

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
CÂMPUS DRACENA**

GABRIELA LOZANO OLIVÉRIO

**QUALIDADE DA ESTRUTURA DE UM LATOSSOLO VERMELHO EM
SISTEMA INTEGRAÇÃO LAVOURA PECUÁRIA FLORESTA**

Dracena

2019

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

GABRIELA LOZANO OLIVÉRIO

**QUALIDADE DA ESTRUTURA DE UM LATOSSOLO VERMELHO EM
SISTEMA INTEGRAÇÃO LAVOURA PECUÁRIA FLORESTA**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia – FEIS – UNESP – Câmpus de Ilha Solteira, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Especialidade: Sistemas de Produção

Prof. Dra. Carolina dos Santos Batista Bonini

Orientadora

Dracena

2019

FICHA CATALOGRÁFICA

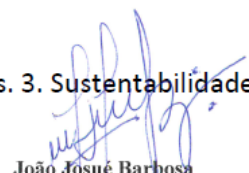
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

O48q Olivério, Gabriela Lozano.
Qualidade da estrutura de um latossolo vermelho em sistema integração
lavoura pecuária floresta / Gabriela Lozano Olivério. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2019
59 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de
Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Ciência do Solo, 2019

Orientador: Carolina dos Santos Batista Bonini
Inclui bibliografia

1. Atributos físicos do solo. 2. Integração de sistemas. 3. Sustentabilidade
agrícola.



João Josué Barbosa
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação
Diretor Técnico
CRB 8-5642

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Qualidade da estrutura de um latossolo vermelho em sistema integração
lavoura pecuária floresta

AUTORA: GABRIELA LOZANO OLIVÉRIO

ORIENTADORA: CAROLINA DOS SANTOS BATISTA BONINI

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


Profa. Dra. CAROLINA DOS SANTOS BATISTA BONINI
Curso de Engenharia Agrônoma / Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas de Dracena - UNESP


Prof. Dr. VITOR CORREA DE MATTOS BARRETO
Departamento de Agronomia / Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas de Dracena - UNESP


Prof. Dr. CARLOS ALESSANDRO CHIODEROLI
Departamento de Agronomia / Universidade Federal do Triângulo Mineiro - UFTM

Ilha Solteira, 20 de dezembro de 2019

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por sua infinita bondade. Por ter me proporcionado essa experiência maravilhosa do mestrado e por ter me dado saúde e proteção, assim como faz em todos os dias da minha vida.

Graças a Deus também tenho uma família maravilhosa, a qual eu agradeço imensamente por todo apoio, confiança e ajuda durante todo esse tempo em que morei, pela primeira vez, fora de casa. Sem o apoio da minha família, meu pai Jundival, minha mãe Marilza, meus irmãos Thaís e Pedro Henrique e ao meu cunhado, Diogo, eu não teria conseguido encarar tão bem essa nova fase. Muito obrigada por me incentivarem e por cuidarem de mim.

Ao meu namorado Marcelo, que sempre me apoia, confia e está ao meu lado. Por ter me dado forças e sido meu companheiro e incentivador. Muito obrigada, meu amor.

A todas as pessoas maravilhosas que eu tive oportunidade de conhecer em Dracena, em especial a todos os participantes do GOU e GPP de Ilha, aos colegas do GENAP, em especial o grupo da física do solo, e minha querida amiga que tive oportunidade de dividir um lar durante esse período, e, além disso, também dividimos experiências, sorrisos e algumas lágrimas, obrigada Luziane. Sou muito feliz por ter encontrado pessoas tão especiais em meu caminho.

Agradeço imensamente a minha orientadora Carolina Bonini. Tive uma grande sorte em ter sido sua orientada. Desde o primeiro e-mail, me ajudou e se mostrou ser uma pessoa muito atenciosa, que ensina, incentiva, tem paciência e trata extremamente bem os seus orientados, agradeço por toda confiança depositada em mim. Tive a honra de ser sua orientada de mestrado, e aprender muito com você, Carolina. Com o passar do tempo se tornou, além de orientadora, uma grande amiga que, sem dúvida, fez parte da minha história. De todo meu coração, muitíssimo obrigada.

A todos os professores da UNESP de Dracena, por todo acolhimento e conhecimento, com os quais de alguma forma eu tive a oportunidade de conviver e aprender.

Aos técnicos de laboratório e técnicos administrativos, sempre dispostos ao auxílio para que o trabalho/pesquisa se desenvolva da melhor forma possível.

À professora Cristina Andrighetto e ao pesquisador Gustavo Pavan Mateus, que contribuíram muito com seus conhecimentos na minha qualificação. Todas as informações foram de grande valia para o resultado final dessa dissertação.

Aos professores Carlos Alessandro Chioderolli e Vitor Corrêa de Matos Barreto, por terem aceitado esse convite de participar da minha banca de defesa do mestrado, e contribuir grandemente com essa pesquisa. Desde já, muito obrigada.

O Presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Por fim, agradeço à Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas da Unesp, campus Dracena, por ter sido o local que permitiu a execução do meu experimento e a todos os professores, funcionários e colegas que de alguma maneira contribuíram com essa pesquisa. Muito obrigada.

Isto é uma ordem: sê firme e corajoso. Não te atemorizes, não tenhais medo, porque o Senhor está contigo em qualquer parte por onde fores.

