramente casualizado em parcelas subdvididas, sendo as parcelas consideradas os sistemas de uso e, nas subparcelas as épocas de amostragem. Para as variáveis MS e PGS utilizou-se um

delineamento inteiramente casualizado. Nos sistemas sob ILPF, para todas as variáveis, consideram-se os resultados obtidos na distância média entre os renques de árvores

A influência das árvores sobre os atributos edáficos e características produtivas das espécies vegetais nos sistemas sob ILPF, foi avaliado pela análise de variância em um delineamento inteiramente casualizado em parcelas subdivididas, onde na parcela foram considerados os sistemas de uso e na subparcela o local de amostragem. Em relação aos atributos edáfico procedeu a análise isolada para cada camada e consideraram-se apenas os resultados obtidos na segunda época de amostragem.

Em ambas as análises, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey à 0,05 de probabilidade, utilizando-se o *software* R.

## 4 RESULTADOS

A análise de variância mostrou diferença significativa na densidade do solo ($\rho_s$), na porosidade total ($f_t$), na macroporosidade ($f_{ma}$) e microporosidade ($f_{mi}$), em relação aos sistemas de uso (S), nas camadas de 0 - 0,10 e 0,10 - 0,20 m ($p < 0,01$). Nas épocas de amostragem (E) houve diferença significativa na $\rho_s$, $f_t$, $f_{ma}$ e $f_{mi}$, na camada de 0 - 0,10 m e na $\rho_s$ e $f_t$ na camada de 0,10 - 0,20 m ($p < 0,01$). Houve interação significativa entre S x E para a $\rho_s$ nas camadas de 0 - 0,10 e 0,10 - 0,20 m ($p < 0,05$) (Tabela 2).

Tabela 2. Densidade do solo ($\rho_s$), porosidade total ($f_t$), macroporosidade ($f_{ma}$) e microporosidade ($f_{mi}$) nos sistemas de uso e épocas de amostragem em nas camadas de 0 - 0,10 e 0,10 - 0,20m

| Tratamento | 0 - 0,10 m | | | | 0,10 - 0,20 m | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\rho_s$ | $f_t$ | $f_{ma}$ | $f_{mi}$ | $\rho_s$ | $f_t$ | $f_{ma}$ | $f_{mi}$ |
| | Mg m$^{-3}$ | ----------m$^3$ m$^{-3}$---------- | | | Mg m$^{-3}$ | ----------m$^3$ m$^{-3}$---------- | | |
| Sistema (S) | | | | | | | | |
| $ILPF_{357-15}$ | 1,41 $^a$ | 0,48 $^c$ | 0,17 $^b$ | 0,31 $^a$ | 1,48 $^a$ | 0,49 $^c$ | 0,20 $^b$ | 0,29 $^a$ |
| $ILPF_{357-30}$ | 1,37 $^a$ | 0,50 $^c$ | 0,21 $^b$ | 0,29 $^a$ | 1,43 $^a$ | 0,50 $^c$ | 0,20 $^b$ | 0,30 $^a$ |
| $ILPF_{227-15}$ | 1,31 $^b$ | 0,50 $^c$ | 0,18 $^b$ | 0,32 $^a$ | 1,34 $^b$ | 0,49 $^c$ | 0,20 $^b$ | 0,29 $^a$ |
| $ILPF_{227-30}$ | 1,34 $^b$ | 0,50 $^c$ | 0,18 $^b$ | 0,32 $^a$ | 1,37 $^b$ | 0,50 $^c$ | 0,20 $^b$ | 0,30 $^a$ |
| $ILP_{15}$ | 1,22 $^c$ | 0,54 $^b$ | 0,21 $^b$ | 0,33 $^a$ | 1,19 $^c$ | 0,56 $^b$ | 0,24 $^b$ | 0,32 $^a$ |
| $ILP_{30}$ | 1,25 $^c$ | 0,54 $^b$ | 0,18 $^b$ | 0,36 $^a$ | 1,16 $^c$ | 0,54 $^b$ | 0,23 $^b$ | 0,31 $^a$ |
| VN | 0,95 $^d$ | 0,59 $^a$ | 0,33 $^a$ | 0,26 $^b$ | 0,93 $^d$ | 0,60 $^a$ | 0,37 $^a$ | 0,23 $^b$ |
| CV (%) | 7,28 | 9,10 | 5,16 | 10,40 | 6,80 | 8,75 | 9,98 | 4,98 |
| Época (E) | | | | | | | | |
| Época 1 | 1,22 $^b$ | 0,55 $^a$ | 0,24 $^a$ | 0,30 $^b$ | 1,29 $^a$ | 0,53 $^a$ | 0,23 | 0,30 |
| Época 2 | 1,30 $^a$ | 0,51 $^b$ | 0,17 $^b$ | 0,32 $^a$ | 1,25 $^b$ | 0,51 $^b$ | 0,22 | 0,29 |
| CV (%) | 6,10 | 8,20 | 9,10 | 11,01 | 8,89 | 4,72 | 8,16 | 9,27 |
| | | | | Teste F | | | | |
| Sistema (S) | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** |
| Época (E) | ** | ** | ** | ** | ** | ** | NS | NS |
| S x E | * | NS | NS | NS | * | NS | NS | NS |

**, *, NS: significativo a 0,01, 0,05 e não significativo. CV: coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra, na mesma camada, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Nas camadas de 0 - 0,10 e 0,10 - 0,20 m os sistemas sob ILPF, independente do número de árvores e altura de pastejo, proporcionaram menor $f_t$. Por sua vez, os valores de $f_{ma}$ e $f_{mi}$ em ILPF e ILP foram iguais, sendo menores e maiores,

respectivamente, do que na VN. Na camada de 0 - 0,10 m houve diminuição de 8% da $f_t$ e 30% da $f_{ma}$ e aumento de 6% da $f_{mi}$ na época 2, na camada de 0,10 - 0,20 m, embora também tenha ocorrido diminuição da $f_t$ na época 2 esta foi de 4% (Tabela 2).

A maior $\rho_s$ obtida na época 1 e camada de 0 - 0,10 m foi de 1,42 Mg $m^{-3}$ em $ILPF_{357-15}$ que foi 49% maior que a VN (0,95 Mg $m^{-3}$) (Figura 2); os demais sistemas apresentaram $\rho_s$ iguais e foram intermediários entre $ILPF_{357-15}$ e VN. Na época 2 e camada 0 - 0,10 m $ILPF_{357-15}$ (1,41 Mg $m^{-3}$), $ILPF_{357-30}$ (1,45 Mg $m^{-3}$ ), $ILPF_{227-15}$ (1,36 Mg $m^{-3}$) e $ILPF_{227-30}$ (1,44 Mg $m^{-3}$) tiveram a maior $\rho_s$ e VN a menor (0,82 Mg $m^{-3}$) embora a $\rho_s$ de $ILP_{15}$ (1,25 Mg $m^{-3}$) e $ILP_{30}$ (1,30 Mg $m^{-3}$ ) tenham sido maior que a VN estas ainda foram inferiores aos sistemas sob ILPF. Na camada de 0 - 0,10 m os sistemas que utilizaram altura de pastejo de 0,30 m ($ILPF_{357-30}$, $ILPF_{227-30}$ e $ILP_{30}$) tiveram aumento na $\rho_s$ na época 2 (Figura 2).

Na época 1 e camada de 0,10 - 0,20 m, embora $ILPF_{357-15}$ ainda tenha apresentado maior $\rho_s$ (1,56 Mg $m^{-3}$) e VN menor (0,95 Mg $m^{-3}$) como verificado na camada de 0 - 0,10 m, os valores obtidos em $ILP_{15}$ (1,18 Mg $m^{-3}$) e $ILP_{30}$ (1,20 Mg $m^{-3}$) foram menores que $ILPF_{357-30}$ (1,40 Mg $m^{-3}$), $ILPF_{227-15}$ (1,37 Mg $m^{-3}$) e $ILPF_{227-30}$ (1,35 Mg $m^{-3}$). Na época 2 e camada 0,10 - 0,20 m todos os sistemas com ILPF tiveram $\rho_s$ iguais e foram superiores a VN e, os sistemas de ILP tiveram valores intermediários. Em $ILPF_{357-15}$ e $ILP_{30}$ foi constatado diminuição da $\rho_s$ na época 2 (Figura 2).

