



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA BACHARELADO

RAMON DA SILVA BATISTA

**ALTERAÇÕES NO SOLO EM FUNÇÃO DA CRONOSSEQUÊNCIA DE PASTAGEM
EM INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA NA AMAZÔNIA
MARANHENSE**

SÃO LUÍS-MA

2022

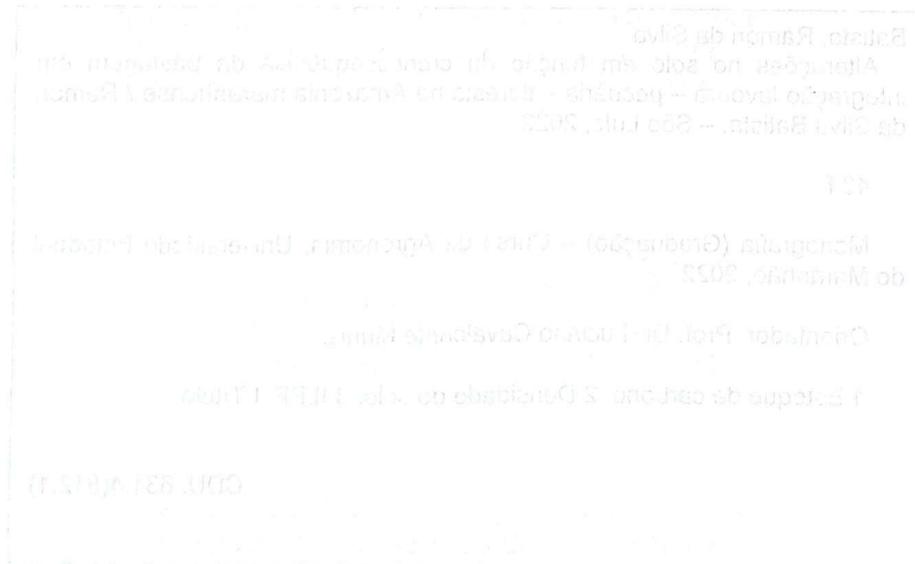
RAMON DA SILVA BATISTA

**ALTERAÇÕES NO SOLO EM FUNÇÃO DA CRONOSSEQUÊNCIA DE PASTAGEM
EM INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA NA AMAZÔNIA
MARANHENSE**

Monografia apresentada ao Curso de Agronomia Bacharelado do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual do Maranhão, como requisito para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Cavalcante Muniz

Coorientador: Me. Victor Roberto Ribeiro Reis



SÃO LUÍS-MA

2022

Batista, Ramon da Silva.

Alterações no solo em função da cronossequência da pastagem em integração lavoura – pecuária – floresta na Amazônia maranhense / Ramon da Silva Batista. – São Luís, 2022.

43 f

Monografia (Graduação) – Curso de Agronomia, Universidade Estadual do Maranhão, 2022.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Cavalcante Muniz.

1. Estoque de carbono. 2. Densidade do solo. 3. ILPF. I. Título.

CDU: 631.4(812.1)

Elaborado por Giselle Frazão Tavares - CRB 13/665

RAMON DA SILVA BATISTA

**ALTERAÇÕES NO SOLO EM FUNÇÃO DA CRONOSSEQUÊNCIA DE PASTAGEM
EM INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA NA AMAZÔNIA
MARANHENSE**

Monografia apresentada ao Curso de
Agronomia Bacharelado do Centro de
Ciências Agrárias da Universidade
Estadual do Maranhão, como requisito para
obtenção do título de Engenheiro
Agrônomo

Aprovada em: 21/01/2022

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Luciano Cavalcante Muniz – Orientador
Doutor em Agronomia (Ciência Animal) – UFG
Universidade Estadual do Maranhão - UEMA



Prof. Dr. Joaquim José Frazão - Examinador
Departamento de Engenharia Agrícola/CCA/UEMA



Me. Carlos Augusto Rocha de Moraes Rego
Mestre em Agronomia – (Unioeste)
Universidade Estadual do Maranhão - UEMA

*A minha mãe, Cleonice Nogueira, meu pai, Raimundo
C. Batista, meu irmão, Danilo Nogueira e meu
tio, (in memoriam) Vicente Nogueira, por todo
amor e por serem a minha motivação.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom dar vida e por sempre estar presente guiando cada passo dessa longa caminhada.

A minha mãe Cleonice, por ser minha maior inspiração seja como profissional ou como ser humano, estando sempre presente nessa jornada me motivando, dando forças, amor e todos os recursos ao seu alcance para que esse momento se realizasse.

A meu pai Raimundo, meu irmão Danilo e toda minha família, por todo o apoio e por sempre acreditarem em meus sonhos até quando eu mesmo duvidei se seria possível alcançá-los.

Ao meu orientador e amigo, professor Luciano Cavalcante Muniz, por quem tenho grande admiração e respeito, agradeço por todas as oportunidades que fazem de mim um profissional melhor.

Ao GINTEGRA, por me permitir o privilégio de fazer parte de um dos maiores e mais respeitados grupos de pesquisa do Maranhão e todas as amizades que fiz através dele: Maycon, Caio, Tarcísio, Rodrigo, Matheus e Maria Karoline, obrigado pela amizade e todos os ensinamentos.

Ao meu coorientador e amigo Victor Ribeiro, pela amizade, por toda ajuda, orientação e suporte na condução deste trabalho.

A todos meus colegas de graduação em especial Anderson Caldas e Cintya Santos, por quem tenho um profundo respeito, admiração e gratidão.

Aos meus grandes amigos de infância Alef, João Pedro e Sued por toda a amizade e apoio durante essa batalha.

A Universidade Estadual do Maranhão e a FAPEMA, pelas concessões de bolsa de iniciação científica e financiamento da pesquisa.

A todos aqueles que contribuíram direta e indiretamente durante toda a graduação e na condução deste trabalho.

MUITO OBRIGADO!

*“Tenha sempre fé em seu Deus, amor e respeito por sua família
e trabalhe todos os dias, o resto vem sozinho.”*

Raimundo C. Batista, 2010

RESUMO

O uso sustentável de áreas agrícolas se torna cada dia mais necessário, uma vez que a demanda mundial de alimentos vem crescendo ao longo dos anos. Pensando nisso, o sistema de cultivo como Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), apresentam-se como uma resposta a esse crescimento, buscando uma agricultura mais eficiente e que não leve a processos de degradação, comum nos sistemas de produção convencionais atuais. Sendo assim, este trabalho teve o objetivo de avaliar as alterações no solo, no período de 2016 a 2020, em áreas de pastagem com ILPF, no bioma amazônico presente dentro do Estado Maranhão. O experimento foi realizado no município de Pindaré Mirim/MA. Os sistemas de uso da terra avaliados foram: Mata nativa, Capoeira, Pastagem degradada, ILPF1 (2016 e 2017), ILPF3 (2018 e 2019) ILPF5 (2020). Para coleta de amostras indeformadas foram abertas mini-trincheiras distribuídas de forma aleatória com as seguintes dimensões 30x30x30 cm, para determinação de macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo. Para avaliar os atributos de fertilidade do solo e os teores e estoques de carbono (C) foram retidas amostras deformadas com o trado holandês em diferentes profundidades. Ao analisar os resultados observou-se que em relação ao processo de transição de uma mata nativa, passando por capoeira, pastagem degradada e o sistema ILPF, apresentou um maior estoque de carbono quando o ILPF já está consolidado, mostrando um aumento no estoque de carbono ao longo do tempo. Os dados obtidos indicaram também que com o seguimento do sistema ILPF o sistema proporciona o aumento do estoque de carbono até nas camadas mais profundas. Melhorando as condições físicas e químicas da área tornando-a mais sustentável. Comprovando que a utilização do sistema ILPF proporcionou alterações no solo, melhorando suas condições de cultivo, assim como o estoque de carbono para o solo. Permitindo um uso mais sustentável da área, evitando um processo de degradação resultante do uso de sistema de cultivo convencional.

Palavras-chave: Estoque de Carbono, Densidade do solo, ILPF.

ABSTRACT

The sustainable use of agricultural areas becomes more and more necessary, since the world demand for food has been growing over the years. With this in mind, the cropping system as Integrated Crop-Livestock-Forest (ILPF) is presented as a response to this growth, seeking a more efficient agriculture that does not lead to degradation processes, common in current conventional production systems. Therefore, this work aimed to evaluate soil changes, from 2016 to 2020, in pasture areas with ILPF, in the Amazon biome present within the State of Maranhão. The experiment was carried out in the municipality of Pindaré Mirim/MA. The land use systems evaluated were: Native Forest, Capoeira, Degraded Pasture, ILPF1 (2016 and 2017), ILPF3 (2018 and 2019) ILPF5 (2020). To collect undisturbed samples, mini-trenches were opened randomly distributed with the following dimensions 30x30x30 cm, to determine macroporosity, microporosity, total porosity and soil density. To evaluate soil fertility attributes and carbon (C) contents and stocks, samples deformed with the Dutch auger at different depths were retained. When analyzing the results, it was observed that in relation to the transition process of a native forest, passing through capoeira, degraded grassland and the ILPF system, it presented a greater carbon stock when the ILPF is already consolidated, showing an increase in the stock of carbon dioxide. carbon over time. The data obtained also indicated that with the follow-up of the ILPF system, the system provides an increase in carbon stock even in the deepest layers. Improving the physical and chemical conditions of the area making it more sustainable. Proving that the use of the ILPF system provided changes in the soil, improving its cultivation conditions, as well as the carbon stock for the soil. Allowing a more sustainable use of the area, avoiding a degradation process resulting from the use of a conventional cropping system

Keywords: Carbon Stock, Soil Density, ILPF.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Médias mensais dos dados históricos de precipitação pluviométrica (2011-2020) e temperatura e e precipitação do ano de estudo das áreas (2020) da região de Pindaré-Mirim, obtidos juntos ao Instituto Nacional de Meteorologia.....	21
Figura 2	Ilustração das áreas avaliadas que contemplam: Mata nativa, Capoeira, Pastagem degradada, ILPF 1ºano, ILPF 3ºano e ILPF 5ºano.....	22
Figura 3	Esquema da coleta de solo para determinação dos atributos.....	23
Figura 4	Coleta para análise de amostras indeformadas e deformadas: (a) minitrincheira; (b) coleta de amostras indeformadas em anel de Kopeck; (c) coleta de solo até 30 cm de profundidade com trado holandês.....	23
Figura 5	a) Saturação do solo b) mesa de tensão c) estufa.....	25
Figura 6	Densidade do solo em diferentes profundidades e em diferentes componentes vegetais pre e pós implantação do ILPF.....	29
Figura 7	Macroporosidade do solo em diferentes profundidades e em diferentes componentes vegetais pre e pós implantação do ILPF.....	29
Figura 8	Microporosidade do solo em diferentes profundidades e em diferentes componentes vegetais pre e pós implantação do ILPF.....	30
Figura 9	Porosidade do solo em diferentes profundidades e em diferentes componentes vegetais pre e pós implantação do ILPF.....	31
Figura 10	Estoque de C e C corr em diferentes componentes vegetais pre e pós implantação do ILPF.....	32
Figura 11	Carbono orgânico total nos diferentes componentes vegetais pre e pós implantação do ILPF.....	33

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 Geral	14
2.2 Específicos	14
3 REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1 Pastagens Degradadas	14
3.2 Sistemas Integrados de Produção Agropecuária	15
3.3 Material Orgânica no Solo	18
3.4 Atributos Físicos do Solo	19
4 MATERIAL E MÉTODOS	21
4.1 Localização, Clima e Solo da Área	21
4.2 Caracterização do Experimento e Histórico da Área	22
4.3 Coletas das Amostras de Solo	23
4.4 Análises das Variáveis	24
4.5 Análises Estatísticas	27
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
5.5 Atributos Físicos	28
5.6 Teor e Estoques de Carbono no Solo	31
6 CONCLUSÃO	34
REFERÊNCIAS	35

1 INTRODUÇÃO

A degradação da pastagem constitui-se como um dos principais problemas agronômicos para a atividade pecuária (DIAS-FILHO, 2014; DIEESE, 2011). O Brasil possui entre 50 e 60 milhões de hectares de pastagens cultivadas e, dessas, cerca de 80% estão em algum estágio de degradação (PERON et al., 2004; MACEDO et al. 2000). Além do desafio de aumento de produção, existem outros fatores, como as mudanças climáticas e escassez de terras aptas para o cultivo e o impacto ambiental, assim, é imperativo o uso racional do solo e intensificação da produção (JOHNSON et al. 2016).

Dados apresentados por Marin et al. (2016) indicam que, com o aumento da população mundial, a agricultura teria que aumentar a produção atual em 60% para atender a demanda de alimentos. Essa necessidade por uma maior produtividade sem um manejo adequado e práticas conservacionistas, podem levar a prejuízos ambientais irreversíveis.