Js 1:9

Se não puder voar, corra. Se não puder correr, ande. Se não puder andar, rasteje, mas continue em frente de qualquer jeito.

Martin Luther King, Jr.

RESUMO

Sistemas de conservação do solo são capazes de alcançar a sustentabilidade agrícola, juntamente com a integração e diversificação de atividades de manejo. São meios que exploram o sinergismo do sistema, resultado da interação solo-planta-atmosfera. Este trabalho teve como objetivo avaliar de maneira temporal os atributos físicos do solo, sob sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, com o intuito de verificar possíveis contribuições na qualidade do solo e na sustentabilidade do sistema. O experimento foi desenvolvido na área experimental da Agência Paulista dos Agronegócios – Polo/Andradina – São Paulo - Brasil. O solo em estudo é um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico. O delineamento em blocos casualizados se distribuiu em 4 respectivos tratamentos: T1 – integração lavoura-pecuária, sem o componente arbóreo; T2 – sistema agrossilvipastoril, com sombreamento de 1 linha de eucalipto e densidade de 196 árvores/ha; T3 - sistema agrossilvipastoril, com sombreamento de 3 linhas de eucalipto e densidade de 448 árvores/ha; T4 - plantio exclusivo de eucalipto, as amostras foram coletadas ao longo dos anos de 2014 a 2018, nas camadas de 0-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20m, para as avaliações de infiltração de água no solo, resistência à penetração, teor de umidade do solo, densidade do solo, estabilidade de agregado e porosidade do solo. Os resultados revelaram que os sistemas que utilizam integração melhoram e/ou mantêm a qualidade do solo, sem compactar ou influenciar negativamente a infiltração de água, com modificações em suas densidade e porosidade totais, evidenciando destaque aos tratamentos ILP, ILPF1L e ILPF3L ao longo do tempo e proporcionando sua sustentabilidade.

Palavras-Chave: Atributos físicos do solo. Integração de sistemas. Sustentabilidade agrícola.

ABSTRACT

Soil conservation systems are capable of achieving agricultural sustainability together with the integration and diversification of management activities. And are means that exploit the synergism of the system as a result of soil-plant-atmosphere interaction. The objective of this work was to evaluate in a temporal manner the physical attributes of the soil, under a crop-livestock-forrest integration system, in order to verify possible contributions to soil quality and system sustainability itself. The experiment was developed in the experimental area of the Paulista Agrobusiness Agency - Polo/Andradina – São Paulo Brasil. The soil under study is a dystrophic Ultisol. The randomized block design was distributed in 4 respective treatments: T1 - crop-livestock integration, without the tree component; T2 - agrosilvipastoral system, with 1 eucalyptus line of shading and density of 196 trees/ha; T3 - agrosilvipastoral system, with 3 eucalyptus lines of shading and density of 448 trees ha; T4 - exclusive culture of eucalyptus; the samples were collected from 2014 to 2018, in the 0 -0.05 layers; 0.05-0.10 and 0.10-0.20m for the evaluation of soil water infiltration, penetration resistance, soil humidity content, soil density, aggregate stability and soil porosity. The results revealed that systems using integration improve and / or maintain soil quality without compacting or negatively influencing its water infiltration, with changes in its density and total porosity, highlighting the ILP, ILPF1L and ILPF3L treatments over time, providing soil sustainability.

Keywords: Soil physical attributes. Systems integration. Agricultural sustainability.

LISTA DE ABREVIATURAS

SIPAs	Sistemas integrados de produção agropecuária
Aw	Tropical quente e úmido com inverno seco
P	Fósforo
MO	Matéria orgânica
pH	Potencial hidrogeniônico
K	Potássio
Ca	Cálcio
Mg	Magnésio
H+Al	Hidrogênio + Alumínio
SB	Soma de bases
CTC	Capacidade de troca catiônica
ILP	Integração lavoura-pecuária sem componente arbóreo
ILPF1L	Sistema agrossilvipastorial com sombreamento de 1 linha de eucalipto
ILPF3L	Sistema agrossilvipastorial com sombreamento de 3 linhas de eucalipto
EUC	Plantio exclusivo de eucalipto
Infil	Infiltração de água no solo
Rp	Resistência à penetração
Ug	Teor de água no solo
Ds	Densidade do solo
Dmp	Diâmetro médio ponderado
Ma	Macroporosidade
Mi	Microporosidade
Pt	Porosidade Total

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação gráfica do potencial de utilização de sistemas integrados de produção comparados com sistemas convencionais.	16
---	----

ARTIGO I

Figura 2. Precipitação e temperatura máximas e mínimas da área experimental no período do estudo – 2014 a 2018. Andradina – SP.	27
Figura 3. Histórico da área experimental.	30
Figura 4. Infiltração de água no solo (mm h^{-1}) nos anos avaliados. Andradina – SP- Brasil. 2014-18.	33
Figura 5. Resistência a penetração do solo (Mpa) nos anos avaliados. Andradina – SP- Brasil. 2014-18.	34
Figura 6. Teor de água do solo nos anos avaliados (g g^{-1}). Andradina – SP- Brasil. 2014-18.	36