O diâmetro médio geométrico (DMG) e o diâmetro médio ponderado (DMP) apresentaram diferença estatística significativa em relação ao E ($p < 0,05$) na camada de 0 - 0,10 m. Na camada de 0,10 - 0,20 m o DMG apresentou diferença significativa para S ($p < 0,05$) (Tabela 3).

O DMG de 4,89 mm e o DMP de 5,83 mm obtidos na época 1 na camada de 0 - 0,10 m foram aumentados respectivamente para 5,49 mm (12% de aumento) e 6,06 mm (4% de aumento) na época 2 (Tabela 3). Na camada de 0,10 - 0,20 m $ILPF_{357-15}$ (4,18 mm) e $ILPF_{357-30}$ (4,35 mm) apresentaram os menores valores de DMG, os demais sistemas foram iguais inclusive à VN.

Nas camadas de 0 - 0,10 e 0,10 - 0,20 m houve diferença significativa no teor de carbono orgânico (CO) e no estoque de carbono ($CO_{est}$), em relação a S e a E ($p$

< 0,01). Houve interação significativa entre S e E para CO e $CO_{est}$ na camada de 0 - 0,10 m ($p < 0,01$) (Tabela 4).

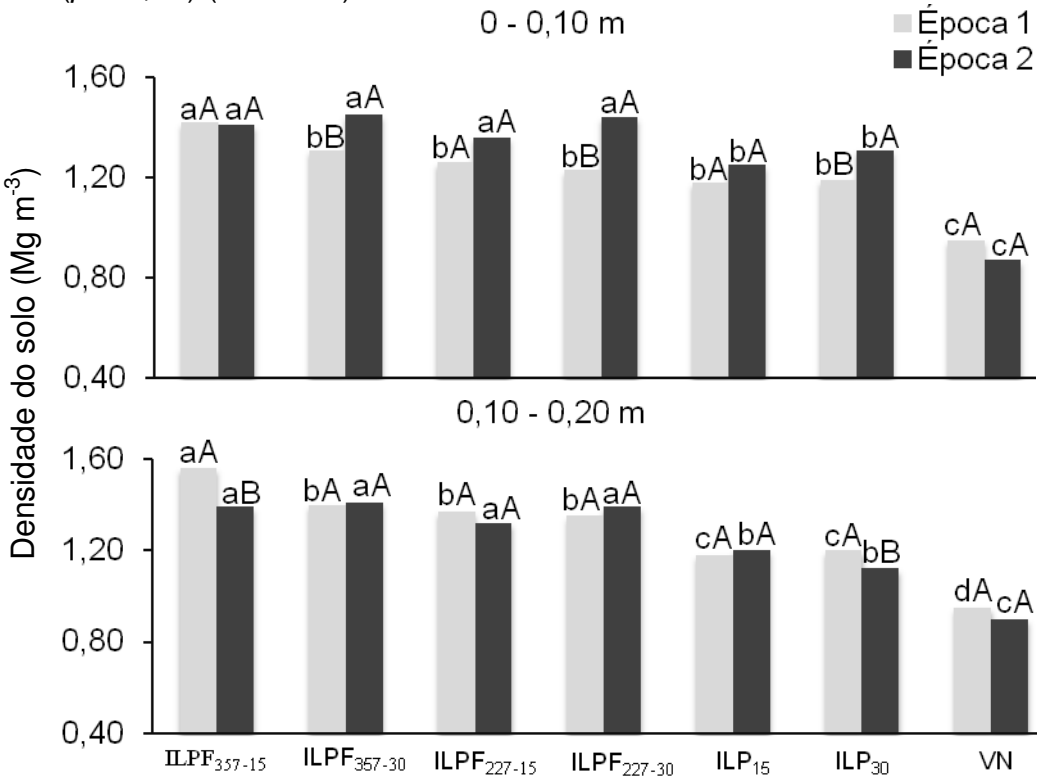


Figura 2. Densidade do solo referente ao desdobramento da interação entre sistemas de uso (S) e época de amostragem (E). Médias seguidas pela mesma letra minúsculas entre sistemas de uso e maiúscula, entre épocas de amostragem, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Na camada de 0,10 - 0,20 m os menores valores de CO e $CO_{est}$ foram encontrados em $ILPF_{357-15}$ (28,65 g $kg^{-1}$ e 26,74 kg $ha^{-1}$) e $ILPF_{357-30}$ (27,85 g $kg^{-1}$ e 26,03 kg $ha^{-1}$) os demais sistemas foram iguais, inclusive à VN (29,78 g $kg^{-1}$ e 20,57 kg $ha^{-1}$). Na época 2 e camada de 0,10 - 0,20 m houve aumento de 20% do CO (de 27,08 para 32,62 g $kg^{-1}$) e diminuição de 22% do $CO_{est}$ (de 26,27 para 20,57 kg $ha^{-1}$) (Tabela 4).

Na época 1 e camada de 0 - 0,10 m a VN apresentou o maior CO e $CO_{est}$ (40,26 g $kg^{-1}$ e 35,42 kg $ha^{-1}$) e $ILPF_{357-15}$ (25,71 g $kg^{-1}$ e 24,47 kg $ha^{-1}$) e $ILPF_{357-30}$ (24,90 g $kg^{-1}$ e 23,70 kg $ha^{-1}$) os menores, os demais sistemas foram iguais e apresentaram valores intermediários entre a VN, $ILPF_{357-15}$ e $ILPF_{357-30}$ ($p < 0,01$) (Figuras 3a e 3b). Na época 2 o teor de CO da VN (40,67 g $kg^{-1}$), $ILP_{15}$ (35,8 g $kg^{-1}$)

e $ILP_{30}$ (37,12 g $kg^{-1}$) foram iguais e superiores a $ILPF_{357-15}$ (34,25 g $kg^{-1}$), $ILPF_{357-30}$ (34,85 g $kg^{-1}$), $ILPF_{227-15}$ (33,71 g $kg^{-1}$) e $ILPF_{227-30}$ (31,28 g $kg^{-1}$). Houve aumento de 33% e 39% de CO na época 2 em $ILPF_{357-15}$, $ILPF_{357-30}$ respectivamente (Figura 3a).

Tabela 3. Diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado (DMP) nos sistemas de uso e épocas de amostragem, nas camadas de 0 - 0,10 e 0,10 - 0,20 m.

| Tratamento | 0 - 0,10 m | | 0,10 - 0, 20 m | |
|---|---|---|---|---|
| | DMG | DMP | DMG | DMP |
| | ---------- mm ---------- | | | |
| Sistema (S) | | | | |
| $ILPF_{357-15}$ | 4,40 | 5,87 | 4,18 [b] | 5,85 |
| $ILPF_{357-30}$ | 5,12 | 5,87 | 4,35 [b] | 5,89 |
| $ILPF_{227-15}$ | 5,20 | 5,91 | 5,02 [a] | 5,80 |
| $ILPF_{227-30}$ | 5,26 | 5,94 | 5,22 [a] | 5,99 |
| $ILP_{15}$ | 5,29 | 6,04 | 5,30 [a] | 5,90 |
| $ILP_{30}$ | 5,25 | 6,03 | 5,41 [a] | 5,95 |
| VN | 5,80 | 5,96 | 5,85 [a] | 5,88 |
| CV (%) | 6,11 | 7,19 | 6,14 | 3,75 |
| Época (E) | | | | |
| Época 1 | 4,89 [b] | 5,83 [b] | 5,25 | 5,78 |
| Época 2 | 5,49 [a] | 6,06 [a] | 4,85 | 6,01 |
| CV (%) | 9,18 | 5,27 | 7,21 | 8,14 |
| | | Teste F | | |
| Sistema (S) | NS | NS | * | NS |
| Época (E) | ** | ** | NS | NS |
| S x E | NS | NS | NS | NS |

**, *, NS: significativo a 0,01, 0,05 e não significativo. CV: coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra, na mesma camada, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Os maiores $CO_{est}$ na época 2 foram encontrados na VN (33,36 g $kg^{-1}$), $ILP_{15}$ (31,42 g $kg^{-1}$) e $ILP_{30}$ (32,58 g $kg^{-1}$) e os menores em $ILPF_{357-15}$ (31,37 g $kg^{-1}$), $ILPF_{357-30}$ (30,59 g $kg^{-1}$), $ILPF_{227-15}$ (32,09 g $kg^{-1}$) e $ILPF_{227-30}$ (27,46 g $kg^{-1}$). Houve aumento do $CO_{est}$ na época 2 em $ILPF_{357-15}$ e $ILPF_{357-30}$ (Figura 3b).