Dessa forma, compreender os impactos ambientais da produção agrícola global, e como obter maiores rendimentos com menores danos ao ecossistema requer avaliações quantitativas da demanda futura de alimentos, e entender como as diferentes práticas de produção afetam os rendimentos e as variáveis ambientais (TILMAN, HILL, BELFORT, 2011).

No caminho da agricultura sustentável torna-se necessário o monitoramento da atividade agrícola, tanto no que se refere aos efeitos sobre o ambiente como sobre aspectos técnicos, sociais e econômicos (CASADO; DE MOLINA; GUZMÁN, 2000). Esse monitoramento se faz por meio de indicadores sociais, econômicos, ambientais e técnicos e exercem uma função fundamental na geração de dados que indicam a prioridade das mudanças e o direcionamento para uma proposta que possa contribuir com um desenvolvimento sustentável baseado em agroecossistemas.

O município de Pindaré-Mirim e cidades adjacentes fazem parte do bioma amazônico, região essa que já não possuem boas condições de fertilidade do solo devido sua formação geológica e natureza do solo encontrada nela, pois em regiões tropicais, além disso o acúmulo de matéria orgânica é prejudicado pelos tratamentos culturais praticados na região como, revolvimento anual do solo para sua descompactação. Devido essas condições desfavoráveis atreladas a um manuseio inadequado dessas áreas, necessitam de técnicas de manejo sustentável como o sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) pois, práticas inadequadas que provocam redução dos teores de MOS (matéria orgânica no solo) e aumento dos níveis de compactação do solo, afeta desfavoravelmente na produtividade das culturas (LINHARES, 2016).

Nas últimas décadas essas áreas sofreram mudanças drásticas, em decorrência do desflorestamento para incorporação de processos produtivos de lavouras ou pastagens principalmente para pecuária bovina, atividades essas que em sua grande maioria não utilizam de medidas conservacionistas, o que levou ao atual quadro de degradação e baixa produtividade. A transformação dos ecossistemas nativos em agroecossistemas de produção, somada ao manejo inadequado do solo, pode comprometer consideravelmente suas funções, como perda da qualidade física, química e biológica, além de influenciar na dinâmica da matéria orgânica do solo (SALES et al. 2018; TROIAN et al. 2020).

Os solos do trópico húmido possuem baixa fertilidade natural, caracterizados pelos baixos teores de ferro livre e carbono orgânico e grandes quantidades de areia fina e silte (DANIELLS, 2012; HUANG et al. 2020). Visando a recuperação ou a reforma das pastagens degradadas, o ILPF utiliza medidas estratégicas que integram atividades agrícolas, pecuárias e florestais em sinergia na mesma área, sob cultivo consorciado, sucessão ou rotação (BALBINO et al., 2012). Além disso, esses sistemas intensificam a produção de forma sustentável, proporcionando ganhos econômicos ambientais e sociais (MORAES et al., 2014).

É necessário minimizar os impactos ambientais sem reduções da produtividade. Isto leva a busca por métodos alternativos de produção, como a adoção de práticas que visem recuperar os solos degradados e manter a qualidade do solo. Neste contexto, a adoção do sistema ILPF pode desacelerar e reverter esse processo de degradação das pastagens, particularmente, nos agroecossistemas tropicais, e assim viabilizar uma pecuária sustentável e produtiva.

Dessa forma, o sistema ILPF que é um conjunto de técnicas que integram atividades agrícolas, pecuárias e florestais, em sinergia na mesma área, e é caracterizado pela adição contínua de matéria orgânica (BAYER et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2017). Atribuem aos sistemas integrados a capacidade de tornar os solos mais resilientes, de tal modo que podem representar uma alternativa para intensificação ecológica da agricultura em agroecossistemas tropicais (BONETTI et al. 2017). O sistema de ILPF em substituição a pastagem degradada pode promover melhoria nas condições físicas e níveis adequados de nutrientes para a pastagem, além do maior aporte e estoque de carbono, devido à decomposição da palhada da gramínea.

O sucesso de um projeto de recuperação de área degradada pode ser avaliado por meio de indicadores de recuperação, entre eles os físicos e químicos do solo no qual é considerada, por muitos pesquisadores, a forma mais adequada de medir e monitorar a sua conservação ou qualquer processo de degradação em curso (HAVLICEK, 2012; ARAÚJO, 2007; CARNEIRO et al., 2009).

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar as alterações no solo, no período de 2016 a 2020 de pastagem em integração lavoura-pecuária-floresta no bioma amazônico do estado do Maranhão.

2.2 Específicos

- Estudar as mudanças físicas (macroporosidade e microporidade) e químicas (fertilidade) no solo, em função da implantação do sistema ILPF.
- Determinar os teores de matéria orgânica do solo (MOS), e os estoques de C no solo em função da cronossequência da pastagem, após ser formada em sistema ILPF.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Pastagens Degradadas

A bovinocultura é um dos setores de maior representatividade do agronegócio brasileiro, tornando o país o maior exportador de carne bovina e o sexto maior produtor de leite (SILVA et al., 2017). No ano de 2020, o rebanho bovino nacional cresceu cerca de 1,5%, chegando a 218,2 milhões de cabeças, sendo este o maior efetivo desde 2016 (IBGE, 2021).

O bom resultado obtido da produção de bovinos está intimamente relacionado às condições de criação e à extensão territorial, onde, de acordo com o Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento – Lapig, em 2020 o País possuía uma área total de pastagem aproximadamente a 161 milhões de hectares, sendo 18,94% do território nacional (LAPIG, 2020).

As pastagens são a base para a produção de ruminantes no país, permitindo a exploração de sistemas de produção mais estáveis do ponto de vista produtivo e econômico (FREITAS et al., 2016). Sejam elas nativas ou cultivadas, as pastagens são o alicerce dessa atividade, servem de base para alimentação tanto para a pecuária de corte quanto para a de leite em vários países do mundo. No Brasil, as pastagens representam o avanço da pecuária, principalmente no bioma Cerrado (FURQUIM et al., 2018).

Porém, a degradação das pastagens, em várias regiões brasileiras, tem diminuído a produtividade das pastagens, comprometendo a sustentabilidade e rentabilidade (FREITAS et al., 2016). Aproximadamente 55% das áreas de pastagens cultivadas estejam comprometidas com algum estágio de degradação (LAPIG, 2020).

O termo “degradação de pastagens” é conceituado como um processo evolutivo de

perda do vigor, produtividade e capacidade de recuperação natural para sustentar os níveis de produção e qualidade exigidos pelos animais, mesmo em épocas favoráveis ao crescimento (BORGHI et al., 2018). Este cenário é resultado de décadas de exploração da fertilidade natural dos solos em áreas desmatadas para a implantação de forrageiras com alto potencial produtivo e conseqüentemente de alta exigência nutricional.

As causas de degradação podem ser separadas em degradação agrícola e degradação biológica. A degradação agrícola ocorre pela infestação da área por plantas daninhas e conseqüente redução na capacidade de suporte. Enquanto a degradação biológica é devido ao ambiente em que o solo não é capaz de sustentar a produção forrageira de maneira adequada, levando a substituição da pastagem por plantas menos exigentes em fertilidade do solo ou simplesmente áreas de solo descoberto (DIAS-FILHO, 2014).

Entre os fatores amplificadores da degradação, pode-se citar o excesso de lotação e manejo inadequado das pastagens, a falta de correção e adubação na formação e, principalmente, a falta de reposição de nutrientes pela adubação de manutenção, utilização de espécie ou cultivar inadequada; que não seja adaptada ao clima, solo e objetivo da produção, o preparo de solo e técnicas de semeadura impróprias, a ausência ou falta de práticas conservacionistas do solo, além do uso de sementes de má qualidade e origem desconhecida, ou uso de espécies forrageiras não adaptadas e resistência ao pastejo (BORGHI et al., 2018)

O superpastejo dos animais pode ser considerado como o principal responsável pela degradação das áreas de pastagens, uma vez que a redução da altura do dossel da forrageira favorece a entrada de raios solares, propiciando a emergência de plantas daninhas com sementes fotoblásticas positivas, reduzindo o potencial produtivo das forrageiras da área devido à competição (SILVA et al., 2017).

A recuperação de pastagens degradadas será a principal alternativa para conquista de ganhos de produtividade da pecuária brasileira, principalmente a região centro-sul do País, que dependerá mais de ganhos de produtividade (BARBIERI et al., 2017). As lavouras de grãos e pastagens anuais têm sido uma prática cultural muito utilizada nos processos de recuperação ou renovação de pastagens cultivadas ao longo do tempo. Contudo, há pouco tempo uma alternativa tem crescido e se destacando pela sua complexidade e eficiência, os sistemas integrados de produção que visam explorar os sinergismos derivados das associações entre os cultivos agrícolas e produção animais (MACEDO; ARAÚJO, 2019).

3.2 Sistemas Integrados de Produção Agropecuária

O Sistema Integrado de Produção Agropecuária (SIPA) é a nova referência de produção agrícola. De acordo com a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (Food and Agriculture Organization of United Nations – FAO, 2010), trata-se de um caso específico de Agricultura diversificada ou Agricultura Mista (Mixed Farming), que corresponde à combinação de culturas (vegetais e/ou animais), em uma mesma fazenda ou região, em um mesmo período ou em períodos diferentes e com maior ou menor uso de recursos externos à propriedade rural.

Essas combinações demonstram que há uma grande variedade de sistemas mistos, os quais podem ser resumidos em três grandes categorias: na fazenda e entre fazendas, mistura entre lavoura e/ou pecuária, e diversificação e integração de sistemas (CORREA, 2019). O SIPA busca explorar sinergismos através de uma visão abrangente do sistema de produção. Além de ser o sistema mais eficiente no uso dos recursos naturais (WRIGHT et al., 2011), também reduz custos de produção (RYSCHAWY et al., 2012), beneficia o solo (SALTON et al., 2012) e mantém a produtividade alta (BALBINOT JR et al., 2009; CORREA, 2019).

O Sistema Integrado de Produção Agropecuária (SIPA) está presente em 25 milhões de km² (BELL; MOORE, 2012) e é responsável por aproximadamente 50% da produção de alimentos no mundo (HERRERO et al., 2010). Atualmente, o SIPA é reconhecido como alternativa para consolidação sustentável (FAO, 2010), pois reúne uma gama de atributos raros em sistemas de produção de alimentos. Esse sistema é altamente eficiente no uso dos recursos naturais (WRIGHT et al., 2011); promove ciclagem de nutrientes e melhoria do solo (SALTON et al., 2014); reduzindo os custos de produção (RYSCHAWY et al., 2012), mantém os níveis de produtividade elevados (BALBINOT JR et al., 2009); e, ainda, é responsável por inúmeros serviços ecossistêmicos (SANDERSON et al., 2013).

Herrero et al. (2010) relataram que o futuro da alimentação do planeta está incumbido nas tecnologias de intensificação sustentável que promovem ganhos de eficiência para se produzir mais alimentos sem que se use mais área, água ou outros insumos. No Brasil, este fenômeno tornou-se incontestável com o ressurgimento do SIPA, por ser reconhecido como promovedor de sequestro de carbono, sendo incluído na agenda da produção agrícola mitigadora dos gases de efeito estufa (Plano de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento).

A integração ente componentes agrícolas e pecuários protege o meio ambiente, reduz a emissão de CO₂, melhora a qualidade do solo, da água, preserva a biodiversidade etc.

(LEMAIRE, 2014), de modo que haja redução dos impactos ambientais resultantes de práticas produtivas isoladas (CAVALETT; QUEIROZ; ORTEGA, 2005; SZNITOWSKI et al., 2019).

Os SIPAs tornam-se uma alternativa aos sistemas que almejam a intensificação da produção simultânea a sustentabilidade ambiental, possuem como desafio se adaptar a sistemas profundamente direcionados a práticas conservacionistas (MORAES et al., 2014), principalmente para reverter o processo de degradação dos solos (CASTRO FILHO et al., 2002), pois oferecem estímulo à fertilidade do solo, com fixação biológica do nitrogênio pelas leguminosas, aumentam a eficiência de ciclagem de nutrientes, melhoram as condições físicas do solo pelo efeito aglutinante da matéria orgânica, incrementam a microflora e a microfauna no horizonte superficial (LAL, 1991; KICHEL et al., 2014).

A sustentabilidade agrícola tornou-se um termo recorrente e obrigatório devido a sua aplicação ambiental correta e produtiva, além de ser economicamente viável e socialmente desejável. A agricultura convencional acarretou em consequências negativas e, visando uma alternativa que minimize tais impactos, a integração entre grãos e animais tem se tornado um modelo produtivo pertinente (SULC; TRACY, 2007; LEMAIRES, 2014). Apesar desses sistemas de integração melhorar a eficiência da produção e qualidade ambiental, ainda é necessário investir em pesquisas e criação de gestão que sejam adaptados ao contexto social e ambiental (SULC; TRACY, 2007; FRANZLUEBBERS, 2007).