ARTIGO II

Figura 7. Precipitação e temperatura máximas e mínimas da área experimental no período do estudo – 2016 a 2018. Andradina – SP.	41
Figura 8 - Densidade do solo, Andradina – SP. Brasil. 2016-2018.	47
Figura 9 - Estabilidade de agregado do solo, Andradina – SP. Brasil. 2016-2018.	48
Figura 10 - Estabilidade de agregado do solo, Andradina – SP. Brasil. 2016-2018.	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Breve histórico de pesquisas desenvolvidas com abordagem em sistemas conservacionistas e integrados de produção.....	19
Tabela 2 - Breve histórico de pesquisas desenvolvidas com na qualidade física e química do solo em sistemas conservacionistas e integrados de produção.....	20

ARTIGO I

Tabela 3 - Caracterização inicial da área experimental, APTA 2012.....	28
Tabela 4 - Análise de variância das propriedades e camadas do solo estudadas. Andradina – SP. Brasil. 2014-2018.....	32
Tabela 5 - Valores médios de resistência a penetração do solo, nos tratamentos e camadas estudadas. Andradina – SP. Brasil. 2014-2018.	35

ARTIGO II

Tabela 6 - Análise de variância da densidade e estabilidade de agregado do solo nas camadas estudadas. Andradina – SP. Brasil. 2016-2018.	46
Tabela 7 - Análise de variância de macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo nas camadas estudadas. Andradina – SP. Brasil. 2016-2018.....	46
Tabela 8 - Macroporosidade e microporosidade do solo estudado. Andradina – SP. Brasil. 2016-2018.....	49

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
21. Sistemas integrados como estratégias de intensificação sustentável de uso do solo	16
22. Componentes físicos de avaliação da qualidade do solo	19
3. OBJETIVOS	23
31. Geral	23
3.2. Específicos	23
4. INTRODUÇÃO	24
5. MATERIAL E MÉTODOS	26
51. Caracterização e histórico da área experimental	26
5.1.1. Componente arbóreo	28
5.1.2. Produção da cultura da soja	28
5.1.3. Produção da cultura do milho e pastagem	28
5.1.4. Manejo da pastagem e bovinocultura	29
52. Delineamento experimental e tratamentos	31
53. Avaliação e preparo das amostras do solo	31
6. RESULTADOS	31
61. Infiltração de água no solo	32
62. Resistência à penetração	33
63. Teor de água no solo	35
7. DISCUSSÃO	36
8. CONCLUSÃO	38
9. INTRODUÇÃO	39
10. MATERIAL E MÉTODOS	40
101. Caracterização e histórico da área experimental	40
10.1.1. Componente arbóreo	42
10.1.2. Produção da cultura da soja	42
10.1.3. Produção da cultura do milho e pastagem	42
10.1.4. Manejo da pastagem e bovinocultura	43
102. Delineamento experimental e tratamentos	45

103	Avaliação e preparo das amostras do solo.....	45
11.	RESULTADOS.....	45
111	Densidade do solo	47
112	Estabilidade de agregado	47
113	Porosidade do solo	48
12.	DISCUSSÃO.....	50
13.	CONCLUSÃO	51
14.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
15.	REFERÊNCIAS	53

1. INTRODUÇÃO

O monocultivo e as práticas inadequadas de produção agrícola proporcionam a perda de produtividade, degradação do solo e de recursos naturais. A reversibilidade deste cenário se faz necessária com a intervenção de tecnologias como o sistema de plantio direto, que contempla não somente o preparo mínimo do solo, mas também a prática de rotação de culturas e os sistemas de integração lavoura-pecuária, visando a preservação ou melhoria da qualidade do solo.

Sistemas de conservação do solo são utilizados com sucesso em todo mundo, proporcionando o caminho para alcançar a sustentabilidade agrícola, devido à redução na perturbação do solo e a um aumento na rotação de cultura e diversidade do sistema. Os sistemas de integração empregam uma gama diversificada de fatores ecológicos, biofísicos e socioeconômicos com condições de reduzir os riscos ambientais, sendo planejados de forma a explorar os sinergismos e as propriedades emergentes, frutos da interação solo-planta-atmosfera (NASCIMENTO *et al.*, 2019; MORAES *et al.*, 2014).

O uso de plantio direto, associado aos sistemas de integração lavoura-pecuária e lavoura-pecuária-floresta, favorece o aumento de resíduos culturais na superfície do solo, protegendo sua estrutura. O incremento de matéria orgânica influencia positivamente os mecanismos de recuperação, uma vez que reduz a erosão, aumenta a taxa de infiltração de água e a porosidade, considerados fatores importantes para a resiliência do solo (BONETTI *et al.*, 2017).

A diversidade biológica e a intensidade e duração das perturbações determinam a resiliência dos ecossistemas por meio de ações planejadas, recuperando a estrutura do solo e proporcionando condições físicas para o restabelecimento de processos ecológicos naturais, quais sejam, germinação de sementes, emergência e desenvolvimento de mudas e retorno de resíduos vegetais ao solo, fonte de energia para seus organismos. (BONINI; ALVES, 2011).

A capacidade do solo de se recuperar do estresse das práticas de produção inadequadas depende de suas propriedades, como a textura e a matéria orgânica e de seus consequentes efeitos na estrutura. O processo de resiliência do solo acontece ao longo do tempo, sob diferentes respostas, devido à diversidade de solos existentes, visto que solos com maior teor de argila, óxido de ferro e matéria orgânica são mais resilientes (BONETTI *et al.*, 2017).