A produtividade de grãos de soja (PGS) foi igual entre os sistemas de uso ($p < 0,05$) (Tabela 5). Os sistemas $ILP_{15}$ (3.880 kg $ha^{-1}$) e $ILP_{30}$ (4.090 kg $ha^{-1}$) tiveram maior produtividade de matéria seca do capim Piatã (MS) e $ILPF_{357-15}$ (1.766 kg $ha^{-1}$) e $ILPF_{357-30}$ (923 kg $ha^{-1}$) as menores; $ILPF_{227-15}$ (2.005 kg $ha^{-1}$) e $ILPF_{227-30}$ (2.645 kg $ha^{-1}$) foram iguais e apresentaram valores intermediários aos demais sistemas ($p < 0,05$) (Tabela 5).

Tabela 4. Teor de carbono orgânico (CO) e estoque de carbono ($CO_{est}$) nos sistemas de uso e épocas de amostragem, nas camadas de 0 - 0,10 e 0,10 - 0,20 m.

| Tratamento | Camada 0 - 0,10 m | | Camada 0,10 - 0, 20 m | |
|---|---|---|---|---|
| | CO | $CO_{est}$ | CO | $CO_{est}$ |
| | g $kg^{-1}$ | kg $ha^{-1}$ | g $kg^{-1}$ | kg $ha^{-1}$ |
| Sistema (S) | | | | |
| $ILPF_{357-15}$ | 29,99 $^{c}$ | 27,27 $^{c}$ | 28,65 $^{b}$ | 26,74 |
| $ILPF_{357-30}$ | 29,88 $^{c}$ | 27,15 $^{c}$ | 27,85 $^{b}$ | 26,03 |
| $ILPF_{227-15}$ | 31,28 $^{bc}$ | 28,70 $^{bc}$ | 30,96 $^{a}$ | 28,99 |
| $ILPF_{227-30}$ | 29,43 $^{c}$ | 26,91 $^{c}$ | 29,06 $^{a}$ | 27,21 |
| $ILP_{15}$ | 32,97 $^{bc}$ | 30,06 $^{b}$ | 30,55 $^{a}$ | 28,60 |
| $ILP_{30}$ | 34,35 $^{b}$ | 31,32 $^{b}$ | 32,14 $^{a}$ | 30,08 |
| VN | 36,26 $^{a}$ | 33,08 $^{a}$ | 29,78 $^{a}$ | 27,78 |
| CV (%) | 4,10 | 6,40 | 6,10 | 9,31 |
| Época (E) | | | | |
| Época 1 | 30,43 $^{b}$ | 28,93 $^{b}$ | 27,08 $^{b}$ | 26,27 $^{a}$ |
| Época 2 | 33,61 $^{a}$ | 29,49 $^{a}$ | 32,62 $^{a}$ | 20,57 $^{b}$ |
| CV (%) | 7,19 | 9,15 | 6,49 | 8,73 |
| | | | Teste F | |
| Sistema (S) | ** | ** | ** | * |
| Época (E) | ** | ** | ** | ** |
| S x E | ** | ** | NS | NS |

**, *, NS: significativo a 0,01, 0,05 e não significativo. CV: coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra, na mesma camada, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 5. Produtividade de matéria seca da forrageira (MS) e produtividade de grãos de soja (PGS) nos sistemas de uso.

| Sistema | Produtividade de matéria seca da forrageira (MS) | Produtividade de grãos de soja (PGS) |
|---|---|---|
| | kg $ha^{-1}$ | |
| $ILPF_{357-15}$ | 923 $^{c}$ | 3.681 |
| $ILPF_{357-30}$ | 1.766 $^{bc}$ | 2.894 |
| $ILPF_{227-15}$ | 2.005 $^{b}$ | 2.480 |
| $ILPF_{227-30}$ | 2.645 $^{b}$ | 2.559 |
| $ILP_{15}$ | 3.880 $^{b}$ | 3.515 |
| $ILP_{30}$ | 4.090 $^{a}$ | 2.704 |
| CV (%) | 7,31 | 11,17 |
| | Teste F | |
| Sistema | * | NS |

* e NS: significativo a 0,05 e não significativo. CV: coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

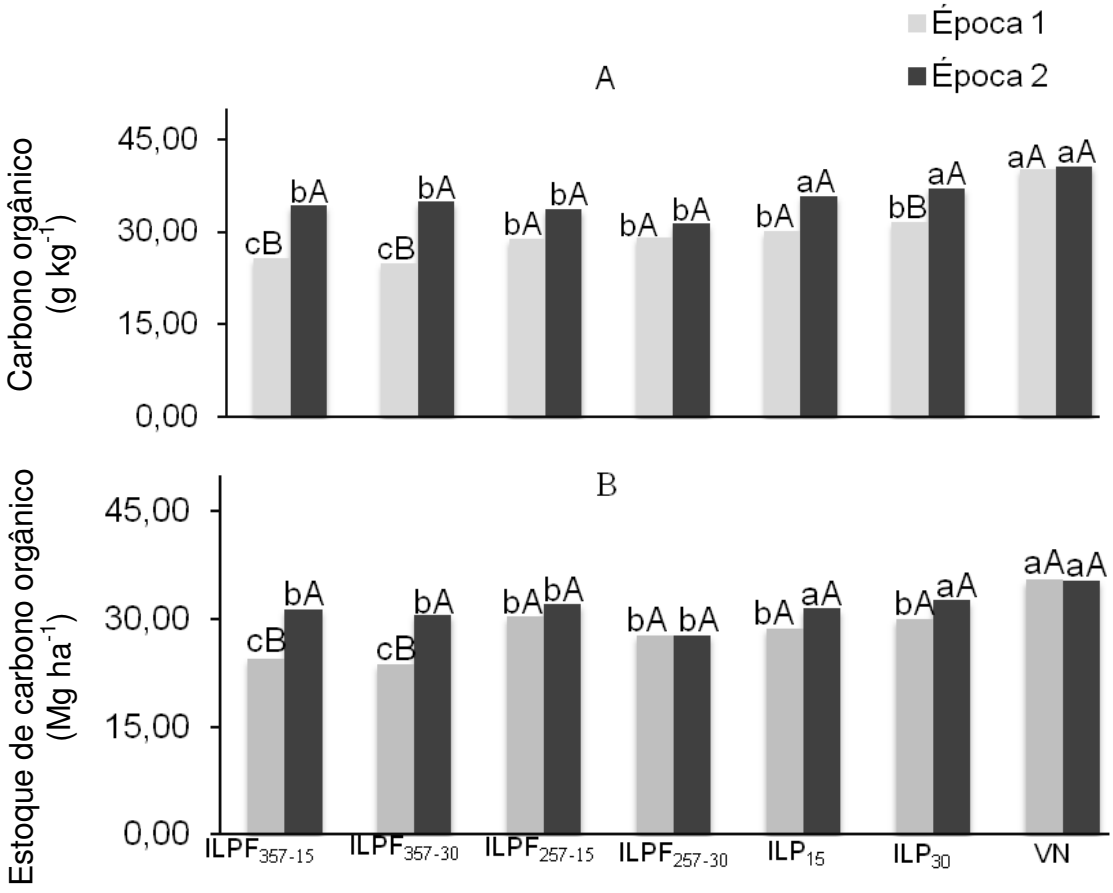


Figura 3. Teor de carbono orgânico e estoque de carbono referente ao desdobramento da interação entre sistemas de uso (S) e época de amostragem (E) na camada de 0 - 0,10 m. Médias seguidas pela mesma letra minúsculas, entre sistemas de uso e maiúscula, entre épocas de amostragem, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Os valores de $\rho_s$, $f_t$, $f_{ma}$, $f_{mi}$ (Tabela 6), DMG (Tabela 7), CO e $CO_{est}$ (Tabela 8), nas camadas de 0 - 0,10 m e 0,10 - 0,20 m, foram iguais em todos os sistemas de ILPF e locais de amostragem.