A integração de sistemas, no SIPA, pode ser representada pelo sistema de Integração LavouraPecuária-Floresta (ILPF), nomenclatura utilizada pela EMBRAPA (2016). O Sistema Integrado Lavoura Pecuária Floresta compreende tanto benefício ambiental quanto socioeconômico. No contexto ambiental destaca a menor ocorrência de pragas, doenças e plantas daninhas, bem-estar animal ocorre pelo sombreamento das pastagens, reduzindo o estresse dos animais; e a redução da emissão de gases de efeito estufa (GEEs) e do desmatamento devido ao aproveitamento de áreas degradadas. Pela parte socioeconômica está a geração de empregos, redução na sazonalidade da mão de obra, melhoria da qualidade de vida na propriedade, redução ou recuperação de áreas de pastagens degradadas ou em degradação, otimização do uso de máquinas e equipamentos, aumento da produção agrícola por área, entre outros (EMBRAPA, 2016).

O SIPA, no Brasil, se adapta à realidade de cada bioma, visando a integração das culturas agrícolas que melhor se adaptam ao clima, solo, infraestrutura e tecnologia disponível (CORREA, 2019). O Programa de Agricultura de Baixo Carbono, utilizado para aumentar o sequestro de Carbono e Nitrogênio do solo, principalmente por meio de mudanças nas práticas de manejo da terra e a recuperação de pastagens degradadas é um exemplo da importância dessa

alternativa de produção (BALBINO et al., 2011; WINK et al., 2018).

3.3 Material Orgânica no Solo

Segundo Bartoly et al. (2018), a matéria orgânica do solo (MOS) é definida como todo o material que contem carbono orgânico no solo (COS), isto inclui tanto microrganismos vivos quanto mortos, os resíduos que estão parcialmente decompostos dos animais e plantas, substâncias orgânicas que estejam alteradas microbiológica ou quimicamente, e produtos de decomposição. Estes estão ligados através de pontes de hidrogênio e interações hidrofóbicas formando uma estrutura supramolecular (MUSCOLO; SIDARI; NARDI, 2013).

A MOS possui grande importância para a capacidade produtiva do solo, pois está relacionada às propriedades físicas, biológicas e químicas dos solos, sendo a principal responsável pela CTC de solos tropicais e subtropicais, atuando na diminuição da toxicidade de elementos tóxicos às plantas, tornando-se fonte de energia e nutrientes para a biota do solo. O aumento desta biota favorece o surgimento de propriedades emergentes, tais como a agregação, a aeração, a densidade, a infiltração e a retenção de água no solo (SILVA et al., 2018). Mesmo que em pequenas quantidades, se comparada com a fração mineral, a matéria orgânica no solo é de extrema importância para os sistemas de produção agrícola devido aos diversos efeitos que produz nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (GOMES et al., 2017; CONCEIÇÃO et al., 2017) e por seu efeito no crescimento e desenvolvimento das plantas.

Sistemas de manejo do solo com pastagem permanente ou em rotação com lavoura em semeadura direta contribuem à formação de agregados estáveis de maior tamanho, se comparados aos sistemas que possuem apenas lavouras ou lavouras em rotação com pastagens em ciclos maiores que três anos (TROLEIS et al., 2017). Essa relação entre agregados do solo e teor de matéria orgânica pode estar relacionada fauna do solo, fração mineral, microrganismos, agentes inorgânicos, presença de raízes, além das variáveis ambientais que são atuantes na formação e estabilidade desses agregados do solo (SALTON et al., 2008).

Produções agrícolas implantadas sem práticas conservacionistas tendem a reduzir os teores de matéria orgânica do solo (MOS) em camadas superficiais diminuindo a disponibilidade dos nutrientes (OLIVEIRA et al., 2017), além de possíveis modificações em outros atributos edáficos. Pinto et al., (2012) relataram que os sistemas agrícolas que fazem uso de resíduos orgânicos ao solo, seja animal ou vegetal, promovem aumento nos teores de matéria orgânica.

Os trabalhos de pesquisas com matéria orgânica na agricultura precisam ser mais estimulados com o objetivo de quantificar da melhor forma a contribuição dos diferentes ecossistemas, tal como identificar atividades ou práticas com potencial de manutenção e/ou acúmulo de MOS (SILVA, 2020).

A determinação dos fracionamentos da MOS e de teores de carbono compreendem informações importantes sobre a qualidade do solo. Além dos teores totais de MOS, alterações do carbono orgânico atuam diretamente na qualidade do solo, sendo ambos importantes na avaliação onde as modificações as quais do solo é submetido, bem como a identificação e quantificação das formas da matéria orgânica através do fracionamento. Muitas vezes as modificações dessas frações estão relacionadas com o tipo de manejo que as áreas são submetidas (CUNHA et al., 2009; ROSA et al., 2017).

O fracionamento granulométrico da MOS constitui-se na separação de frações orgânicas: o carbono orgânico particulado (COP) e o carbono orgânicos associado aos minerais (Coam) (Loss et al., 2009). Onde são separados por meio da dispersão e peneiramento do solo associado com a partícula de areia que é caracterizado por sedimentos vegetais e hifas protegidas por agregados do solo (GOLCHIN et al., 1994). O carbono orgânico associado aos minerais é a fração orgânica que está agregada com frações de silte e argila, sendo esta a fração que interage com partículas minerais, formadora de complexos organominerais com proteções coloidais (NANZER et al., 2019).

Em SIPA a matéria orgânica do solo apresenta alterações em sua dinâmica se comparada com outros sistemas de produção que não possuem animais em pastejo. A presença do animal em pastejo contribui para uma maior heterogeneidade na distribuição dos resíduos sobre o solo, constatando que o manejo da altura do pasto seja de suma importância para a dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas integrados de produção agropecuária. Diante disto, a compreensão do papel do animal na dinâmica da MOS em SIPA passa a ter significância para que seja realizado um correto manejo dos sistemas de produção que possuem a entrada do animal na fase de pastagem (SOUZA et al., 2018).

3.4 Atributos físicos do solo

A qualidade física do solo está entre uma das maiores preocupações em áreas de pastagem, pois pode comprometer a produtividade da mesma (MOREIRA et al., 2012). A redução da qualidade física do solo está diretamente e principalmente relacionada à pressão de pastejo exercida pelo pisoteio animal (PETEAN et al., 2010; FIDALSKI et al., 2013). O manejo incorreto pode ocasionar em um efeito deletério sobre os atributos físicos do solo, principalmente na camada superficial do solo, comprometendo o crescimento das raízes

(BELONI et al., 2016). Este efeito está associado ao aumento da resistência do solo à penetração (FERREIRA et al., 2018), aumento da densidade do solo (VEIGA et al., 2014) e mudanças no sistema poroso do solo. Ainda pode ocorrer redução da cobertura vegetal sobre o solo e o aproveitamento de nutrientes pelas culturas devido ao limitado crescimento das raízes (FERREIRA et al., 2018).

Dentro do planejamento das atividades agrícolas o monitoramento de atributos físicos do solo deve ser imprescindível para definição dos sistemas produtivos que sejam menos prejudiciais ao ambiente (MOTA et al., 2017). As características do solo que podem servir de referências para a sua qualificação físico-hídricas são: densidade, porosidade, resistência do solo a penetração mecânica e infiltração da água no solo, estas quando isoladas ou associadas podem influenciar no escoamento superficial e conseqüentemente as perdas de água e solo (CASTRO et al., 2012).

O manejo da compactação do solo, juntamente com o manejo animal e vegetal é fundamental, e em sistemas mecanizados demanda do controle do tráfego de máquinas e das condições do solo para que as tensões cometidas pelas máquinas e equipamentos sejam inferiores à capacidade de suporte de carga do solo. Deste modo, os impactos da adoção de SIPA nas propriedades físico-hídricas e mecânicas do solo ocorrem quando as pressões exercidas pelo casco do animal ou pelos rodados das máquinas e os órgãos ativos dos equipamentos superam a capacidade de suporte de carga do solo, quantificada por indicadores de resistência mecânica em um determinado conteúdo de água no solo (ARAÚJO JUNIOR; BONETTI, 2018).

Um dos principais questionamentos dos produtores está relacionado ao impacto ligado à degradação física do solo que é provocado pelo pisoteio do gado (FLORES et al., 2007), e, neste cenário ainda há divergências sobre os reais impactos oriundos dos sistemas integrados. Os sistemas que adotam práticas conservacionistas como sistema de plantio direto ou integração lavoura-pecuária são recursos importantes a fim de promover aumento na produtividade das áreas de Plintossolos (ALMEIDA et al., 2020), onde o acúmulo de matéria orgânica melhora o sistema através das propriedades físico-químicas que conseqüentemente apresenta efeito positivo nos cultivos, especialmente se essas propriedades físicas forem limitantes devido a presença de laterita (JAIN; KALAMDHAD, 2020).

Os comportamentos resultantes das diferentes interações no solo, seja pelas atividades e pelo tempo de implantação tornam esse atributo dinâmico e complexo (Balbino et al. 2011). Diante disso, pesquisas científicas são necessárias para que seja consolidado quanto à sustentabilidade ambiental e produtiva destes sistemas (OLIVEIRA et al., 2017).

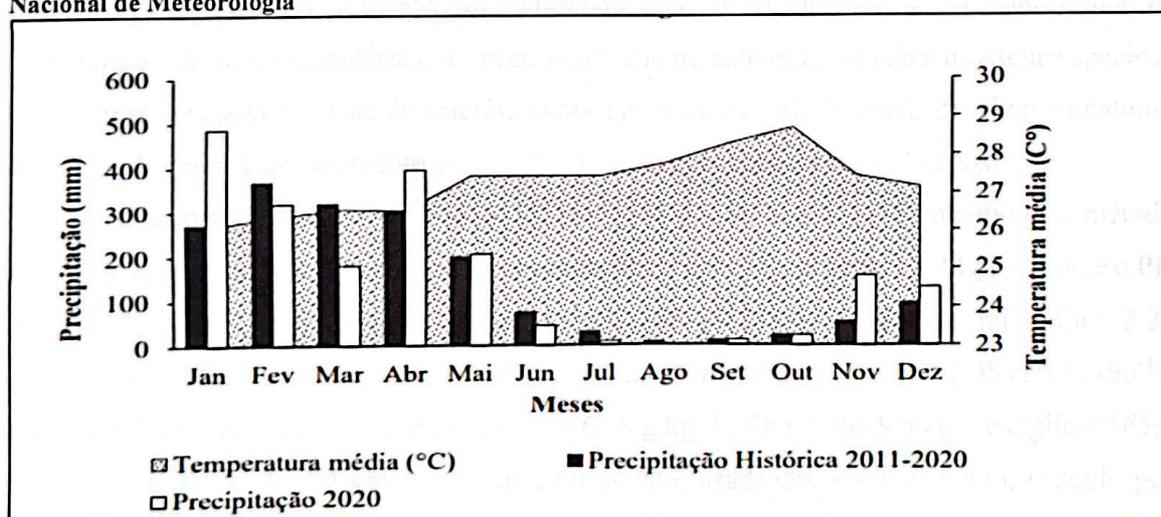
A qualidade física do solo é um reflexo do ambiente para a sustentação mecânica da planta, desenvolvimento do sistema radicular e disponibilizar condições para absorção de água, ar e nutrientes, por isso, análises físicas do solo são essenciais para a caracterização ambiental e produtiva do solo (OLIVEIRA et al., 2017).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização, Clima e Solo da Área

O estudo foi realizado na Unidade de Referência Tecnológica – URT em ILPF da EMBRAPA Cocais, no município de Pindaré-Mirim, no estado do Maranhão (3° 46'9, 12'' S e 45° 29'35, 52'' W). O clima da região é classificado segundo Koppen (1948) como Aw (quente e úmido) e a temperatura média anual é de 26 °C, com mínima de 23 °C e máxima de 37 °C e a temperatura média é de aproximadamente 27 °C (Figura 1). Há duas épocas bem definidas, as quais são o período chuvoso (janeiro a julho) e período seco (agosto a dezembro) (BATISTELA et al., 2013).