O contexto histórico de qualidade do solo evidencia o seu enraizamento em duas abordagens diferentes que enfatizam suas propriedades inerentes e o efeito do manejo humano. Uma definição recente de qualidade do solo é a capacidade intrínseca de um solo contribuir

para os serviços ecossistêmicos, incluindo a produção de biomassa. Um importante componente de avaliação da qualidade do solo é a identificação de um conjunto de atributos inerentes (estáticos) e gerenciáveis (dinâmicos), que refletem a capacidade de um solo funcionar, podendo ser usados como indicadores de qualidade (BÜNEMANN *et al.*, 2018).

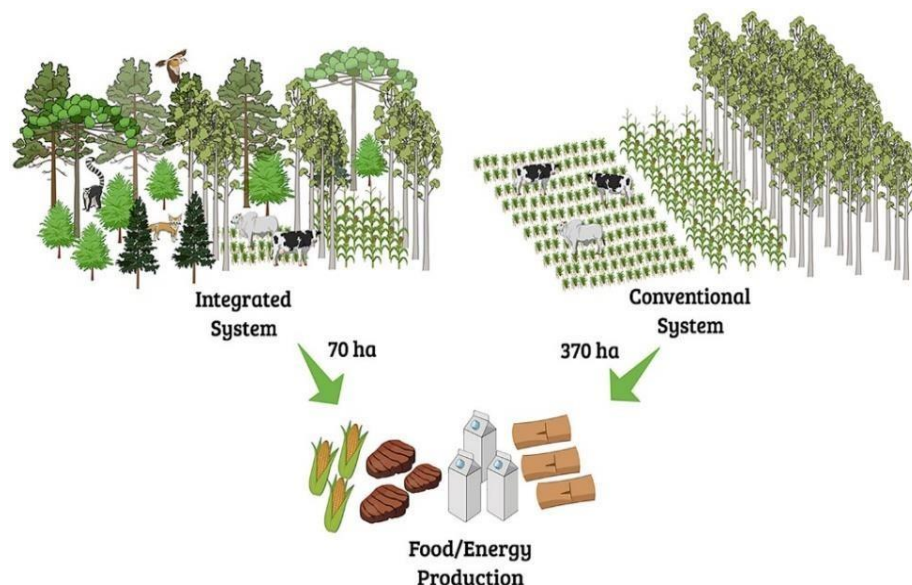
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Sistemas integrados como estratégias de intensificação sustentável de uso do solo

Os sistemas de produção integrados propiciaram descobertas fundamentais e ações de sustentabilidade que não seriam possíveis com a utilização de abordagens convencionais disciplinares, reducionistas e compartimentalizadas (COSTA *et al.*, 2018). Nesta vertente de produção existem propriedades emergentes e complexas, como a interconexão de questões-chave (ar, clima, solo, energia, água e organismos vivos), avaliando objetivos múltiplos, muitas vezes conflitantes.

A integração de sistemas permite o esclarecimento e redistribuição de responsabilidades ambientais, assim como a otimização do espaço utilizado na realização das atividades (LIU *et al.*, 2015), promovendo diversos benefícios ao solo, plantas e animais, por explorar o sinergismo entre seus componentes Figura 1. Além de maior produtividade, proporciona incremento dos teores de matéria orgânica e maior quantidade de carbono orgânico e nitrogênio (LOSS *et al.*, 2011).

Figura 1. Representação gráfica do potencial de utilização de sistemas integrados de produção comparados com sistemas convencionais.



Fonte: Costa *et al.* (2018).

O sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, também caracterizado como agrossilvipastoril, consiste em uma modalidade de uso e ocupação do solo por meio de atividades como rotação, consórcio ou sucessão, proporcionando uma diversificação da

produção agrícola no espaço e no tempo. Por definição este sistema é composto por espécies perenes no componente florestal, por espécies anuais no componente agrícola e por espécies forrageiras e animais dentro componente pecuário (FRANCO, 2017).

Em 2013, no Brasil, foi criada a Lei nº 12.805, designada Lei nacional de integração lavoura, pecuária e floresta, a qual aborda este sistema de integração na produção, evidenciando efeitos sinérgicos entre os componentes do agrossistema e visando a recuperação de áreas degradadas, o aumento da produtividade econômica e à sustentabilidade ambiental. Deste modo, intensificou-se a importância do tema, bem como o aumento potencial de pesquisas relacionadas a ele, com o intuito de maior difusão deste sistema de produção no país, promovendo incentivos para uma gestão de produção adequada (BRASIL, 2013).

O PIB, em 2016, evidenciou uma queda de 3,6% em seu valor e o valor incorporado da pecuária teve retração de 6,6%. Tal retração foi proporcionada principalmente pela queda na produção de grãos, podendo ser explicada pelas mudanças climáticas, afetando os custos de produção e as exportações e demonstrando a vulnerabilidade do sistema e a necessidade de pesquisas alternativas frente a condições adversas (IBGE, 2016).

A importância da agropecuária ultrapassa sua contribuição na geração de recursos e abastecimento de mercado. Estende-se por toda cadeia do agronegócio e proporciona fluxo às indústrias de equipamentos e insumos, suprindo o setor de processamento de alimentos e matérias-primas, bem como tendo a necessidade de uma gestão sustentável, com incentivos por sistemas de recuperação de áreas degradadas que produzam menor emissão de gases do efeito estufa (MAPA, 2017).