Os sistemas de ILPF proporcionaram diferença no DMP nas duas camadas estudas ($p < 0,05$) (Tabela 7). Na camada de 0 - 0,10 m $ILPF_{227-15}$ apresentou o maior DMP (6,12 mm) e $ILPF_{357-30}$ o menor (5,70 mm), os sistemas $ILPF_{357-15}$ (5,98 mm) e $ILPF_{227-30}$ (6,03 mm) foram iguais e ocuparam posições intermediárias em relação aos demais sistemas. Na camada de 0,10 - 0,20 m $ILPF_{227-15}$ (5,99 mm) e $ILPF_{227-30}$ (6,05 mm) apresentam os maiores DMP.

Tabela 6. Densidade do solo ($\rho_s$), porosidade total ($f_t$), macroporosidade ($f_{ma}$) e microporosidade ($f_{mi}$) nos sistemas de ILPF e locais de amostragem nas camadas de 0 - 0,10 e 0,10 - 0,20 m.

| Tratamento | 0 - 0,10 m | | | | 0,10 - 0,20 m | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\rho_s$ | $f_t$ | $f_{ma}$ | $f_{mi}$ | $\rho_s$ | $f_t$ | $f_{ma}$ | $f_{mi}$ |
| | Mg m$^{-3}$ | ----------m$^3$ m$^{-3}$---------- | | | Mg m$^{-3}$ | ----------m$^3$ m$^{-3}$---------- | | |
| Sistema (S) | | | | | | | | |
| $ILPF_{357-15}$ | 1,38 | 0,48 | 0,18 | 0,30 | 1,40 | 0,49 | 0,20 | 0,29 |
| $ILPF_{357-30}$ | 1,40 | 0,50 | 0,18 | 0,32 | 1,42 | 0,47 | 0,19 | 0,28 |
| $ILPF_{227-15}$ | 1,37 | 0,50 | 0,16 | 0,34 | 1,32 | 0,50 | 0,21 | 0,29 |
| $ILPF_{227-30}$ | 1,42 | 0,46 | 0,14 | 0,32 | 1,38 | 0,48 | 0,16 | 0,32 |
| CV (%) | 8,19 | 13,16 | 7,17 | 15,29 | 7,71 | 9,85 | 6,75 | 8,46 |
| Local (L) | | | | | | | | |
| Sol | 1,37 | 0,49 | 0,17 | 0,32 | 1,38 | 0,49 | 0,19 | 0,30 |
| Sombra | 1,41 | 0,48 | 0,16 | 0,32 | 1,37 | 0,49 | 0,18 | 0,31 |
| CV (%) | 5,96 | 8,08 | 12,12 | 10,07 | 4,67 | 5,06 | 7,75 | 9,72 |
| | Teste F | | | | | | | |
| Sistema (S) | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS |
| Local (L) | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS |
| S x E | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS |

NS: não significativo. CV: coeficiente de variação.

Tabela 7. Diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado (DMP) nos sistemas de ILPF e locais de amostragem, nas camadas de 0 - 0,10 e 0,10 - 0,20 m

| Tratamento | 0 - 0,10 m | | 0,10 - 0, 20 m | |
|---|---|---|---|---|
| | DMG | DMP | DMG | DMP |
| | ---------- mm ---------- | | | |
| Sistema (S) | | | | |
| $ILPF_{357-15}$ | 4,12 | 5,98 $^b$ | 4,48 | 5,87 $^b$ |
| $ILPF_{357-30}$ | 4,81 | 5,70 $^c$ | 4,20 | 5,89 $^b$ |
| $ILPF_{227-15}$ | 4,70 | 6,12 $^a$ | 4,37 | 5,99 $^a$ |
| $ILPF_{227-30}$ | 4,58 | 6,03 $^b$ | 4,93 | 6,05 $^a$ |
| CV (%) | 14,34 | 5,51 | 9,39 | 3,37 |
| Local (L) | | | | |
| Sol | 4,58 | 5,93 | 4,48 | 5,94 |
| Sombra | 4,52 | 5,99 | 4,50 | 5,97 |
| CV (%) | 7,84 | 6,51 | 6,79 | 3,20 |
| | | Teste F | | |
| Sistema (S) | NS | * | NS | * |
| Local (L) | NS | NS | NS | NS |
| S x L | NS | NS | NS | NS |

* e NS: significativo a 0,05 e não significativo. CV: coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p <$ 0,05).

Tabela 8. Teor de carbono orgânico (CO) e estoque de carbono ($CO_{est}$) nos sistemas de ILPF e locais de amostragem, nas camadas 0 - 0,10 e 0,10 - 0,20 m.

| Tratamento | 0 - 0,10 m | | 0,10 - 0, 20 m | |
|---|---|---|---|---|
| | CO | $CO_{est}$ | CO | $CO_{est}$ |
| | g $kg^{-1}$ | kg $ha^{-1}$ | g $kg^{-1}$ | kg $ha^{-1}$ |
| Sistema (S) | | | | |
| $ILPF_{357-15}$ | 32,91 | 31,33 | 31,90 | 30,97 |
| $ILPF_{357-30}$ | 34,37 | 32,72 | 32,12 | 31,24 |
| $ILPF_{227-15}$ | 29,95 | 28,51 | 32,68 | 31,78 |
| $ILPF_{227-30}$ | 33,12 | 31,59 | 31,36 | 30,50 |
| CV (%) | 15,59 | 15,59 | 7,03 | 7,03 |
| Local (L) | | | | |
| Sol | 33,03 | 31,70 | 31,47 | 30,61 |
| Sombra | 31,91 | 30,38 | 32,53 | 31,61 |
| CV (%) | 14,02 | 14,02 | 10,84 | 10,84 |
| | | Teste F | | |
| Sistema (S) | NS | NS | NS | NS |
| Local | NS | NS | NS | NS |
| S x L | NS | NS | NS | NS |

NS: não significativo. CV: coeficiente de variação.

Tabela 9. Produtividade de matéria seca da forrageira (MS) e produtividade de grãos de soja (PGS) nos sistemas de ILPF e locais de amostragem.

| Sistema | Produtividade de matéria seca da forrageira (MS) | Produtividade de grãos de soja (PGS) |
|---|---|---|
| | ----------kg $ha^{-1}$---------- | |
| $ILPF_{357-15}$ | 1.367 [b] | 2.993 |
| $ILPF_{357-30}$ | 2.337 [a] | 2.263 |
| $ILPF_{227-15}$ | 2.442 [a] | 2.164 |
| $ILPF_{227-30}$ | 2.857 [a] | 2.311 |
| CV (%) | 6,31 | 7,16 |
| Local (L) | | |
| Sol | 2.426 | 2.945 [a] |
| Sombra | 2.074 | 1.959 [b] |
| CV (%) | 7,77 | 8,95 |
| | Teste F | |
| Sistema (S) | * | NS |
| Local (L) | NS | * |
| S x L | NS | NS |

* e NS: significativo a 0,05 e não significativo. CV: coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A análise de variância indicou diferença significativa para a MS em relação aos sistemas de uso e para PGS em relação aos locais de amostragem ($p < 0,05$ ) (Tabela 9). O sistema $ILPF_{357-15}$ apresentou a menor MS (1.367 kg $ha^{-1}$) que foi 86% menor que a média dos demais sistemas, que tiveram comportamento semelhante.

A PGS no local sombreado (1.959 kg $ha^{-1}$) foi 50% menor do que no local com maior incidência solar (2.945 kg $ha^{-1}$).