Figura 1- Médias mensais dos dados históricos de precipitação pluviométrica (2011-2020) e temperatura e precipitação do ano de estudo das áreas (2020) da região de Pindaré-Mirim, obtidos juntos ao Instituto Nacional de Meteorologia

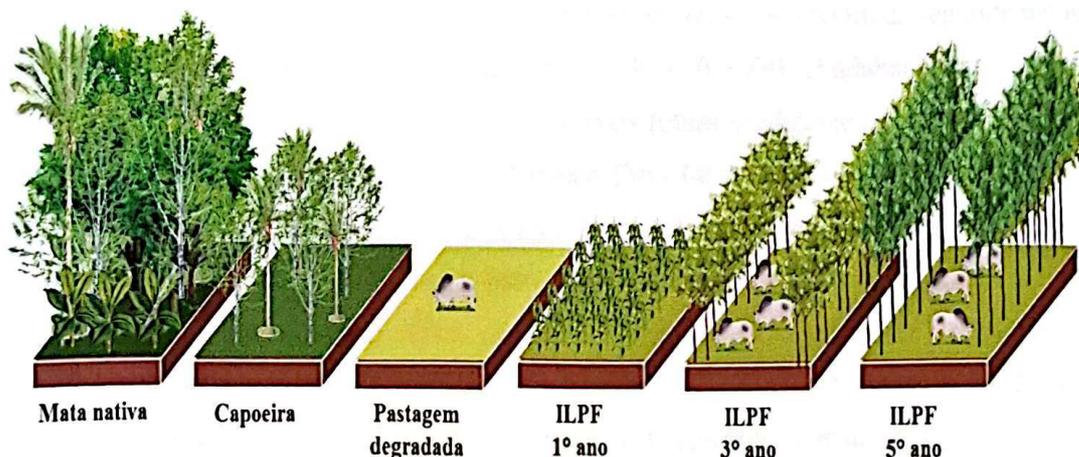


Fonte: INMET, 2021

4.2 Histórico da área, implantação e condução do experimento

Para efeito de avaliação dos atributos físicos e químicos do solo, o experimento contemplou três ambientes para comparação (Mata nativa, capoeira e pastagem degradada) e três épocas de sucessão após a formação do sistema: ILPF 1º ano (2016), ILPF 3º ano (2018) e ILPF 5º ano (2020) (Figura 2).

Figura 2- Ilustração das áreas avaliadas que contemplam: Mata nativa, Capoeira, Pastagem degradada, ILPF 1ºano, ILPF 3ºano e ILPF 5ºano



A área com sistema ILPF foi implantada em 2016, também em substituição a pastagem degradada de *Urochloa brizantha* cv. Marandu com aproximadamente 20 (vinte) anos de implantação. A mata secundária com predominância de palmeiras de babaçu (*Attalea speciosa* Mart) foi utilizada como área de referência por apresentar condições mais próximo ao natural. A área de Copeira é um ambiente em regeneração há aproximadamente 20 anos.

O solo da área do experimento foi corrigido aos 90 dias antes do plantio pelo método de saturação por bases, com calcário dolomítico (PRNT 80%) e dose de $1,0 \text{ Mg ha}^{-1}$, onde o PH (H_2O) = 4,0; $\text{P} = 1,51 \text{ mg dm}^{-3}$; $\text{K} = 0,60 \text{ cmol c dm}^{-3}$; $\text{Na} = 0,08 \text{ cmol c dm}^{-3}$; $\text{Ca} = 3,27 \text{ cmol c dm}^{-3}$; $\text{Mg}^{2+} = 5,33 \text{ cmol c dm}^{-3}$; $\text{Al} = 0,25 \text{ cmol c dm}^{-3}$; $\text{H} + \text{Al} = 5,39 \text{ cmol c dm}^{-3}$ e $\text{V} = 63,44\%$ e textura franco arenosa (areia = $467,9 \text{ g kg}^{-1}$, silte = $366,9 \text{ g kg}^{-1}$ e argila = $165,2 \text{ g kg}^{-1}$). A aplicação foi em área total com aração, gradagem e nivelamento, seguido por incorporação (até 20 cm de profundidade).

Foi utilizado o sistema Santa Fé (COBUCCI et al., 2007) para implantação da pastagem, com cultivo do milho híbrido KWS 9304 em consórcio com capim *Urochloa brizantha* cv. Marandu, as quais foram realizadas simultaneamente a semeadura milho e de capim, utilizando-se espaçamento de $0,6\text{m} \times 0,3\text{m}$ para o milho e a forrageira como terceira caixa na plantadeira.

Posteriormente, foram realizados o transplântio das mudas de eucalipto em renques aos 70 dias após plantio do milho, utilizou-se o espaçamento de 3 m x 2 m e 28 m entre fileiras duplas. Em 2017 não houve calagem do solo, e o cultivo do milho e capim foi realizado na forma de plantio direto em sulco sobre a palhada de 2016 com a mesma quantidade de sementes e o mesmo espaçamento do ano anterior (MIRANDA et al., 2005).

As adubações de 2016 e 2017 para as culturas do milho ocorreram da seguinte maneira: adubação de plantio = 400 kg ha⁻¹ da fórmula (04 - 30 - 10 + Zn); 1ª adubação de cobertura = 200 kg ha⁻¹ da fórmula (36 - 00 - 30), com quatro folhas totalmente desenvolvidas; e a 2ª adubação de cobertura = 200 kg ha⁻¹ da fórmula (36 - 00 - 30), com oito folhas totalmente desenvolvidas. No ano de 2018, a área se manteve em pousio até o mês de novembro do mesmo ano, quando iniciaram-se os ciclos de pastejo contínuo, com a entrada do primeiro lote de animais com dez garrotes anelados, peso vivo médio de ±250 kg e taxa de lotação de 3 Unidade Animal (UA) ha⁻¹ ano⁻¹, que permaneceram até abril de 2019. Nesse ano, não houve adubação com NPK no capim, assim como aplicação de calcário na área.

Em maio de 2019, foi realizado coleta de solos nas camadas de 0-10, 0-20 e 0-30 cm, que foram analisadas quanto as características químicas e composição granulométrica seguindo a metodologia proposta pela Embrapa (2017). As adubações com ureia foram parceladas em quatro doses iguais durante o período chuvoso, nos meses de maio, julho, agosto e setembro de 2019 distribuído manualmente a lanço, um dia após a saída dos animais de cada piquete e de acordo com o ciclo apresentado pela gramínea. O método de pastejo foi lotação contínua, com carga variável, conforme metodologia proposta por Mott e Lucas (1952), onde o ajuste dos animais nas parcelas foi adaptado conforme recomendação de Sollenberger et al. (2005).

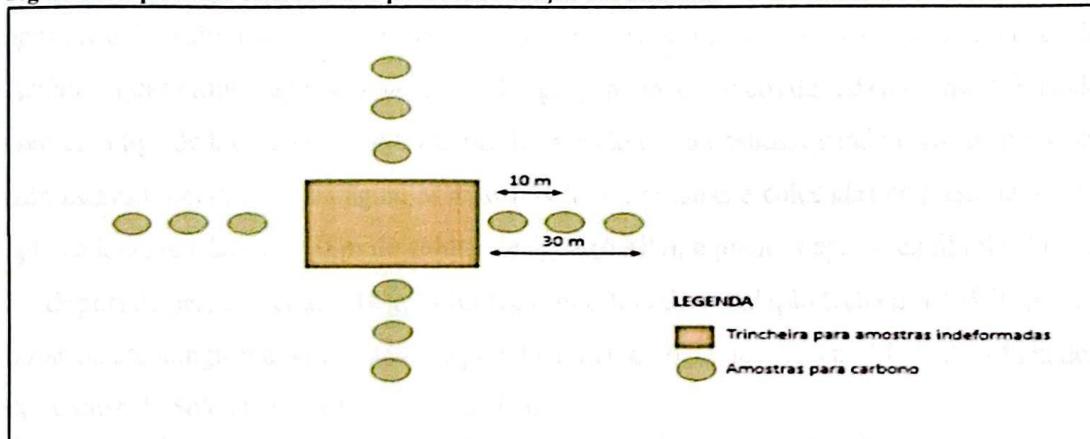
Os novilhos utilizados possuíam peso vivo médio de ±180 kg, sendo dois animais “testes” que permaneceram fixos nas parcelas, e um número variável de animais de “ajuste” de acordo com a oferta de forragem que era realizada a cada 28 dias, juntamente com a pesagem dos animais. As parcelas ficaram sem pastejo de outubro de 2019 a janeiro de 2020, período de baixa oferta de forragem. Os animais voltaram as parcelas em janeiro de 2020 permanecendo até o mês de setembro do mesmo ano.

4.3 Coletas das Amostras de Solo

Nas áreas de mata nativa e pastagem degradada, as amostras de solo foram coletadas em 2016 antes da implantação do experimento, foram abertas três trincheiras de um metro quadrado por um metro de profundidade, dispostas aleatoriamente ao longo do ambiente de

coleta. Para os anos seguintes as três trincheiras foram anualmente abertas na área de ILPF no entre renques do eucalipto.

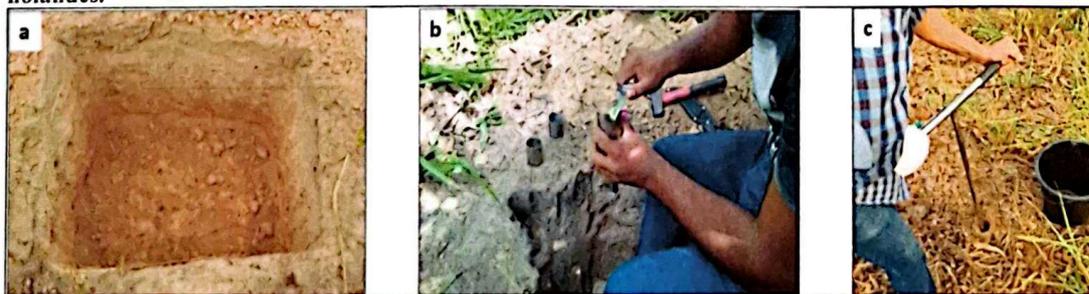
Figura 3- Esquema da coleta de solo para determinação dos atributos



Fonte: BATISTA, 2020

As coletas das amostras indeformadas para determinação das análises físicas foram realizadas até 30 cm de profundidade, em três camadas: 0-10, 10-20 e 20-30 cm. Ainda, foram amostradas em cada profundidade, as três faces (paredes) da trincheira para a coleta de solo empregando-se um coletor com anel volumétrico de aço inox com volume de 100 cm³ (Figura 4). As análises físicas foram realizadas no âmbito do Laboratório de Solos da Universidade Estadual do Maranhão.

Figura 4- Coleta para análise de amostras indeformadas e deformadas: (a) minitrincheira; (b) coleta de amostras indeformadas em anel de Kopeck; (c) coleta de solo até 30 cm de profundidade com trado holandês.



Fonte: SILVA, 2020

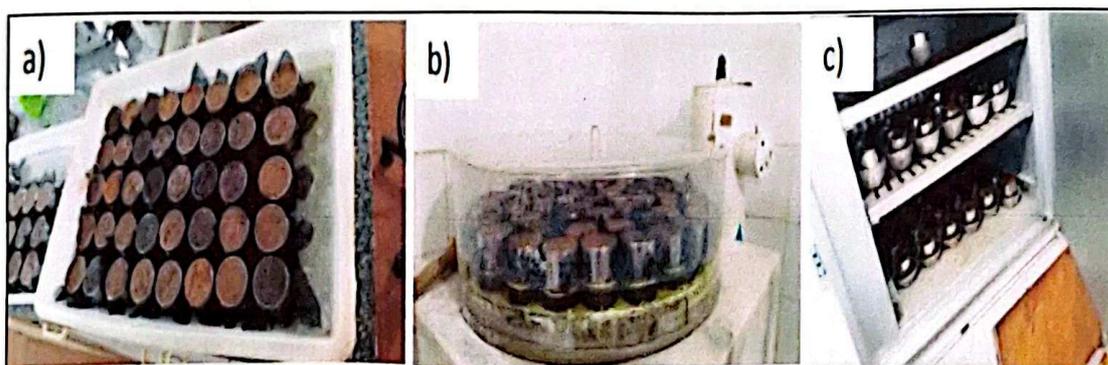
Para as análises químicas foram marcados três pontos principais dispostos aleatoriamente na área e, ao redor em todas as direções cardeais, marcando doze pontos Equidistantes, que foi realizada a coleta de amostras deformadas com o auxílio de trado holandês nas mesmas profundidades mencionadas para análises físicas.

4.4 Análises

4.4.1 Composição granulométrica e atributos químicos

As amostras indeformadas foram devidamente saturadas em bandejas plásticas com água até 2/3 da altura dos anéis. Com a finalidade de evitar perda de solo, utilizou-se um tecido sintético, que permitiu apenas a passagem de água, em um dos lados de cada anel, que foi fixado com uma liga de borracha. Após 24 horas de imersão das amostras, quando todos os poros do solo estavam ocupados pela água, as amostras foram pesadas e colocadas na mesa de tensão aplicando-se tensão de 0,60 m de coluna de água (6 kPa), e pesadas após o equilíbrio (Figura 5). Depois de pesadas, cada repetição foi seca em estufa de circulação fechada a 105 °C por 24 horas ou até atingir massa constante seguindo a metodologia descritas no Manual de Métodos de Análise de Solos (TEIXEIRA et al., 2017).