A implementação do sistema de integração, além de proporcionar uma maior eficiência do uso da terra, também colabora para a adequação ambiental, interferência no ciclo de pragas, conservação e melhoria do solo e da água, aumento potencial da produtividade e da qualidade de vida, diversificação dos sistemas de produção e uma maior eficiência no uso de insumos, mão-de-obra e recursos (BALBINO *et al.*, 2011).

Uma das principais causas da degradação de áreas cultivadas em sistemas de integração corresponde ao pisoteio animal que é dependente de sua densidade, da massa de forragem existente e das condições de umidade do solo. Também o intenso tráfego de máquinas e implementos agrícolas, sendo necessárias práticas de manejo adequadas para evitar o aumento da compactação (SILVA *et al.*, 2018; SOUZA *et al.*, 2019).

A compactação do solo é um dos principais fatores responsáveis pela queda de produtividade das culturas agrícolas e que proporciona alterações na densidade do solo, porosidade, estruturação de agregados, dinâmica da água e no desenvolvimento e distribuição

das raízes, influenciando negativamente no processo de resiliência do sistema (SIVARAJAN *et al.*, 2018).

As pastagens desenvolvidas em sistemas integrados têm funções que vão além da alimentação dos animais, pois devem contribuir também com a melhoria do ambiente de produção. Os resíduos vegetais presentes na superfície do solo beneficiam as culturas semeadas em sucessão, proporcionando melhorias na agregação das partículas e diminuição da compactação do solo, aumento nos teores de matéria orgânica na decomposição e mineralização dos resíduos vegetais e uma melhoria da atividade de microrganismos (COSTA *et al.*, 2015).

A integração lavoura-pecuária-floresta deve ser desenvolvida dentro de princípios técnicos que permitam a maximização do potencial produtivo da área, sem perder de vista a sustentabilidade do sistema. O planejamento e estabelecimento passa por um diagnóstico da situação atual da área e ambiente, englobando a caracterização física, química e biológica do solo, condições climáticas envolvendo a luminosidade, temperatura, umidade relativa e vento e econômicas, ambientais e sociais (ALVARENGA *et al.*, 2010).

A utilização de sistemas integrados enfrenta alguns desafios como o tradicionalismo e resistência ao uso de novas tecnologias por parte dos produtores, necessidade de maior capacitação técnica e de gestão, de um maior investimento financeiro e logística de implementação, agregando potenciais riscos para o sistema de produção (BUNGENSTAB, 2012). Uma visão geral de pesquisas em sistemas de conservação e sistemas integrados de produção, baseado em estudos de qualidade do solo, processo de rotação de culturas, serviços ecossistêmicos e potencial utilização dos sistemas, apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Breve histórico de pesquisas desenvolvidas com abordagem em sistemas conservacionistas e integrados de produção.

Fonte	Descrição
Edwards (1989)	A importância da integração em sistemas agrícolas sustentáveis
Blanco e Lal (2008)	Princípios do solo, conservação e gestão
Hendrickson et al. (2008)	Princípios agrícolas integrados
Balbino, Barcellos, Stone. (2011)	Potencial de utilização da integração lavoura-pecuária-floresta
Lemaire <i>et al.</i> (2014)	Sistemas integrados lavoura-pecuária como estratégias para alcançar sinergia entre produção agrícola e qualidade ambiental
Moraes <i>et al.</i> (2014)	Aplicabilidade efetiva do desenvolvimento de sistemas integrados
Palm <i>et al.</i> (2014)	Agricultura de conservação e serviços ecossistêmicos
Salton <i>et al.</i> (2014)	Rotação de culturas aumenta a qualidade das pastagens, melhorando a agregação do solo; a integração influi positivamente nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo
Brevik <i>et al.</i> (2015)	Estudo holístico dos solos requer uma abordagem interdisciplinar
Gil, Siebold e Berger (2015)	Sistemas integrados de produção como uma estratégia promissora para sustentabilidade, evidenciando limitações em desenvolvimento efetivo
Liu <i>et al.</i> (2015)	Integração de sistemas para sustentabilidade global
Borges, Calonego e Rosolem (2018)	Impacto da integração lavoura-pecuária-floresta na qualidade do solo

Elaboração do próprio autor.

2.2. Componentes físicos de avaliação da qualidade do solo

As propriedades do solo que favorecem o desenvolvimento de plantas são decorrentes de alguns fatores de sua formação como material de origem, topografia, clima, tempo e os organismos presentes. Este material de origem determina a mineralogia do solo formado e juntamente com os processos do intemperismo constitui o aporte de matéria orgânica e seus devidos atributos físicos, químicos e biológicos (VAN RAIJ, 2011). Os indicadores de avaliação da fertilidade do solo são constituídos por atributos físicos (textura, profundidade efetiva, densidade, infiltração e retenção de água, temperatura e topografia), químicos (teor de C e N, pH, condutividade elétrica, teor de macro e micronutrientes, relação entre os elementos) e biológicos (biomassa microbiana, potencial de mineralização, respiração do solo, relação

respiração/biomassa, flora e fauna), atuando como fatores que afetam o crescimento e produção, alguns sendo passíveis de modificação técnica e econômica.

Mudanças nas propriedades físicas do solo afetam os serviços ecossistêmicos no que se refere à compactação do solo (densidade e resistência à penetração), interferindo na produção agrícola, assim como a estruturação das partículas deste sistema afeta a severidade da erosão do solo, além de influenciar diretamente a dinâmica da água e de nutrientes (BLANCO-CANQUI; RUIS, 2018).