## 5 DISCUSSÃO

Embora tenha ocorrido compactação do solo nos sistemas com ação antrópica (ILP e ILPF), a $\rho_s$ entre 1,10 e 1,45 Mg $m^{-3}$ na camada de 0 - 0,10 m, e entre 1,12 e 1,55 Mg $m^{-3}$ na camada de 0,10 - 0,20 m, não é considerada restritiva ao desenvolvimento de plantas. Decréscimo na produtividade de soja em um Latosolo Vermelho foi relatado quando a $\rho_s$ ficou entre 1,56 - 1,64 Mg $m^{-3}$ (BEUTLER et al., 2006). Para o capim Piatã não foi encontrada diminuição na produtividade com valores de $\rho_s$ até 1,60 Mg $m^{-3}$ (BONELLI et al., 2011). A diminuição da $f_{ma}$ também evidenciou o processo de compactação do solo nos sistemas ILP e ILPF, porém, de maneira semelhante a $\rho_s$ os valores de $f_{ma}$ superiores a 0,17 $m^3$ $m^{-3}$ não são indicados como limitantes ao pleno desenvolvimento de plantas.

O aumento da $\rho_s$ em $ILPF_{357\text{-}30}$, $ILPF_{227\text{-}30}$ e $ILP_{30}$ na camada de 0 - 0,10 m da época 1 para a época 2 contradiz o trabalho de Conte et al. (2011) que não relacionaram compactação do solo à altura de pastejo da espécie forrageira e de Moreira et al. (2012) que indicaram que em solos com atividade pecuária a compactação do solo é mais severa nos primeiros ciclos de pastejo, sendo dissipada com o decorrer do tempo de adoção.

Considerando aspectos relacionados ao desenvolvimento da planta e ao animal, a altura de pastejo ideal para o capim Piatã é entre 0,15 e 0,30 m (NANTES et al., 2013). Porém, o manejo com maiores alturas pode ocasionar maior elongação foliar e menor formação de material senescente depositado sobre o solo, que poderia funcionar como um anteparo físico, diminuindo assim, o impacto do casco do animal sobre o solo.

O aumento do DMG e DMP, na época 2, na camada de 0 - 0,10 m, estão relacionados a dinâmica do processo de formação e estabilização de agregados; o pisoteio animal nos sistemas com ILPF e ILP contribuiu para maior aproximação física das partículas do solo, o que pode ser comprovado também pelo aumento da $\rho_s$ (Figura 2a). Na mesma época, embora não tenha tido aumento estatístico significativo, a partir dai o desenvolvimento do sistema radicular do capim Piatã (exsudação de polissacarídeos), atividade microbiana e o aumento do CO (Figura

3a) promoveram a cimentação e estabilização do agregados. Já no sistema sob VN embora não tenha ocorrido a aproximação física das partículas pelo pisoteio animal, o aumento do DMG e DMP na época 2, esta relacionado ao aumento da estabilidade de agregados pela manutenção do CO (Figura 3a) haja visto que em tal sistemas não houve ação antrópica e ocorreu aporte contínuo de resíduos vegetais sobre o solo.

O menor DMG encontrado em $ILPF_{357\text{-}15}$ (4,18 mm) e $ILPF_{357\text{-}30}$ (4,35 mm) na camada de 0,10 - 0,20 m pode evidenciar a atuação do sistema radicular do capim Piatã na formação e estabilização de agregados. De acordo com Salton et al. (2011), espécies do gênero *Urochloa* apresentam sistema radicular fasciculado e vigoroso, que lhes conferem maior capacidade de crescimento ao longo do perfil do solo. Santos et al. (2007) encontraram distribuição homogênea de raízes de braquiária até 1 m de profundidade, em um Latossolo Vermelho com sete anos de implantação da forrageira. Nos sistemas $ILPF_{357\text{-}15}$ e $ILPF_{357\text{-}30,}$ devido a menor distância entre os renques de árvores (14 m), comparado com o $ILPF_{227\text{-}15}$, ao $ILPF_{227\text{-}30}$ (22 m) e ILP (sem árvores), pode ter ocorrido menor incidência solar sobre a forrageira, inibindo assim a sua atividade fotossintética e, consequentemente, o desenvolvimento da parte aérea e do sistema radicular.

A curto prazo (27 meses, época 1 de avaliação) os sistema de ILPF promoveram a diminuição da quantidade de carbono orgânico e estoque de carbono orgânico em relação a VN; porém, com o decorrer do tempo de implantação (48 meses, época 2 de avaliação), os sistemas sob integração lavoura-pecuária ($ILP_{15}$ e $ILP_{30}$) mostraram-se mais eficientes em aumentar o carbono orgânico, conseguindo igualá-lo à VN, seguindo a mesma tendência encontrada por Carvalho et al. (2010) em Latossolos no Cerrado e Amazônia brasileira. Embora os valores de carbono orgânico dos sistemas sob ILPF tenham sido inferiores a ILP e VN, estes, na época 2, com média acima de 30 g $kg^{-1}$ são maiores do que os relatados por Carvalho et al. (2010) em solos sob pastagens degradadas.

O aumento do $CO_{est}$ (2%) foi inferior ao aumento do CO (11%) na época 2, camada de 0 - 0,10 m (Tabela 4) o que evidencia a influência direta da $\rho_s$ sobre o $CO_{est}$ e a necessidade da utilização de métodos de correção pela massa ou camada equivalente para sua determinação. Além da relação física dos atributos físicos do

solo sobre o cálculo do $CO_{est}$ (MARCHÃO et al., 2009), estes exercem influência sobre a decomposição da matéria orgânica, pois, solos com ambiente físico favorável apresentam maior umidade e atividade biológica.

Embora os sistemas sob ILPF tenham apresentado menor $CO_{est}$ na época 2, estes, no intervalo entre a primeira e a segunda avaliação, apresentaram taxa de aumento superior. Considerando-se que o intervalo entre a primeira e segunda avaliação foi de 21 meses, pode-se afirmar que os aumentos do estoque de carbono em Mg $ha^{-1}$ $ano^{-1}$ foram de 3,94, 3,93, 1,01, 0,16, 1,56, 1,44 e 0,03 para $ILPF_{357-15}$, $ILPF_{357-30}$, $ILPF_{227-15}$, $ILPF_{227-30}$, $ILP_{15}$, $ILP_{30}$ e VN respectivamente. O maior aumento do $CO_{est}$ nos sistemas com ILPF em relação aos sistemas com ILP evidencia a importância da presença da espécie florestal (eucalipto) em sistemas integrados e sua capacidade em promover o aumento do $CO_{est}$ ao longo do tempo, que, em cultivos isolados, pode chegar a valores entre 11 - 15 Mg $ha^{-1}$ após 20 anos de implantação em regiões de clima úmido e temperado (PÉREZ-CRUZADO et al., 2011) ou a 20 Mg $ha^{-1}$ após 28 anos de implantação em regiões de clima tropical (PEGORARO et al., 2011).

O acúmulo anual de carbono entre 1,56 e 1,44 Mg $ha^{-1}$ $ano^{-1}$, obtidas nos sistemas de ILP, foram superiores aos resultados obtidos por Salton et al. (2011) (0,60 - 0,43 Mg $ha^{-1}$ $ano^{-1}$) em um Latossolo Vermelho sob ILP a 13 anos no estado do Mato Grosso no Sul, e próximos aos resultados obtidos por Carvalho et al. (2010) (1,35 - 1,03 Mg $ha^{-1}$ $ano^{-1}$) em um Latossolo Vermelho sob ILP a 4 anos no estado de Mato Grosso. Duas considerações devem ser feitas em relação as comparações sobre as diferenças no acúmulo de carbono em um mesmo sistemas de manejo: a primeira diz respeito as condições climáticas locais (médias de precipitação, temperatura e umidade) (CONCEIÇÃO; DIECKOW; BAYER, 2013) e, a segunda, em relação a classe textural do solo (ZINN; LAL; RESCK, 2011).

A maior taxa de acúmulo de C em sistemas de ILP acontece nos primeiros anos de implantação (CARVALHO et al., 2010), diminuindo posteriormente devido ao limite da capacidade de armazenamento de C pelo solo. Todavia, os resultados entre 3,94 e 3,93 Mg $ha^{-1}$ $ano^{-1}$, obtidos nos sistemas sob $ILPF_{357-15}$ e $ILPF_{357-30}$, respectivamente, foram superiores aos obtidos em outros estudos em sistemas sob ILP (SALTON et al., 2011), plantio direto, pastagem (MARCHÃO et al., 2009) e

áreas sob reflorestamento (ZINN; LAL; RESCK, 2011) o que sugere sua eficiência na atividade de sequestro de carbono.