Figura 5- a) Saturação do solo b) mesa de tensão c) estufa



Fonte: SILVA, 2020

A densidade do solo foi obtida através da equação (1):

$$D_s = M_a / V$$

Em que:

D_s – densidade do solo, em kg dm^{-3} (equivalente a g cm^{-3}).
 M_a – massa da amostra de solo seco a 105 °C até peso constante, em V – volume do cilindro, em cm^3 . A microporosidade (M_i) foi calculada utilizando o teor de água retido nas amostras equilibradas a 6 kPa. As amostras saturadas foram colocadas sob a mesa de tensão a qual retira a água dos macroporos. Após pesagem, antes e depois de ir à estufa a 105 °C, obteve-se o volume de macro e microporos contidos na amostra (ALMEIDA et al., 2017). Para a determinação da microporosidade, utilizou-se equação (2):

$$M_i = \frac{(a-b)}{c}$$

Em que:

a – massa do conjunto amostra-cilindro-tecido-elástico após equilíbrio com um potencial de 6 kPa (60 cm de coluna de água), em g.

b – massa do solo seco a 105 °C, em g.

c – volume total da amostra, em cm³ (nesse caso, assume-se que o volume total da amostra é igual ao volume do cilindro)

A porosidade total (PT) foi obtida através do método indireto, assumindo o valor para densidade de partículas em 2,65 kg.dm⁻³ de acordo com a equação 3:

$$P_t = 1 - \left[\frac{D_s}{D_p} \right]$$

Em que:

P_t – porosidade total, em m³ m⁻³;

D_p – densidade de partículas sólidas do solo, em kg dm⁻³;

D_s – densidade do solo, em kg dm⁻³.

Assim, conhecendo a P_t e a M_i calculou-se a macroporosidade (M_a) através da diferença entre porosidade total e microporosidade, conforme equação 4:

$$M_a = (P_t - M_i)$$

Em que:

M_a – macroporosidade, em m³ m⁻³;

P_t – porosidade total, em m³ m⁻³;

M_i – microporosidade, em m³ m⁻³.

4.4.2 Teores do Estoque de Carbono no solo

O teor de carbono (C) foi determinado segundo (YEOMANS; BREMNER, 1988) onde as amostras de solo de terra fina seca ao ar (TFSA), maceradas em gral de porcelana e passadas em peneira de malha de 60 mesh de abertura. Posteriormente, foram pesadas 0,5 g de TFSA em tubos de digestão e adicionados 5 ml de $K_2Cr_2O_7$ 0,167 M e 7,5 ml de Ácido Sulfúrico Conc. PA. Nessas mesmas condições foram realizados dois brancos somente com os reagentes, sendo dois tubos aquecidos e não aquecidos. O conjunto de tubos contendo as amostras de solo foi levado para o bloco digestor por 30 minutos, aquecido a 170 °C. Após esse procedimento, as amostras contidas em cada tubo foram transferidas para erlenmayer de 125 ml, usando 50 ml de água destilada. Após esfriar, foi adicionado 4 gotas do indicador ferroin e procedido a titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,2 M até viragem de cor verde para vermelho.

A partir dos teores totais de carbono foram calculados os estoques de carbono (Mg ha⁻¹), conforme a equação 5:

$$\text{Estoque} = \text{teor} \times \text{densidade} \times \text{espessura}$$

Em que:

Teor = referente ao teor do elemento carbono no solo em %

Densidade = densidade do solo em g cm⁻³

Espessura = é a espessura da camada para a qual o estoque está sendo calculado, medida em cm.

Sabe-se que os solos quando submetidos a diferentes sistemas de manejo podem ter densidades diferentes, o que implica na comparação de massas diferentes de solo quando se consideram camadas com a mesma espessura, como as utilizadas na amostragem feita nesse estudo.

Portanto, para comparar adequadamente os estoques de C entre as áreas, será necessário fazer comparação entre massas iguais de solo, gerando a necessidade de um ajuste nos valores das profundidades utilizadas nos cálculos (Ellert e Bettany, 1995). Esse ajuste, denominado de correção pela massa de solo equivalente, será feito tomando uma área de vegetação nativa de babaçu como referência, amostrada por Reis et al., 2018, que consiste em encontrar um novo valor de profundidade para cada área, o qual foi usado no novo cálculo dos estoques de C, de modo que a nova profundidade represente a mesma massa de solo em todas as áreas. O ajuste foi feito apenas na camada mais profunda para evitar a propagação de erros e a profundidade corrigida será calculada pela equação 6.

$$\text{Profundidade corrigida (cm)} = \text{DMPref} \text{DMPcorr} \times \text{Profcorr}$$

Em que:

DMPref representa a densidade média ponderada da área de referência (g cm^{-3})

DMP cor é a densidade média ponderada da área que está sendo corrigida (g cm^{-3})

Profcor é a profundidade original da camada que está sendo corrigida (cm).

4.5 Análises estatísticas

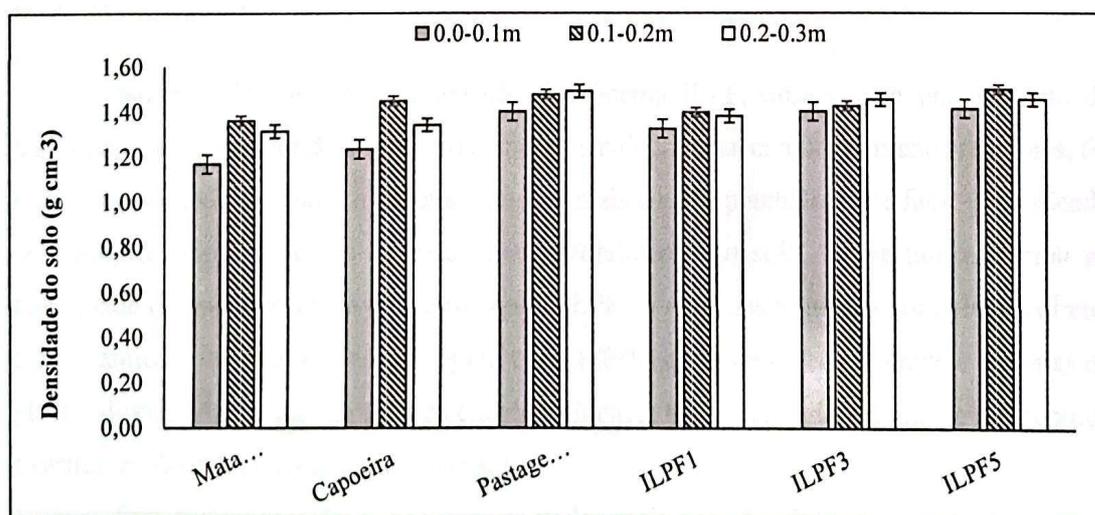
Consideraram-se os manejos como tratamentos empregando-se pseudorepetições, pois estavam na mesma classe de solo. Os dados obtidos foram submetidos aos testes de normalidade (Shapiro-Wilk) e homogeneidade (Levene), quando atendidos esses pressupostos, calculou-se o erro padrão da média e elaborou-se gráficos de colunas. Para todas as análises estatísticas empregou-se o pacote estatístico R versão 3.2.5 (R Development Core Team, 2016).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Atributos Físicos

Ao avaliar os dados obtidos, observou-se que a densidade do solo, independente da camada analisada, foi menor nos solos sob mata nativa em contraposição aos maiores valores de densidade no sistema ILPF após 5 anos de implantação (Figura 6).

Figura 6-Densidade do solo em diferentes profundidades e em diferentes componentes vegetais pre e pós implantação do ILPF.

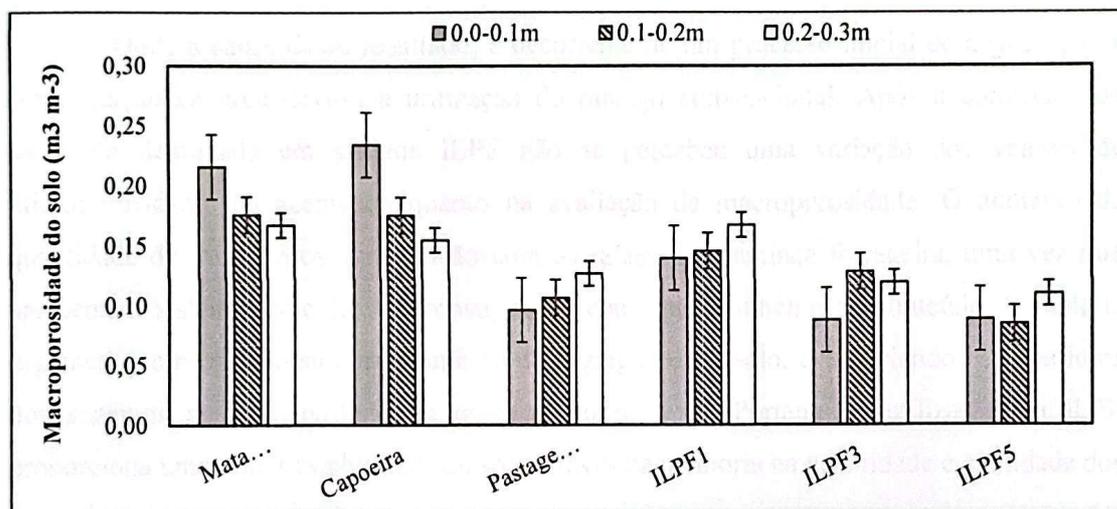


Fonte: BATISTA, 2020

A compactação do solo pelo uso de práticas inadequadas de manejo resulta diretamente em aumento na densidade do solo e, por consequência, em alterações detrimenais em outras propriedades físicas, tais como: a porosidade do solo, a retenção de água, a aeração e a resistência do solo à penetração das raízes (LETEY, 1985). A densidade do solo é fator primordial para o desenvolvimento de qualquer atividade agrícola, a adoção do sistema ILPF assegura melhores condições nesse quesito, retardando e até mesmo revertendo um processo de compactação do solo. Verifica-se um aumento da densidade em profundidade do solo, independentemente do manejo.

Os maiores valores de macroporosidade foram obtidos em mata nativa e capoeira, que não diferiram entre si (Figura 7).

Figura 7- Macroporosidade do solo em diferentes profundidades e em diferentes componentes vegetais pre e pós implantação do ILPF.

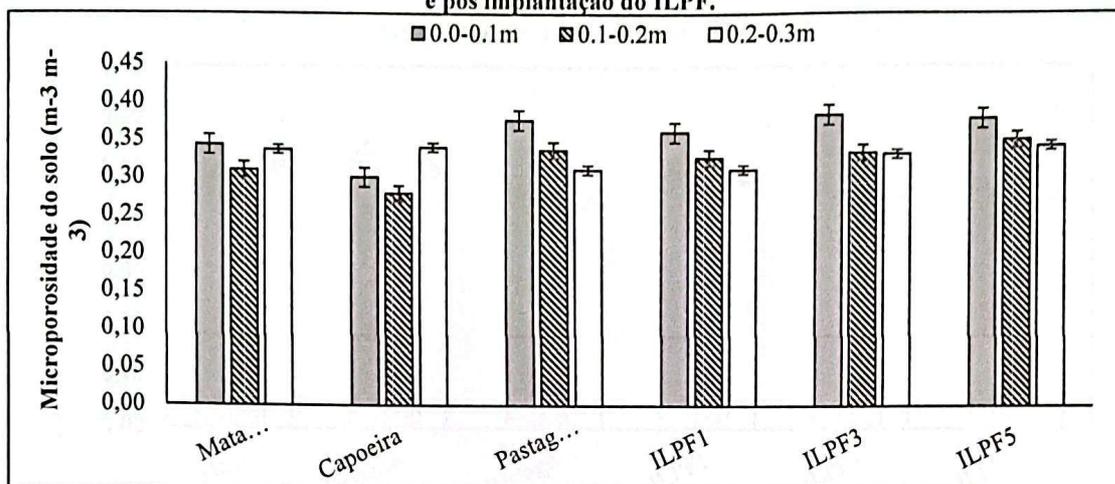


Fonte: BATISTA, 2020

No primeiro ano de implantação do sistema ILPF, observou-se um aumento de macroporos em comparação ao estágio de pastagem degradada, contudo nos anos seguintes, foi notado uma queda no número de macroporos no sistema implantado. Esse fator é justificado pela própria implantação do sistema, com revolvimento do solo, houve um aumento na quantidade de macroporos no primeiro ano de ILPF, já nos anos seguintes com plantio direto, essa quantidade tendeu a diminuir. Spera et al. (2009) observaram em diferentes sistemas de plantio direto, que a matéria orgânica exerce influência no aumento do volume de macroporos e reestruturação dos macroagregados do solo.