O conhecimento das modificações do solo fornece subsídios para adoção de práticas de manejo que permitam um maior rendimento das culturas, garantindo a contínua sustentabilidade e conservação dos sistemas e preservando as condições dos atributos de constituição que proporcionem uma produtividade satisfatória com viabilidade econômica (FREITAS *et al.*, 2017). Uma visão geral de pesquisas na qualidade física do solo desenvolvidas em sistemas de conservação e sistemas integrados de produção, apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 - Breve histórico de pesquisas desenvolvidas com na qualidade física e química do solo em sistemas conservacionistas e integrados de produção.

Fonte	Descrição
Gliński e Lipiec (1990)	Condições físicas do solo e raízes das plantas
Braida <i>et al.</i> (2011)	Efeito da matéria orgânica nos atributos físicos do solo
Busari <i>et al.</i> (2015)	Sistemas de conservação e influência na qualidade física, química e biológica do solo e no meio ambiente
Bonini <i>et al.</i> (2016)	Atributos químicos e físicos do solo e produção de forragem em sistemas integrados de produção
Luo <i>et al.</i> (2016)	Projeções mais realistas da dinâmica do carbono do solo pelos modelos do sistema terrestre
Bonetti <i>et al.</i> (2019)	Impactos de um sistema de integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas-hidráulicas do solo
Nascimento <i>et al.</i> (2019)	Qualidade física do solo sob sistemas integrados de produção a longo prazo

Elaboração do próprio autor.

Avaliação da qualidade estrutural do solo em sistemas integrados, realizada no estudo de Nascimento *et al.* (2019), resultou em um baixo índice de degradação estrutural na camada de 0,20-0,30m e estável nas demais profundidades. A integração lavoura-pecuária-floresta apresenta uma significativa diminuição da estrutura do solo em profundidade. Isso se deve à

diminuição da matéria orgânica e do carbono orgânico do solo, visto que esses fatores estão intimamente ligados à estrutura do solo e à capacidade de absorção de água, principalmente em solos arenosos ou degradados.

Estudos realizados por Bonetti *et al.* (2017) mostram que a textura do solo, juntamente com a predominância de argila, protege a matéria orgânica. Esta, por sua vez, contribui para sua recuperação, visto que altera diretamente seus atributos físicos como densidade, porosidade, estrutura de agregados e a infiltração de água, encontrando melhores condições nos Latossolos.

A diversidade dos componentes minerais e orgânicos presentes no solo determina a densidade do material, definida pela relação entre a massa de sólidos secos e o volume de solo sendo afetada por práticas de manejo que alteram a estrutura e por consequência o arranjo e volume dos poros. Tais alterações influenciam em propriedades físico-hídricas importantes para a determinação da qualidade do solo, como a porosidade de aeração, retenção de água, a disponibilidade de água para as plantas e a resistência à penetração de raízes (KLEIN, 2014; NASCIMENTO *et al.*, 2019).

A determinação do grau de compactação de um solo agrícola de maneira rápida se baseia na densidade em função de pedotransferência e na capacidade de armazenar água e ar em função da porosidade total, refletindo diretamente nas condições de infiltração, retenção e disponibilidade de água no sistema (NASCIMENTO *et al.*, 2019). A compactação do solo afeta adversamente a produtividade agrícola e os serviços ecossistêmicos, o que acarreta modificações e redução do espaço poroso, principalmente dos macroporos, interferindo diretamente na dinâmica da água no sistema. A avaliação da compactação determina que valores menores de 2 Mpa contribui de forma positiva para o desenvolvimento das plantas, pois melhora o contato solo-raiz e modera os fluxos de energia (CANARACHE, 1990; KLEIN, 2014).

Nascimento *et al.* (2019), estudando a qualidade física do solo em sistemas integrados lavoura-pecuária e lavoura-pecuária-floresta, observou que em ambos os sistemas a densidade do solo foi inferior a $1,60 \text{ Mg m}^{-3}$, valor limite para solos de textura arenosa, associados à restrição do crescimento radicular das plantas assim como à capacidade de ar no solo que se mostrou adequada, não comprometendo o bom desenvolvimento desta atividade nos sistemas.

Estudo realizado por Blanco-Canqui e Ruis (2018), que buscou avaliar o ambiente físico do solo em sistema plantio direto, evidencia os efeitos deste tipo de sistema na estabilidade de agregado do solo em comparação com a agricultura convencional e mostra que o plantio direto aumenta a estruturação do solo; mas também que essas alterações ocorrem em maior parte em superfície do que em profundidade. O aumento na estabilidade de agregados do solo é atribuído ao conjunto de fatores que se relacionam, como a entrada de resíduos culturais e a

falta de perturbação do solo. Isto leva ao acúmulo de matéria orgânica, podendo ter baixa molhabilidade, retardando a entrada rápida de água e reduzindo o escoamento de estrutura. O não revolvimento do solo e o aporte da palhada em sua superfície gerado pelo sistema de plantio direto funciona como uma barreira física de proteção e fonte química de nutrientes, proporcionando o aumento no aporte de matéria orgânica (LOSS *et al.*, 2011) e favorecendo a estabilidade de agregados.

A matéria orgânica do solo atua em sua estruturação por meio de polímeros com cargas, proporcionando a união de partículas isoladas de argila e sendo o único dentre seus componentes texturais com esta propriedade. A estrutura do solo ou a formação de agregados é o principal fator que influi no aumento da porosidade, sendo um importante atributo que favorece a dinâmica da água e do ar (VAN RAIJ, 2011).