A MS em todos os sistemas com ILPF apresentaram valores inferior aos relatados por Nantes et al. (2013) para *Urochloa brizantha* cv. Piatã, pastejada a 0,15 m (2.010 kg $ha^{-1}$) e a 0,30 m (3.270 kg $ha^{-1}$) de altura; porém em $ILP_{15}$ (3.880 kg $ha^{-1}$) e $ILP_{30}$ (4.090 kg $ha^{-1}$) os valores foram superiores, o que evidencia que a presença de árvores prejudicou o desenvolvimento da forrageira, assim como relatado por Paciullo et al. (2010) para *Urochloa brizantha* cv Marandú. A braquiária cultivada em sucessão a soja (ILP) tem maior produtividade em virtude da melhor fertilidade do solo, quando comparada a sistemas de cultivo tradicionais.

Embora as quantidades de MS em todos os sistemas tenham sido abaixo dos 10 Mg $ha^{-1}$ preconizadas como ideais em sistemas de plantio direto no Cerrado (VILELA et al., 2011), estas não comprometeram a PGS, visto que todos os sistemas tiveram PGS superior a 2.400 kg $ha^{-1}$ que é próximo a produtividade média do estado do Mato Grosso do Sul (2.550 kg $ha^{-1}$) ou, a média brasileira 2.651 kg $ha^{-1}$ (AGRIANUAL, 2013). A PGS também não apresentou relação com as alterações dos atributos físicos do solo, em decorrência do pastejo, assim como relatado para a cultura do milho por Tracy e Zhang ( 2008).

A existência de um local sombreado, propiciado pela projeção da copa do eucalipto (2 m do tronco) nos sistemas de ILPF, ofereceu aos bovinos em pastejo região de melhor condição térmica (menor temperatura e proteção contra ventos), que fez deste local ser preferencialmente ocupado, conforme observado visualmente durante a condução deste estudo.

A maior ocupação e por consequência maior pisoteio animal na área sombreada comparado as áreas centrais, entre os renques de árvores (7 e 11 m), não proporcionou maior compactação solo, concordando com Paciullo et al. (2010) que também não encontrou diferença na densidade do solo ao comparar amostras coletadas 0, 6 e 12 m do tronco de eucaliptos cultivados em sistema silvopastoril, na Zona da Mata Mineira. A compactação do solo pelo pisoteio animal por ser reduzida e não comprometer a produtividade das forrageiras quando utilizado o correto manejo das pastagens obedecendo-se a taxa de lotação animal adequada.

Considerando que aumento do CO no solo é conseguido mediante o aporte de fitomassa oriundo de restos culturais ou material senescente, a não diferença no CO e no $CO_{est}$ nos locais estudados se explicam pela constatação da não diferença na MS, a qual seria uma das forma de aporte de resíduos vegetais.

A possível maior competição dos sistemas radiculares por água e nutrientes e a menor altura de pastejo em $ILPF_{357\text{-}15}$ que resultaram em menor MS não afetaram o CO e $CO_{est}$ dos sistemas de ILPF, possivelmente pela acelerada decomposição dos resíduos. Como as amostragens para a determinação de CO e $CO_{est}$ foram realizadas antes do cultivo da soja (ano agrícola 2012/2013) é possível que em próximas avaliações sejam constatadas diferenças nestes atributos em relação aos locais de amostragem em virtude da diferença encontrada na PGS.

A diminuição de 50% da PGS na área sombreada pode ser relacionada a menor incidência solar sobre as plantas e por consequência menor atividade fotossintética. A intensidade do sombreamento diminui com o distanciamento do renque de árvores, dessa forma as amostras coletadas a 2 m do tronco das árvores foram sensivelmente influenciadas.

Em virtude das características fisiológicas e morfológicas cada espécie vegetal tem comportamento diferenciado em relação ao aproveitamento da radiação solar recebida. A cultura da soja por ser uma planta C3 é menos eficiente na utilização da radiação solar e água, e quando submetida a baixas intensidades luminosas apresenta seu desenvolvimento e produtividade diminuídos (CASAROLI et al., 2007) como encontrado neste estudo, por sua vez plantas C4 como o *Urochloa brizantha* cv. Piatã são mais eficientes no aproveitamento da radiação solar, Soares et al. (2009) não encontraram diferença entre produtividade de matéria seca de *Urochloa brizantha* cv. Marandú cultivadas na projeção da copa e entre renques de *Pinus taeda* cultivados em espaçamento 9 x 3 m.

## 6 CONCLUSÃO

O maior adensamento de árvores (14 x 2 m; 357 árvores hectare$^{-1}$) em conjunto com a menor altura de pastejo (0,15 m) proporcionaram menor proteção física ao solo e por consequência maior compactação, embora os valores obtidos não sejam considerados com restritivos ao desenvolvimento de espécies vegetais.

Os sistemas integrados de produção promoveram aumento no estoque de carbono, porém a presença da espécie florestal (eucalipto) nos sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta foi determinante para que a taxa de acúmulo, nestes sistemas, atingisse 3 Mg ha$^{-1}$ ano$^{-1.}$

A menor produtividade de soja, nas áreas sombreadas, nos sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta esta relacionada e menor incidência solar.

## 7 REFERÊNCIAS

AGRIANUAL 2013: Anuário da Agricultura Brasileira. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, 2013. 480 p.

ALMEIDA, R. G.; BARBOSA, R. A.; ZIMMER, A. H.; KICHEL, A. N. Forrageiras em sistemas de produção de bovinos em integração. In: BUNGENSTAB, D. J. **Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta: a produção sustentável**. 1. ed. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2011. p. 25–36.

ALTIERI, M. **Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável**. 1. ed. Guaíba: Expressão popular, 2002. p. 110-137.

ANUALPEC 2012: Anuário da Pecuária Brasileira. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, 2012. 378 p.

ARAÚJO, F. S.; SALVINO, A. A. C.; LEITE, L. F. C.; SOUSA, Z. M. de; SOUSA, A. C. M. de. Physical quality of a yellow latossol under integrated crop-livestock system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 717–723, 2010.

AZENEGASHE, O. A.; ALLEN, V.; FONTENOT, J. Grazing sheep and cattle together or separately: effect on soil and plants. **Agronomy Journal**, Madison, v. 89, n.3, p. 380–386, 1997.

BACHMANN, J.; CONTRERAS, K.; HARTGE, K. H.; MACDONALD, R. Comparison of soil strength data obtained in situ with penetrometer and with vane shear test. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 87, n. 1, p. 112–118, 2006.

BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. de O.; STONE, L. F. **Marco referencial: Integração lavoura pecuária floresta (iLPF)**. Brasília: Embrapa, 2011. p. 49-85.

BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; MARTÍNEZ, G. B. Contribuições dos sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF) para uma agricultura de baixa emissão de carbono. **Revista Brasileira de Geografia e Física**, Recife, v. 04, n. 6, p. 1163–1175, 2011.

BELL, L. W.; KIRKEGAARD, J. A.; SWAN, A.; HUNT, J. R.; HUTH, N. I.; FETTELL, N. A. Impacts of soil damage by grazing livestock on crop productivity. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 113, n. 1, p. 19–29, 2011.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. SILVA, A. P. da; BARBOSA, J. C. Intervalo hídrico ótimo e produtividade de cultivares de soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 639–645, 2006.

BONELLI, E. A.; BONFIM-SILVA, E. M.; CABRAL, C. E. A.; CAMPOS, J. J.; SCARAMUZZA, W. L. M. P.; POLIZEL, A. C. Compactação do solo : Efeitos nas características produtivas e morfológicas dos capins Piatã e Mombaça. **Revista**

**Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 66, p. 264–269, 2011.

BONO, J. A. M.; MACEDO, M. C. M.; TORMENA, C. A. Qualidade física do solo em um Latossolo Vermelho daregião sudoeste do Cerrados sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 1, p. 743–753, 2013.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades do solo**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman Companhia Editora Ltda, 2012. p. 55-97.