Para microporosidade, nas duas camadas mais superficiais, notou-se que a capoeira possui menos microporos do que os demais ambientes avaliados (Figura 8).

Figura 8- Microporosidade do solo em diferentes profundidades e em diferentes componentes vegetais pre e pós implantação do ILPF.

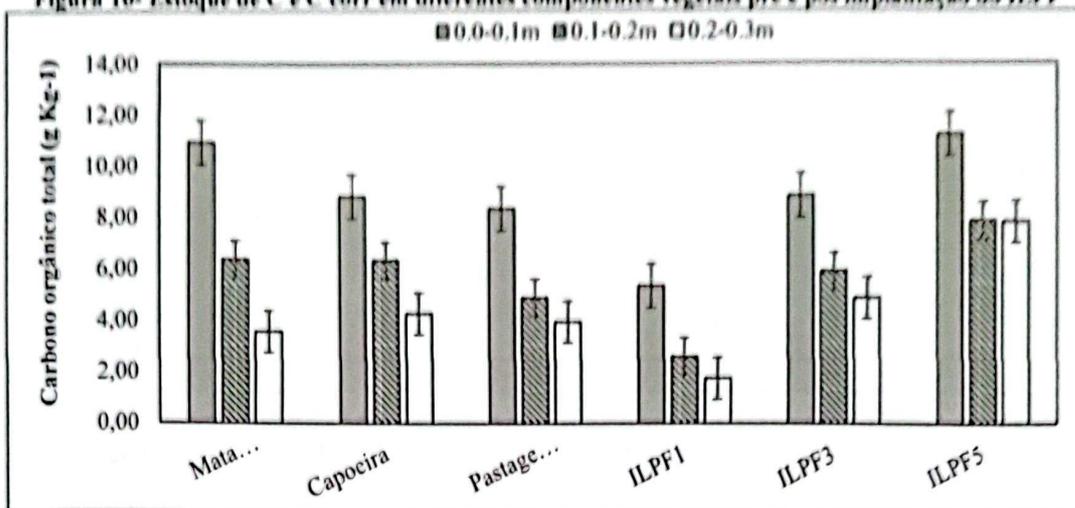


Fonte: BATISTA, 2020

Onde a causa desse resultado, é decorrente de um processo inicial de degradação e compactação da área devido a utilização do manejo convencional. Após a conversão da pastagem degradada em sistema ILPF não se percebeu uma variação dos valores de microporosidade tão acentuada quanto na avaliação da macroporosidade. O aumento da quantidade de microporos tem relação com as raízes da gramínea forrageira, uma vez que apresentam sistema radicular volumoso, assim como pelo aumento do conteúdo de matéria orgânica que proporcionam arranjo dos agregados do solo, evidenciando os benefícios dos sistemas agrossilvipastoris na estruturação do solo. Portanto, a utilização do ILPF proporciona uma maior estabilidade do solo através da melhoria na quantidade e qualidade dos poros desse solo.

Na camada 0.0-0.1m, a mata nativa apresentou maior porosidade total em relação aos demais manejos (Figura 9).

Figura 10- Estoque de C e C corr em diferentes componentes vegetais pre e pós implantação do ILPF



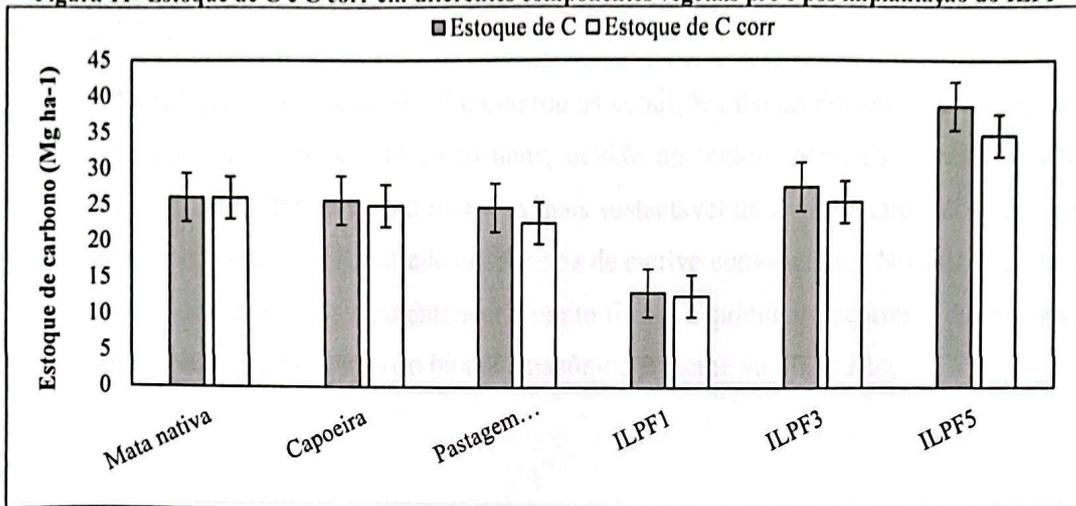
Fonte: BATISTA, 2020

Já nas camadas, 0.1-0.2 m ($7,82 \text{ g/ Kg}^{-1}$) e 0.2-0.3 m ($7,78 \text{ g/ Kg}^{-1}$) foram obtidas maiores concentrações de carbono no ILPF 5. Isso é justificável pela grande quantidade de raízes na pastagem e o não, revolvimento do solo podem ter contribuído para a conservação de conteúdo de carbono no solo. Costa et al. (2009) explicam que solos sob pastagens apresentam estoques de C iguais ou superiores aos encontrados em ambiente de mata nativa devido ao maior aporte de matéria orgânica proporcionado pelas raízes.

Ao verificar os valores de carbono orgânico total em diferentes profundidades nas áreas de estudos, observou-se que a profundidade de 0.0-0.1 m foi aquela que acumulou mais carbono orgânico total, $53,55 \text{ g/ Kg}^{-1}$ (Figura 10). Estudos realizados por Arruda et al. (2015) e Gazolla et al., (2015), relatam que o conteúdo de carbono orgânico do solo é maior próximo da superfície, por causa dos aportes de matéria orgânica ocorridos via cobertura vegetal, demonstrando a importância e forte influência do tipo de manejo na deposição de resíduos vegetais provenientes das culturas agrícolas para o acúmulo de COS (SACRAMENTO et al., 2013).

Observou-se que em relação ao processo de transição, o maior estoque de carbono encontrado foi no sistema ILPF após cinco anos de implantação, atingindo $38,80 \text{ Mg C ha}^{-1}$, o que foi superior às $13,34 \text{ Mg C ha}^{-1}$ no primeiro ano de ILPF e às $27,79 \text{ Mg C ha}^{-1}$ em pastagem degradada (Figura 11).

Figura 11- Estoque de C e C corr em diferentes componentes vegetais pre e pós implantação do ILPF



Fonte: BATISTA, 2020

De acordo com Loss et al. (2014), sistemas de ILPF implantados na Região Amazônica comprovam que a introdução de espécies florestais em consórcio com culturas anuais e forrageiras pode ser boa opção para sequestrar carbono, melhorar a qualidade do solo e contribuir para a mitigação do aquecimento global em médio e longo prazo.

No primeiro ano da implantação do ILPF houve uma perda de carbono do solo, passando de 17,22 g/ Kg⁻¹ (Pastagem degradada) para 9,72 g/ Kg⁻¹ (ILPF1) representando uma queda de 53,54% nos níveis de carbono orgânico do solo, isso é justificado pelo preparo de solo para a implantação do sistema. Contudo, após três anos após a implantação, o solo recuperou o carbono emitido durante a conversão da pastagem degradada em sistema ILPF.

Em relação a captura de carbono orgânico no solo, o uso do sistema nesse período mostrou-se eficiente, pois quando melhorado esses níveis de carbono, temos melhores condições para o desenvolvimento das culturas com a elevação da fertilidade do solo.

6 CONCLUSÃO

A utilização do sistema ILPF melhorou as condições físicas do solo e o aumentou o estoque de carbono ao longo de cinco anos, devido ao maior aporte de raízes e o não-revolvimento do solo. Possibilitando um uso mais sustentável da área e retardando processos de degradação comumente encontrado em sistema de cultivo convencional. No entanto, outros estudos devem ser realizados para entender o efeito físicos e químicos decorrente dos sistemas integrados, a longo prazo, dentro do bioma amazônico presente no Maranhão.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. E. M., UHLMANN, A., CAMPOS, L. & DA COSTA, R. V. 2020. *Expansão agrícola em áreas de difícil manejo: cultivo em solos com cascalhos*. Embrapa Pesca e Agricultura – Artigo Periódico Indexado (ALICE). Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1124588/1/CNPASA-2020-abtnv.pdf>

ALMEIDA, R. G. *Sistemas agrossilvipastoris: benefícios técnicos, econômicos, ambientais e sociais*. In: ENCONTRO SOBRE ZOOTECNIA DE MATO GROSSO DO SUL, 7, 2010, Campo Grande. Anais... Campo Grande: UFMS, 2010. p. 1-10. 1 CD-ROM.

ALVARENGA, R. C.; SILVA, V. P. DA; GONTIJO NETO, M. M; VIANA, M. C. M.; VILELA, L. *A cultura do sorgo em sistemas integrados lavoura-pecuária ou lavoura-pecuária floresta*. Embrapa Milho e Sorgo-Circular Técnica (INFOTECA-E), 2011.

ARAUJO JUNIOR, C. F.; BONETTI, J. *Atributos físicos do solo em Sistemas Integrados de Produção Agropecuária*. ResearchGate, [s. l.], 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/326149106_Atributos_fisicos_do_solo_em_Sistemas_Integrados_de_Producao_Agropecuaria. Acesso em: 5 nov. 2021.

ARAÚJO, A.S.F.; MONTEIRO, R.T.R. (2007). *Indicadores Biológicos de qualidade do solo*. Bioscience Journal, 23(3), p. 66-75.

ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; MENDONÇA, E. S.; SILVA, I. R.; OLIVEIRA, E. K. *Impacto da conversão floresta - pastagem nos estoques e na dinâmica do carbono e substâncias húmicas do solo no bioma Amazônico*. Acta Amaz. [online], v.41, pp.103-114, 2011.

ARAÚJO, E.A. KER, J.C. NEVES, J.C.L. LANI, J.L. *Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação*. Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias, Guarapuava-PR, v.5, n.1,p.187-206, 2012.

BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. O.; STONE, L. F. (Ed.). *Marco referencial: integração lavoura-pecuária-floresta*. Brasília: Embrapa,130p., 2011.

BALBINO, L.C.; CORDEIRO, L.A.M.; PORFÍRIDA-SILVA, V.; et al. *Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil*. Pesqui. Agropecu. Bras., v.46, p.1-12, 2011.

BALBINOT Jr., A. A. et al. *Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas*. Ciência Rural, v. 39, p. 1925-1933, 2009

BARBIERI, R. S.; MONTANARI, R.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; PANOSSO, A. R.; LIMA, C. G. R. *Variabilidade de atributos físicos e químicos para recuperação de um Argissolo Vermelho sob pastagem degradada no Cerrado*. Revista Espacios, v. 38, ed. 32, 2017. Disponível em: <https://www.revistaespacios.com/a17v38n32/a17v38n32p05.pdf>. Acesso em: 1 nov. 2021.

BELONI, T.; PIOTTO, V. C.; MARI, G. C.; PINHEIRO, A. A.; TORMENA, C. A.; CECATO, U. *Root system and resistance to penetration of Mombaça grass fertilized with nitrogen*

and irrigated. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 37, n. 5, p. 3243-3252, 2016.

BERNOUX, M.; ETCHEVERS, J.; CERRI, C.E.P. *Carbon sequestration in soils of Latin America*. New York, Haworth, p.245-266, 2006.

BONO, J.A.M.; MACEDO, M.C.M.; TORMENA, C.A.; NANNI, M.R.; GOMES, E.P.; MÜLLER, M. Infiltração de água no solo em um Latossolo Vermelho da região sudoeste dos cerrados com diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 36, p. 1845-1853, 2012.

BORGHI, E.; GONTIJO NETO, M. M.; RESENDE, R. M. S.; ZIMMER, A. H.; ALMEIDA, R. G. de; MACEDO, M. C. M. *Recuperação de pastagens degradadas*. In: NOBRE, M. M. BORCHI, E.; NETO, M. M. G.; RESENDE, R. M. S.; ZIMMER, A. H.; DE ALMEIDA, R. G. *Embrapa Milho e Sorgo-Capítulo em livro técnico (INFOTECA-E)*, 2018.