Um importante atributo do solo, influenciado pelo tipo de cobertura vegetal e manejo adotado, é a capacidade de infiltração de água, que também é afetada pela umidade inicial, porosidade, textura, geometria porosa, estabilidade de agregados, declividade do terreno e condutividade hidráulica. A dinâmica da água no sistema do solo é de extrema importância para os processos pedológicos, pois melhora sua capacidade de suporte, proporcionando ambiente mais favorável à colonização de espécies e desenvolvendo uma sinergia para a estruturação do ecossistema (MARCHINI, 2012).

Blanco-Canqui e Ruis (2018), no estudo da relação da infiltração de água no solo em sistema plantio direto e convencional, mostrou que a dinâmica da água teve melhor desempenho no sistema de plantio. Isso se deve à cobertura de resíduos que protege o solo dos impactos de gotas da chuva, visto que este impacto pode desalojar os agregados superficiais, formando vedações, também superficiais e entupindo grandes poros. O sistema plantio direto aumenta o tamanho e a continuidade dos poros, consequentemente potencializando a atividade biológica, o que resulta na formação de abundantes canais radiculares.

3. OBJETIVOS

3.1. Geral

Avaliar de maneira temporal os atributos físicos de um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico sob sistema integrado de produção agropecuária, a fim de verificar as possíveis contribuições na qualidade do solo e na sustentabilidade do sistema.

3.2. Específicos

- Avaliar a infiltração de água no solo, resistência à penetração, umidade do solo, densidade, estabilidade de agregados e a porosidade do solo;
- Analisar o potencial do solo em diferentes sistemas de cultivo;
- Monitorar a qualidade física do solo, ao longo do tempo, de maneira a verificar as possíveis contribuições dos sistemas integrados de produção agropecuária;

ARTIGO I

Infiltração de água, resistência à penetração e umidade do solo em sistemas integrados de produção agropecuária ao longo do tempo

4. INTRODUÇÃO

O manejo intensivo de produção agrícola, proporciona perda de produtividade, degradação do solo e de recursos naturais. A utilização de sistema plantio direto, preparo mínimo do solo e rotação de culturas juntamente aos sistemas integrados de produção agropecuária (SIPAs), preserva ou melhora seus atributos, além de oferecer condições de sustentabilidade do sistema (COSTA *et al.*, 2015).

Os sistemas de conservação do solo proporcionam o caminho para alcançar a sustentabilidade agrícola, pois reduz perturbações ao solo e diversifica as atividades desenvolvidas, como o sistema de integração lavoura-pecuária e lavoura-pecuária-floresta que se desenvolvem, sob interações temporais e espaciais, em diferentes escalas com exploração simultânea ou desarticulada, visando alcançar sinergismo e utilização do espaço mais inteligente (NASCIMENTO *et al.*, 2019; MORAES *et al.*, 2014a).

O desenvolvimento de SIPAs, têm potencial para aumentar a produtividade por meio da integração de árvores, forragens e pecuária, este arranjo pode ser projetado para otimizar os benefícios na produção de madeira, qualidade da forragem, desempenho da pecuária, qualidade da água e do solo, proteção da biodiversidade, sequestro de C, sendo considerado uma oportunidade econômica (SULC e FRANZLUEBBERS, 2014).

Alterações na qualidade física do solo, são observadas neste tipo de sistema, sendo que o pisoteio animal é uma das preocupações desta atividade, pois remete ao aumento da compactação do solo. A compactação do solo, caracterizada como uma modificação negativa no volume das três fases do solo, constituída pela porção sólida, a água e os espaços ocupados por ar, tais alterações podem ser devido à compressão da estrutura do solo (SILVA *et al.*, 2018; SOUZA *et al.*, 2019).

O estado de compactação pode ser identificado por meio da densidade relativa do solo ou pela resistência a penetração, esta atribuição ao solo afeta a função dos poros de armazenar e transportar água e gases, nutrientes e calor, o que é essencial para o desenvolvimento de organismos, além de reduzir a produtividade, erosão e capacidade de infiltração de água (STOESSEL *et al.*, 2018).

O tipo de cobertura vegetal e o manejo adotado nas áreas agrícolas são fatores determinantes para uma significativa produtividade. A dinâmica da água no solo proporciona o desenvolvimento de processos pedológicos, como controle de temperatura, disponibilidade de nutrientes, atividade microbiológica, melhorando a capacidade de suporte do sistema, o que desenvolve uma adequada sinergia para a estruturação do sistema (MARCHINI *et al.*, 2015).

O comportamento da infiltração de água no solo, se desenvolve de maneira diferente, quando se refere ao manejo adotado, Blanco-Canqui e Ruis (2018), em estudo observaram que a infiltração de água no solo teve melhor desempenho em sistemas de plantio direto, quando comparado ao sistema convencional, podendo ser explicado pelo incremento da cobertura de resíduos que protege o solo de impactos mecânicos, além de aumentar o tamanho e continuidade de poros, potencializando atividade microbiológica, o que resulta na formação canais radiculares, ressaltando a importância da utilização de sistema conservacionistas.