CARVALHO, J. L. N.; RAUCCI, G. S.; CERRI, C. E. P.; BERBOUX, M.; FEIGL, B. J.; WRUCK, F. J.; CERRI, C. C. Impact of pasture, agriculture and crop-livestock systems on soil C stocks in Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 110, n. 1, p. 175–186, 2010.

CASAROLI, D; FAGAN, E. B.; SIMON, S.; MANFRAN, P. A.; DOURADO NETO, D.; VanLIER, Q. de J.; MÜLLER, L.; MARTIN, T. N. Radiação solar e aspectos fisológicos na cultura de soja - uma revisão. **Revista da FZVA**, Uruguaina, v. 14, n. 2, p. 102–120, 2007.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade de agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 3, p. 527–538, 1998.

CAVALLINI, M. C.; ANDREOTTI, M.; OLIVEIRA, L. L.; PARIZ, C. M.; CARVALHO, M. de P. Relações entre produtividade de Brachiaria brizantha e atributos físicos de um Latossolo do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 1007–1015, 2010.

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; ERNANI, P. R.; ALBUQUERQUE, J. A. Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 1, p. 19–22, 2003.

COLLARES, G. L.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Compactação superficial de Latossolos sob integração lavoura – pecuária de leite no noroeste do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 2, p. 246–250, 2011.

CONCEIÇÃO, P. C.; DIECKOW, J.; BAYER, C. Combined role of no-tillage and cropping systems in soil carbon stocks and stabilization. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 129, n. 5, p. 40–47, 2013.

CONTE, O.; FLORES, J. P. C.; CASSOL, L. C.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. de F.; LEVIEN, R.; WESP, C. de L. Evolução de atributos físicos de solo em sistema

de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1301–1309, 2011.

CORREA, J. C.; REICHARDT, K. Efeito do tempo de uso das pastagens sobre as propriedades de um latossolo amarelo da amazônia central. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 1, p. 107–114, 1995.

DE BIE, C. A.; BEEK, K. J.; DRIESSEN, P. M.; ZINCK, J. A. Em direção a operacionalização das informações dos solos para um manejo sustentável das terras. In: ALVAREZ, V. V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. **O solo nos grandes domínios morfo-climáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. 1. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. p. 335–352.

DIAS JÚNIOR, M. de S. Compactação do solo. In: NOVAIS, R. F.; V.V.H., A.; SCHAEFER, C. E. **Tópicos em ciência do solo**. 1. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p. 53–94.

ELLERT, B. H.; BETTANY, J. R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 75, n. 4, p. 529–538, 1995.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa solos, 2013. p. 342

EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja - região central do Brasil, 2007**. Londrina: Embrapa Soja, 2006. p. 225

EMBRAPA. **Manual e métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. p. 230

FAO. **World reference base for soil resources 2006. A framework for international classification, correlation and communication**. Roma: Food and Agriculture Organization ofthe United Nations, 2006. p. 127

FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations. Statistical Databases**. Disponível em: <http://www.faostat3.fao.org/>. Acesso em: 7 agos. 2013.

FLINT, A. L.; FLINT, L. E. Particle density. In: DANE, J. H.; TOPP, G. C. **Methods of soil analysis. Part 4 - Physical analysis**. Madison: Soil Science Society of America, 2002. p. 229–240.

FRANZLUEBBERS, A. J.; STUEDEMANN, J. A. Soil physical responses to cattle grazing cover crops under conventional and no tillage in the Southern Piedmont USA. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 100, n. 2, p. 141–153, 2008.

GARCÍA-PRÉCHAC, F.; ERNEST, O.; SIRI-PRIETO, G.; TERRA, J. A. Integrating no-till into crop–pasture rotations in Uruguay. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 77, n. 1, p. 1–13, 2004.

GONTIJO NETO, M. M.; ALVARENGA, R. C.; PEREIRA FILHO, I. A. CRUZ, J. C.; RODRIGUES, J. A. S. **Recomendações de densidades de plantio e taxas de semeadura de culturas anuais e forrageiras em plantio consorciado.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 6 p.

GROSSMAN, R. B.; REINSCH, T. G. Bulk density and linear extensibility. In: DANE, J. A.; TOPP, G. C. **Methods of soil analysis. Part 4 - Physical analysis**. Madison: Soil Science Society of America, 2002. p. 201–228.

GUPTA, S. C.; ALLMARAS, R. R. Models to assess the susceptibility of soils to excessive compaction. **Advances in Soil Science**, New, York, v. 6, n. 1, p. 65–100, 1987.

IBGE. **Censo agropecuário 2006**. Rio de Janeiro: Insituto brasileiro de geografia e estatística, 2006. p. 777

IMHOFF, S.; SILVA, A. P. da.; TORMENA, C. A. Aplicação da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 7, p. 1493–1500, 2000.

IPCC. **Climate change 2007: climate change impacts, adaptation and vulnerability**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. p. 976

KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H. Uso de integração lavoura pecuária na recuperação de pastagens degradadas. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. (Eds.). **Integração lavoura-pecuária**. 1. ed. Santo Antônio de Goías: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p. 185–223.

KUMAR, S.; UDAWATTA, R. P.; ANDERSON, S. H. Root length density and carbon content of agroforestry and grass buffers under grazed pasture systems in a Hapludalf. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 80, n. 1, p. 85–96, 2010.

LAL, R. Forest soils and carbon sequestration. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 220, n. 1-3, p. 242–258, 2005.

LANZANOVA, M. E.; NICOLOSO, R. da S.; LOVATO, T.; ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C.; REINERT, D. J. Atributos físicos do solo em sistemas de integração lavoura pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 1131–1140, 2007.

LEME, T. M. S. P.; PIRES, M. de A.; VERNEQUE, R. da S., ALVIM, M. J.; AROEIRA, L. J. M. Comportamento de vacas mestiças holandês x zebu, em pastagem de Brachiaria decumbens em sistema silvipastoril. **Ciência e Agroecnologia**, Lavras, v. 29, n. 3, p. 668–675, 2005.

LÜTZOW, M. V.; KÖGERL-KNABNER, I.; EKSCHMITTI, K.; MAIZNER, E.; GUGGENBERGER, G.; MARSCHNER, B.; FLESSA, H. Stabilization of organic matter in temperate soils: mechanisms and their relevance under different soil conditions - a review. **European Journal of Soil Science**, Londres, v. 57, n. 4, p. 426–445, 2006.

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária : o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, suplemento especial, p. 133–146, 2009.

MACEDO, R. L. G.; VALE, A. B. D.; VENTURIN, N. **Eucalipto em sistemas agroflorestais**. Lavras: UFLA, 2010. p. 331

MACHADO, A. L. T.; REIS, A. V. dos; FERREIRA, M. F. P.; MACHADO, R. L. T.; MACHADO, L. C.; BAUER, G. B. Influências da pressão de inflação do pneu do trator na resisteência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 11, p. 481–486, 2005.

MACHADO, L. A. Z.; BALBINO, L. C.; CECCON, G. **Integração Lavoura-Pecuária-Floresta. 1. Estruturação dos Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária**. 1. ed. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2011. p. 46

MAIA, S. M. F.; OGLE, S. M.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C. Effect of grassland management on soil carbon sequestration in Rondônia and Mato Grosso states, Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 149, n. 1-2, p. 84–91, 2009.

MARCHÃO, R. L.; BALBINO, L. C.; SILVA, E. M. de; SANTOS, JÚNIOR, J. de D. G. dos; SÁ, M. A. C. de; VILELA, L.; BECQUER, T. 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.

MARCHÃO, R. L.; BECQUER, T.; BRUNET, D.; BALBINO, L. C.; VILELA, L. BROSSARD, M. Carbon and nitrogen stocks in a Brazilian clayey Oxisol: 13-year effects of integrated crop–livestock management systems. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 103, n. 2, p. 442–450, 2009.

MARTHA JÚNIOR, G. B.; ALVES, E.; CONTINI, E. Dimensão econômica de sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1117–1126, 2011.