BOTTEGA, E. L.; BOTTEGA, S. P.; SILVA, S. A.; QUEIROZ, D. M.; SOUZA, C. M. A.; RAFULL, L. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em um Latossolo Vermelho distroférico. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 6, n. 2, p. 331-336, 2011.

BRADY, N.C.; WEIL, R.R. *Elementos da natureza e propriedades dos solos*. 3 ed. Porto Alegre: Bookman: 2013. 658p.

BRASIL. *Lei 1.806, 06 de janeiro de 1953*. Dispõe sobre o Plano de Valorização Econômica da Amazônia, cria a superintendência da sua execução e dá outras providências. *Lex: Coleção de Leis do Brasil*, Rio de Janeiro, v. 1, p. 1260, 1953.

CAETANO, J.O.; BENITES, de M.V.; SILVA, P. G.; SILVA, R. I.; ASSIS L. R.; CARGNELUTTI, F. *Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazilian Amazon*. *Soil Tillage Research*, v.103, p.342-349, 2009.

CARNEIRO, M. A. C. et al. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 147-157, 2009.

CARVALHO, J. S.; KUNDE, R. J.; STOCKER, C. M.; LIMA, A. C. R.; SILVA, J. L. S. CARVALHO, J.L.N.; AVANZI, J.C.; SILVA, M.L.N.; MELLO, C.R.; CERRI, C.E.P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, p. 277-289, 2010.

CARVALHO, J.L.N.; CERRI, C.E.P.; FEIGL, B.J.; PICOLLO, M.C.; GODINHO, V.P.; CERRI, C.C. *Sequestro de carbono em solos agrícolas na região do Cerrado da Amazônia brasileira*. *Pesquisa de Solo e Cultivo*, v. 103, n. 2, pág. 342-349, 2009.

CARVALHO, R. P. De; DANIEL, O.; VIDE, A. C. Da; SOUZA, F. R. De. Atributos físicos. CASTRO FILHO, C.; LOURENÇO, A.; GUIMARÃES, M.D.F.; FONSECA, I.C.B. *Aggregate stability under different soil management systems in a Red Latosol in the state of Paraná, Brazil*. *Soil Tillage. Res.*, v.65, p.45-51, 2002.

CASTRO, M.C.; CUNHA, F.F.; LIMA, S.F.; PAIVA NETO, V.B.; LEITE, A.P. *Atributos físico-hídricos do solo ocupado com pastagem degradada e floresta nativa no Cerrado Sul-Mato*. *Grossense. Brazilian Geographical Journal*, Pontal, v. 3, n. 2, p. 498-512, 2012.

CAVALETT, Otávio; DE QUEIROZ, Júlio Ferraz; ORTEGA, Enrique. *Emergy assessment of integrated production systems of grains, pig and fish in small farms in the South Brazil*. *Ecological Modelling*, v. 193, n. 3-4, p. 205-224, 2006.

CERRI, C.E.P.; CERRI, C.C.; BERNOUX, M.; VOLKOFF, B.; RONDÓN, M.A. *Potential of soil carbon sequestration in the Amazonian Tropical Rainforest*. In: LAL, R.; CERRI, C.C.; CERRI, C.E.P.; EASTER, M.; PAUSTIAN, K.; KILLIAN, K.; COLEMAN, K.; BERNOUX, M.

CONCEIÇÃO, M. C. G. DA; MATOS, E. DA S.; BIDONE, E. D.; RODRIGUES, R. DE A. R.; CORDEIRO, R. C. *Changes in Soil Carbon Stocks under Integrated Crop-Livestock-Forest System in the Brazilian Amazon Region*. *Agricultural Sciences*, 8, 904-913, 2017. DOI: <https://doi.org/10.4236/as.2017.89066>.

CORDEIRO, L. A. M.; MARCHÃO, L. VILELA, R. L.; KLUTHCOUSKI, J.; JÚNIOR, G. B. M. *Frações e estoque integrados da matéria orgânica do solo em sistemas de produção agropecuária no sul de Mato Grosso*. 2018.

CORREA, R. G. F. *SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA*. In: CORREA, R. G. F. *GESTÃO INTEGRADA DE RISCOS NO AGRONEGÓCIO: UM MODELO PARA SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA*. 2019. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, [S. l.], 2019.

COSTA, F.P. et al. *Custo-benefício dos sistemas de produção em integração*. In BUNGENSTAB, D.J. *Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta: a produção sustentável*. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2011. p.81-89.

COSTA, O. V.; CANTARUTTI, R. B.; FONTES, L. E. F.; COSTA, L. M.; NACIF, P. G. S.; FARIA, J. *Estoque de carbono do solo sob pastagem em área de tabuleiro costeiro no sul da Bahia*. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, p. 1137-1145, 2009.

COUTO, W.H.; ANJOS, L.H.C.; WADT, P.G.S.; PEREIRA, M.G. *Atributos edáficos e resistência de penetração em áreas de sistemas agroflorestais no Sudoeste amazônico*. *Ciência Florestal*, v.26, n.3, p.811-823, 2016. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509824210>.

CUBILLA, M.A.; REINERT, D.J.; AITA, C; JOSÉ MIGUEL REICHERT, J.M. & RANNO, S. K. *Plantas de cobertura do solo em sistema plantio direto: uma alternativa para aliviar a compactação*. XIV Reunião Brasileira de Manejo e conservação do solo e da água. Cuiabá, Mt, 21 a 26 de julho de 2002.

CUNHA, T. J. F.; MADARI, B. E.; CANELAS, L. P.; RIBEIRO, L. P.; BENITES, V. M.; SANTOS, G. A. *Soil organic matter and fertility of anthropogenic dark earths (Terra Preta de Índio) in the Brazilian Amazon basin*. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, p.85-93. 2009.

DAVIDSON, E. A.; SA, T. D. A.; CARVALHO, C. J. R.; FIGUEIREDO, R. O.; KATO, M. S. A.; *Alternativas à agricultura de corte e queima em processos de transição agroecológica: um desafio para a agricultura amazônica*. In: V Congresso Latinoamericano de Agroecología-

SOCLA (7 al 9 de outubro de 2015, La Plata). 2015

DE CARVALHO, RAFAEL PELLOSO ET AL. Químicos De Um Neossolo Quartzarênico Sob Diferentes Sistemas De Uso E Manejo. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 28, n. 1, p. 148 – 159, 2015.

DIAS-FILHO, M. B. *Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação*. 4. ed. Belém, PA, 2011

DIAS-FILHO, M. B. *Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação*. 4. ed. Belém-PA: Edição do autor, 2011. 190 p.

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

DIAS-FILHO, M.B.; ANDRADE, C.M.S.. *Pastagens no trópico úmido*. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental. 30p., 2006. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 241).

DIEL, D.; BEHLING, M.; FARIAS NETO, A. L.; ISERNHAGEN, E. C. C. *Distribuição horizontal e vertical de fósforo em sistemas de cultivos exclusivos de soja e de integração lavoura-pecuária-floresta*.

DOS SANTOS, Humberto Gonçalves et al. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília, DF: Embrapa, 2018., 2018.

EMBRAPA. *Integração Lavoura Pecuária Floresta – ILPF*. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-integracao-lavoura-pecuaria-floresta-ilpf> Acesso em: 4 jul. 2016.

FALEIRO, F. G.; FARIAS, A. L. N. *Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais*. Cap. 14, Embrapa Cerrado, Planaltina – DF, 2008. FAO. An international consultation on integrated crop-livestock systems for development The Way Forward for Sustainable Production. *Integrated Crop Management*, v. 13, p. 64, 2010.

FAO. *Sítio Agricultura de Conservação*. Disponível em: <http://www.fao.org/ag/ca/es/>. Acesso: 20 de janeiro de 2020.

FERREIRA, A. O.; AMADO, T. J. C.; RICE, C. W.; RUIZ DIAZ, D. A.; BRIEDIS, C.; INAGAKI, T. M.; GONÇALVES, D. R. P. Driving factors of soil carbon accumulation in Oxisols in long-term no-till systems of South Brazil. *Science of the Total Environment*, Amsterdam, v. 622-623, p. 735-742, 2018.

FERREIRA, C. J. B.; TORMENA, C. A.; CECATO, U.; FRANCO, H. H. S.; MOREIRA, W. H.; GALBEIRO, S.; RIBEIRO, O. L. *Soil physical properties under a ‘Tanzânia’ grass pasture fertilized with mineral nitrogen or intercropped with stylosanthes*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 53, n. 4, p. 478-486, 2018. DOI: 10.1590/s0100-204x2018000400009.

FERREIRA, S. A. **Avaliação visual da estrutura e macrofauna edáfica em sistemas de uso do solo nosubtrópico brasileiro.** Curitiba, PR, Universidade Federal de Curitiba, 2015, 42 p. (Dissertação de mestrado).

FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A.; ALVES, S. J. Intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distrófico, após o primeiro período de pastejo contínuo de *Brachiaria ruziziensis*, em sistema integração lavoura-pecuária. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 37, n. 3, p. 775-783, 2013. DOI: 10.1590/S0100-06832013000300024.

FIGUEIREDO, R. S.; FERNANDES, K. C. C.; MUNIZ, L. C.; CUNHA, C. A.; OLIVEIRA NETO, O. J. **Otimização da relação retorno/risco em projetos de integração lavoura-pecuária.** 2014.

FILHO, B. S. **Desmatamento na Amazônia: indo além da emergência crônica.** Manaus, Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (Ipam), 89 p., 2004.

FLORES, J. P. C., ANGHINONI, I., CASSOL, L. C., CARVALHO, P. C. DE F., LEITE, J. G. D. B., E FRAGA, T. I. (2007). Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31(4), 771-780. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000400017>.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **An international consultation on integrated crop-livestock systems for development - The Way Forward for Sustainable Production Integrated Crop Management.** [s.l.: s.n.].

FRANZLUEBBERS, A. J. **Integrated crop–livestock systems in the southeastern USA.** *Agronomy Journal*, v. 99, n. 2, p. 361-372, 2007.

FREIRE, F.M.; COELHO, A.M.; BARROS, N.F.; BARROS FILHO, N.F. & NEVES, J.C.L. **Manejo da fertilidade do solo no Sistema de Integração lavoura-pecuária-floresta.** *Infor. Agrop.*, 31:25-36, 2012.

FREITAS, F.C.L.; FERREIRA, L.R.; MACHADO, A.F.L. & NASCIMENTO, P.G.M.L. **Culturas agrícolas em sistemas agrossilvipastoril.** In: *Sistema Agrossilvipastoril: OLIVEIRA NETO, S.N.; VALE, A.B.; NACIF, A.P.; VILAR, M.B.; ASSIS, J.B.*

FREITAS, G.A.; BENDITO, B.P.C.; SANTOS, A.C.M.; SOUSA, P.A. **Diagnóstico ambiental de áreas de pastagens degradadas no município de Gurupi – TO.** *Biota Amazônia*, Macapá, v.6, n.1, p.10-15, 2016. <https://doi.org/10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v6n1p10-15>.

FURQUIM, L. C.; SOUZA, E. J.; SILVA, N. F.; NUÑEZ, D. N. C.; CABRAL, J. S. R.; SANTINI, J. M. K.; LEÃO, B. C. S.; STONE, L. F. **Infiltração de água e resistência do solo à penetração em sistemas de cultivos integrados e em área de pastagem degradada.** *Colloquium Agrariae*, v. 16, ed. 5, p. 82 - 95, 2020. DOI 10.5747/ca.2020.v16.n5.a397. Disponível em: <http://journal.unoeste.br/index.php/ca/index>. Acesso em: 29 out. 2021.

FURQUIM, L.C.; NUÑEZ, D. N.C.; SANTINI, J.M.K.; CABRAL, J.S.R.; SOUZA, E.J.; TEIXEIRA, A.H.C.; BAYMA-SILVA, G.; NASCIMENTO, P. E. R.; STONE, L.F.; SOUCHIE, E.L.; BOLDRIN, M.C.F. **Qualidade física, química e biológica do solo e sensoriamento remoto na recuperação de pastagens degradadas através de sistemas integrados.** *Científica-Multidisciplinary Journal*, v.5, n.3, p.145-160, 2018. <https://doi.org/10.29247/2358-260X.2018v5i3.p145-160>.

GEIST, H. J.; LAMBIN, E. F. **Proximate Causes and Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation.** *BioScience*, v. 52, p. 143-150, 2002.

GOLCHIN, A.; OADES, J.M.; SKJEMSTAD, J.O.; CLARKE, P. **Study of free and occluded particulate organic matter in soils by solid state ¹³C CP/MAS NMR spectroscopy and scanning electron microscopy.** *Australian Journal of Soil Research*, v.32, p.285-309, 1994.