MARTÍNEZ, L. .; ZINCK, J. Temporal variation of soil compaction and deterioration of soil quality in pasture areas of Colombian Amazonia. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 75, n. 1, p. 3–18, 2004.

MELOTTO, A. M.; LAURA, V. A.; BUNGENSTAB, D. J. O componente florestal em sistemas de integração lavoura pecúaria floresta. In: BUNGENSTAB, D. J. **Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta: a produção sustentável**. 1. ed. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2011. p. 37–52.

MOREIRA, W. H.; BETIOL JÚNIOR, E.; PETEAN, L. P.; TORMENA, C. A.; ALVES, S. T.; COSTA, M. A. T.; FRANCO, H. H. S. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférrico em sistema de integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 2, p. 389–400, 2012.

MÜLLER, M. D.; FERNANES, E. N.; CASTRO, C. R. T. de; PACIULLO, D. S. C.; ALVES, F de F. Estimativa de acúmulo de biomassa e carbono em sistema agrossilvipastoril na zona da mata mineira. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Brasília, n. 60, p. 11–17, 2010.

MUNIZ, L. C.; MADARI, B. E.; TROVO, J. B. de L.; CANTAHNÊDE, I. S. de L.; MACHADO, P. L. O. de A.; COBUCCI, T.; FRANÇA, A. F. de S. Soil biological attributes in pastures of different ages in a crop-livestock integrated system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1262–1268, 2011.

NANTES, N. N.; EUCLIDES, V. P. B.; MONTAGNER, D. B.; LEMPP, B.; BARBOSA, R. A.; GOIS, P. O. de. Desempenho animal e características de pastos de capim-piatã submetidos a diferentes intensidades de pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 1, p. 114–121, 2013.

NIMMO, J. R.; PERKINS, K. S. Aggregate stability and size distribuiton. In: DANE, J. A.; TOPP, G. C. **Methods of soil analysis. Part 4 - Physical analysis**. Madison: Soil Science Society of America, 2002. p. 317–328.

OADES, J. M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 76, n. 1-3, p. 319–337, 1984.

OLIVEIRA, M. I. L. de; BECQUER, T.; GOEDERT, W. J.; VILELA, L.; DELEPORTE, P. Concentração de íons na solução de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1291–1300, 2011.

PACIULLO, D. S. C.; CASTRO, C. R. T. de; GOMIDE, C. A. de M.; FERNANDES, P. B.; ROCHA, W. S. D. da; MÜLLER, M. D.; ROSSIELO, R. O. P. Soil bulk density and biomass partitioning of Brachiaria decumbens in a silvopastoral system. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 67, n. 5, p. 598–603, 2010.

PEGORARO, R. F.; SILVA, I. R. de; NOVAIS, R. F. de; BARROS, N. F. de; FONSECA, S.; DAMBROZ, C. S. Estoques de carbono e nitrogênio nas frações da matéria orgânica em Argissolo sob eucalipto e pastagem. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 261–273, 2011.

PÉREZ-CRUZADO, C.; MANSILLA-SALINERO, P.; RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R.; MERINO, A. Influence of tree species on carbon sequestration in afforested pastures in a humid temperate region. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 353, n. 1-2, p. 333–353, 2011.

PETEAN, L. P.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; ALVES, S. J. Altura de pastejo de aveia e azevém e qualidade física de um Latossolo Vermelho distroférrico sob integração lavoura-pecuária. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, suplemetnto 1, p. 1009–1016, 2009.

PROFFITT, A. P. B.; BENDOTTI, S.; MCGARRY, D. A comparison between continuous and controlled grazing on a red duplex soil. Effects on soil physical characteristics. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 35,n. 4, p. 199–210, 1995.

RESZKOWSKA, A.; KRÜMMELBEIN, J.; PETH, S.; HORN, R.; ZHAO, Y.; GAN, L. Influence of grazing on hydraulic and mechanical properties of semiarid steppe soils under different vegetation type in Inner Mongolia, China. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 340, n. 1-2, p. 59–72, 2010.

ROMANO, N.; HOPMAMS, J. W. Suction table. In: DANE, J. H.; TOPP, G. C. **Methods of soil analysis. Part 4 - Physical analysis**. Madison: Soil Science Society of America, 2002. p. 692–698.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Agregração e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 1, p. 11–21, 2008.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1349–1356, 2011.

SANTOS, J. T. dos; ANDRADE, A. P. de; SILVA, I. de F. da; SILVA, D. S. da; SANTOS, E. M.; SILVA, A. P. G. da. Atributos físicos e químicos do solo de Áreas sob pastejo na Micro Região do Brejo Paraibano. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 12, p. 2486–2492, 2010.

SANTOS, R. S. M. dos; OLIVEIRA, I. P. de; MORAIS, R. F. de; URQUIAGA, S. C.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R. Componentes da parte aérea e raízes de pastagens de Brachiaria spp. em diferenets idades após a reforma, como indicadores de produtividade do ambiente cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 2, p. 119–124, 2007.

SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; SILVA, E. M. da; SILVEIRA, P. M. da; BECQUER, T. Qualidade física do solo sob sistemas de integração lavoura - pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1339–1348, 2011.

SILVA, A. P. da; IMHOFF, S.; CORSI, M. Evaluation of soil compaction in an irrigated short-duration grazing system. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 70, n.1, p. 83–90, 2003.

SOARES, A. B; SARTOR, L. R.; ADAMI, P. F.; VARELLA, A. C.; FONSECA, L.; MEZZALIRA, J. C. Influência da luminosidade no comportamento de onze espécies forrageiras perenes de verão. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Brasília, v. 35, n. 3, p. 443–451, 2009.

SOIL SURVEY STAFF. **Keys to Soil Taxonomy**. 11. ed. Washington: USDA-Natural Resources Conservation Service, 2010. p. 346

SOUZA, E. D. de; COSTA, S. E. V. G. de A.; ANGHINONI, I.; LIMA, C. V. S. de; CARVALHO, P. C de F.; MARTINS, A. P. 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, p. 79–88, 2010.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; TOMM, G, O. Integração lavoura e pecuária e os atributos físicos de solo manejado sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 129–136, 2009.

THANGATA, P. H.; HILDEBRAND, P. E. Carbon stock and sequestration potential of agroforestry systems in smallholder agroecosystems of sub-Saharan Africa: Mechanisms for “reducing emissions from deforestation and forest degradation” (REDD+). **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 158, n. 1, p. 172–183, 2012.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic-matter and water-stable aggregates in soils. **European Journal of Soil Science**, Londres, v. 3, n.2, p. 141–163, 1982.

TIVET, F., SÁ, J. C. de M.; LAL, R,; BRIEDIS, C.; BORSZOWSKEI, P. R.; SANTOS, J. B. dos; FARIAS, A. F.; EURICH, G.; HARTMAN, D. da C.; NADOLNY JÚNIOR, M.; BOUZINAC, S.; SÉGUY, L. Aggregate C depletion by plowing and its restoration by diverse biomass-C inputs under no-till in sub-tropical and tropical regions of Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 126, n. 1, p. 203–218, 2013.

TONUCCI, R. G.; NAIR, P. K. R.; NAIR, V. D.; GARCIA, R.; BERNARDINO, F. S. Soil carbon storage in silvopasture and related land-use systems in the brazilian cerrado. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 40, n. 3, p. 833–41, 2011.

TRACY, B. F.; ZHANG, Y. Soil compaction, corn yield response, and soil nutrient pool dynamics. **Crop Science**, Madison, v. 48, n. 3, p. 1211–1218, 2008.

VILELA, L., MARTHA JÚNIOR, G. B.; MACEDO, M. C. M.; MARCHÃO, R. L.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; PULROLNIK, K.; MACIEL, G. A. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1127–1138, 2011.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 38, p. 29–38, 1934.

WILKINS, R. J. Eco-efficient approaches to land management: a case for increased integration of crop and animal production systems. **Philosphical Transaction of Theory Society**, Londres, v. 363, n. 1491, p. 517–25, 2008.

ZINN, Y. L.; LAL, R.; RESCK, D. V. S. Eucalypt plantation effects on organic carbon and aggregation of three different-textured soils in Brazil. **Soil Research**, Melbourne, v. 49, n. 7, p. 614–624, 2011.