GOMES, R.P; CAMPOS, M.C.C; SOARES, M.D.R; SILVA, D.M.P; CUNHA, J.M; FRANCISON, U; SILVA, L.S; OLIVEIRA, I.A; BRITO, W.B.M. **Spatial variability of aggregates and organic carbon under three different uses of indian black earth in Southern Amazonas.** *Bioscience Journal*, v. 33, n. 6, p. 1513-1522, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.14393/BJ-v33n6a2017-37142>

HAVLICEK, E. **Soil biodiversity and bioindication: From complex thinking to simple acting.** *European Journal of Soil Biology*, v.49, p.80-84, 2012.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **PPM 2020: rebanho bovino cresce 1,5% e chega a 218,2 milhões de cabeças.** [S. l.], 2021. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/31722-ppm-2020-rebanho-bovino-cresce-1-5-e-chega-a-218-2-milhoes-de-cabecas>. Acesso em: 6 nov. 2021.

INPE. PRODES. **Taxas anuais do desmatamento - 1988 até 2019.** Disponível em: http://www.obt.inpe.br/prodes/taxas_prodes.htm Acesso em: 08 de janeiro de 2020.

INPE; EMBRAPA. **Projeto Terra Class: levantamento de informações de uso e cobertura da terra na Amazônia Legal brasileira – 2004-2014.** São José dos Campos, 2016. Disponível em: http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/terraclass2014.php Acesso em: 25 de janeiro de 2020.

INTEGRAÇÃO LAVOURA PECUÁRIA E FLORESTA. 1.ed. Viçosa, Sociedade de Investigações Florestais, 2010. p.69-103.

INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA E INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA: **Estratégias Para Intensificação Sustentável do Uso do Solo.** *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, Brasília, v. 32, n. 1/2, p. 15-43, jan./ago. 2015.

IWATA, B. F.; LEITE, L. F. C.; ARAÚJO, A. S. F.; NUNES, A. P. L.; GEHRING, C.; CAMPOS, L. P. **Sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, p. 730-738, 2012.

JAIN, M. S. & KALAMDHAH, A. S. (2020). **Soil Revitalization via waste utilization: Compost effects on soil organic properties, nutritional, sorption and physical properties.** *Environmental Technology & Innovation*, 18, 100668. <https://doi.org/10.1016/j.eti/2020.100668>.

KATO, O. R.; ISHIDA, F. Y. An integrated greenhouse gas assessment of an alternative to slash-and-burn agriculture in eastern Amazônia. *Global Change Biology*, v. 14, p. 998-1007, 2008.

KICHEL, A.N.; COSTA, J.A.A.; ALMEIDA, R.G.; PAULINO, V.T. **Sistema de integração lavourapecuária-floresta (ILPF) - experiências no Brasil.** *Bol. Ind. Anim.*, v.71, p.94-105, 2014.

KLEIN, Evandro Luiz; SOUSA, Cristiane Silva de. **Geologia e recursos minerais do estado do Maranhão.** CPRM, 2012.

KLEIN, V. A.; VIEIRA, M. L.; DURIGON, F. F.; MASSING, J. P.; FÁVERO, F. Porosidade de aeração de um Latossolo Vermelho e rendimento de trigo em plantio direto escarificado. *Ciência Rural*, v.14, n.1, p. 365-371, 2015.

KLUTHCOUSKI, J.; COBUCCI, T.; AIDAR, H.; YOKOYAMA, L. P.; OLIVEIRA, I. P.; COSTA, J. L.S.; SILVA, J. G.; VILELA, L.; BACELLOS, A. O.; MAGNABOSCO, C. U. **Sistema Santa Fé –**

KLUTHCOUSKI, J.; PACHECO, A. R.; TEIXEIRA, S. M.; OLIVEIRA, E. T. **Renovação de pastagens de Cerrado com Arroz. I. Sistema Barreirão.** Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1991. 20 p. (EMBRAPA-CNPAP. Documentos, 33).

LAL, R. Carbon sequestration. *Philosophical Transactions of the Royal Society: Biological Sciences*, London, v. 363, n. 2, p.815-830, 2008.

LAPIG. **ATLAS das Pastagens.** [S. l.], 2020. Disponível em: <https://atlasdaspastagens.ufg.br/>. Acesso em: 6 nov. 2021.

LEMAIRE, G.; FRANZLUEBBERS, A. J.; CARVALHO, P. C. F.; DEDIEU, B. **Integrated crop–livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality.** *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 190, p. 4-8, 2014.

LETEY, J. **Relationship between soil physical properties and crop production.** *Advanced Soil Science.*, 1:277-294, 1985.

M. L. Infiltração de água no solo em um latossolo vermelho da região sudoeste dos Cerrados com diferentes sistemas de uso e manejo. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, v.36, p.1845-1853, 2012.

MACEDO, M. C. M.; ARAUJO, A. R. de. Sistemas de produção em integração: alternativa para recuperação de pastagens degradadas. *In: BUNGENSTAB, D. J.; ALMEIDA, R. G. de; LAURA, V. A.; BALBINO, L. C.; FERREIRA, A. D. (Ed.). ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta.* Brasília, DF: EMBRAPA, 2019. p. 295-317. Disponível em:

<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1112923>. Acesso em: 29 out. 2021.

MACEDO, M. C. M. **Recuperação de pastagens degradadas**. Embrapa Milho e Sorgo-Capítulo em livro técnico, 2018.

MORAES, A.; CARVALHO, P.C.F.; ANGHINONI, I.; LUSTOSA, S.B.C. et al. **Integrated crop-livestock systems in the Brazilian subtropics**. *Eur. J. Agron.*, v.57, p.4-9, 2014.

MOREIRA, W. H.; BETIOLI JUNIOR, E.; PETEAN, L. P.; TORMENA, C. A.; ALVES, S. J.; COSTA, M. A. T.; FRANCO, H. H. S. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico em sistema de integração lavoura pecuária. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 36, n. 2, p. 389-400, 2012. DOI: 10.1590/S0100-06832012000200008.

MOTA, J. C. A.; FREIRE, A. G.; ALVES, C. V. O.; ALENCAR, T. L. Impactos de uso e manejo do solo na variabilidade e qualidade de atributos físicos de Cambissolos. *Revista Agro@ambiente On-line*, [s. l.], 2017. DOI 10.18227/1982-8470ragro.v11i4.4040. Disponível em: <http://www.agroambiente.ufr.br/>. Acesso em: 5 nov. 2021.

OLIVEIRA, A.N.; OLIVEIRA, A.N.; SILVA, K.R.; SILVA, L.J.A.; MELLO, A.H. atributos químicos de solo sob diferentes sistemas de uso e manejo no projeto de assentamento veneza - São Domingos do Araguaia, PA. *Revista Agroecossistemas*. v.9, n.1, p.170 – 179, 2017.

OTIMIZAÇÃO DA RELAÇÃO RETORNO/RISCO EM PROJETOS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA. *Custos e agronegócio online*, v. 10, n. 2, Abr/Jun. 2014.

OLIVEIRA, I. R. de. (Ed.). **Agricultura de baixo carbono: tecnologias e estratégias de implantação**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2018. cap. 4, p. 105 - 138. ISBN 978-85-7035-855-4. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes?p_auth=5ZeqRt1m&p_p_id=buscapublicacao_WAR_pcebusca6_1portlet&p_p_lifecycle=1&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column1&p_p_col_count=3&_buscapublicacao_WAR_pcebusca6_1portlet_javax.portlet.action=buscarPublicacoes&_buscapublicacao_WAR_pcebusca6_1portlet_delta=10. Acesso em: 29 out. 2021.

PETEAN, L. P.; TORMENA, C. A.; ALVES, S. J. Intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto em sistema de integração lavoura-pecuária. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, n. 5, p. 1515- 1526, 2010. DOI: 10.1590/S0100-06832010000500004.

PINTO, F. A.; SANTOS, F. L.; TERRA, F. D.; RIBEIRO, D. O.; SOUSA, R. R. J.; SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B. Atributos de solo sob pastejo rotacionado em função da aplicação de cama de peru. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia-G, v. 42, n. 3, p. 254-262, 2012.

POWLSON, D.S.; BATJES, N.H.; MILNE, E.; CERRI, C.C. Predicted soil organic carbon stocks and changes in the Brazilian Amazon between 2000 and 2030. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 122:58-72, 2007.

R.; VILELA, L. Agricultura sustentável por meio da Integração Lavoura-pecuária-floresta (ILPF). *Informações Agronômicas*, n. 138, p. 1-14, 2012.

ROSA, D.M.; NOBREGA, L.H.P.; MAULI, M.M.; LIMA, G.P.; PACHECO, F.P. Substâncias húmicas do solo cultivado com plantas de cobertura em rotação com milho e soja. *Revista Ciência Agronômica*. v.48, n.2, p.221-230, abr-jun, 2017.

RYSCHAWY, J. et al. Mixed crop-livestock systems: an economic and environmental-friendly way of farming? *Animal : an international journal of animal bioscience*, v. 6, n. 10, p. 1722-30, 2012a.

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, out. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000031>

SILVA, A.; SANTOS, F. L. S.; BARRETTO, V. C. M.; FREITAS, R. J.; KLUTHCOUSKI, J. Recuperação de pastagem degradada pelo consórcio de milho, *Urochloa brizantha* cv. marandu e guandu. *Revista de Agricultura Neotropical*, Cassilândia-MS, v. 5, n. 2, p. 39-47, abr./jun. 2018. ISSN 2358-6303.

SILVA, Juslei Figueiredo da. Física do solo e matéria orgânica em sistema de produção agrícola de cerrado. 2020. 105 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2020.

SILVA, N.F.; CUNHA, F.N.; OLIVEIRA, R.C.; CABRAL FILHO, F.R.; TEIXEIRA, M.B.; CARVALHO, J.J. Características físico-hídricas de um Latossolo sobre diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.8, n 5, p.375- 390, 2014. <https://doi.org/10.7127/rbai.v11n600642>.

SILVA, W.M.; BIANCHINI, A.; CUNHA, C. A. Modelagem e correção da resistência à penetração do solo para variações na umidade e densidade do solo. *Eng. Agríc.* v.36, n.3, p. 449-459, 2016. [https://doi.org/10.1590/1809-4430- Eng.Agric.v36n3p449-459/2016](https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n3p449-459/2016)
Sistema Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: Condicionamento do solo e intensificação da produção de lavouras. *Informe Agropecuário*, v.31, p.59-67, 2010.

SOLOS, Embrapa. Sistema brasileiro de classificação de solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos:Rio de Janeiro, 2013.

SOUZA, E. D.; SILVA, F. D.; PACHECO, L. P.; LAROCA, J. S. V.; SOUZA, J. M. A.; BONETTI, J. A. Matéria orgânica do solo em sistemas integrados de produção agropecuária no Brasil. In: SOUZA E. D.; SILVA F. D; ASSMANN T. S.; CARNEIRO M. C. C.; CARVALHO, P. C. F.; PAULINO, H. P. Sistemas Integrados de Produção Agropecuária no Brasil. 1 ed. Copiart, p. 107-122, 2018.

SULC, R. M.; TRACY, B. F. Integrated crop–livestock systems in the US Corn Belt. *Agronomy Journal*, v. 99, n. 2, p. 335-345, 2007.

SZNITOWSKI, A. M.; GASPARINI, L. V. L.; LEITNER, C. P. S.; BAGGENSTOSS, S.; LIMA, A. M. Sistemas integrados de produção agrícola: uma alternativa sustentável aos sistemas de produção especializados. *Brazilian Journal of Development*, [s. l.], v. 5, ed. 7, p. 9047-9051, 2019. DOI <https://doi.org/10.34117/bjdv5n7-106>. Disponível em: <https://brazilianjournals.com/ojs/index.php/BRJD/article/view/2335#:~:text=Maria%20de%2>

0Lima,Abstract,como%20alternativa%20sustent%3%A1vel%20de%20produ%3%A7%C3%A3o. Acesso em: 1 nov. 2021.

TOGNON, A. A. **Propriedades físico-hídricas do Latossolo Roxo da região de Guairá-SP sob diferentes sistemas de cultivo** 1991. 85 f. Dissertação (Mestrado) Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1991

VEIGA, M.; BALBINOT JÚNIOR, A. A.; OLIVEIRA, D. A. Soil physical attributes in forms of sowing the annual winter pasture and intervals between grazing. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 5, p. 896-905, 2014. Número especial. DOI: 10.1590/S1806-66902014000500005.

VICTORIA, R.L.; RICHEY, J.E., eds. **The biogeochemistry of the Amazon Basin**. New York, Oxford University Press, 2001. p.84-105.

WINK, C.; LANGE, A.; ARAÚJO, K. Z.; SILVEIRA, A. P.; BEHLING, M.; & Wruck, F. J. **Biomassa e nutrientes de eucalipto cultivado em sistema agrossilvipastoril**. *Nativa*, v. 6, p. 754-762, 2018