Os SIPAs são estratégias de produção sustentável, na qual integra atividades agrícolas, pecuárias e florestais, que busca efeitos sinérgicos entre os componentes do sistema, como o aumento da produção de palhada com o sistema de plantio direto, manutenção do solo com a cobertura vegetal pelo maior tempo possível, a reestruturação física do solo, o aumento de matéria orgânica, além da redução de pragas, doenças e plantas daninhas, contemplando a adequação ambiental, a valorização do homem e a viabilidade econômica (BALBINO *et al.*, 2011).

Uma comparação entre os SIPAs e sistemas especializados (monocultura), é possível inferir possíveis contribuições da utilização de sistemas mistos, a capacidade de mitigação do carbono da atmosfera, redução da emissão de gás metano para atmosfera, pois este acaba retornando ao sistema de cultivo, prevenção de perdas por erosão (solo, água, matéria orgânica e nutrientes), estímulo ao desenvolvimento da biota e a recuperação da degradação (BUNGENSTAB *et al.*, 2019).

Os desafios no desenvolvimento dos SIPAs, se sustenta pelo tradicionalismo e resistência à adoção de novas tecnologias por parte dos agricultores, exigência de maior qualificação dos colaboradores envolvidos, necessidade de maior investimento financeiro, com retorno apenas em médio a longo prazo, maior complexidade agregando riscos ao sistema, quando não desenvolvido de maneira adequada (BUNGENSTAB *et al.*, 2019).

Diante do exposto, o trabalho objetivou avaliar de maneira temporal, no período de cinco anos, a infiltração de água no solo, resistência mecânica à penetração e o teor de água de Argissolo Vermelho Amarelo distrófico sob sistemas integrados de produção agropecuária, com o intuito de verificar possíveis contribuições na qualidade do solo e na sustentabilidade do sistema.

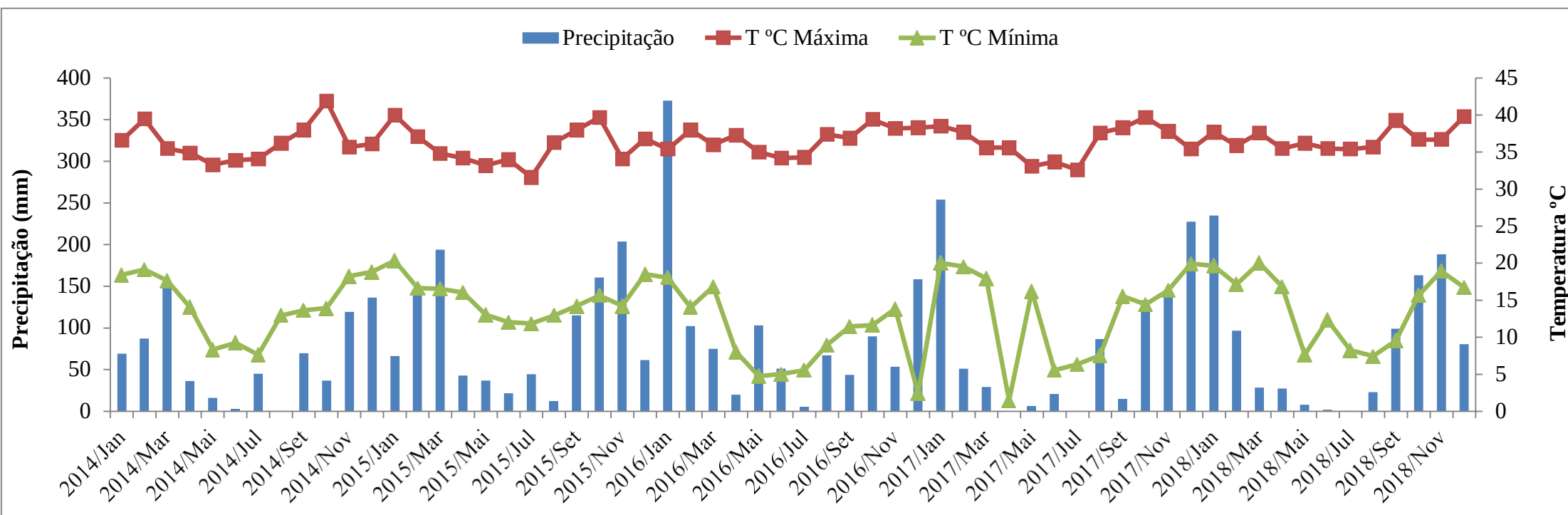
5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Caracterização e histórico da área experimental

O projeto teve início em 2011 na Agência Paulista dos Agronegócios – Polo/Andradina em parceria com a Unesp/Dracena, coordenadas latitude 20°55'S e longitude 51°23'W, com altitude média de 379 m.

O clima de tipo Aw (tropical quente e úmido com inverno seco), classificado segundo Köppen com temperatura média de 23 °C e precipitação média anual é de 1.150 mm. A Figura 2, apresenta o comportamento do cenário de precipitação e temperatura máxima e mínima, da área em estudo, nos anos de 2014 a 2018.

Figura 2. Precipitação e temperatura máximas e mínimas da área experimental no período do estudo – 2014 a 2018. Andradina – SP.



Fonte: CIIAGRO (Centro integrado de informações agrometeorológicas).

O solo em estudo é um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico classificado por Santos *et al.* (2018). A análise granulométrica revelou que consiste em 765 g kg⁻¹ de areia, 116 g kg⁻¹ de silte, 119 g kg⁻¹ de argila, indicando textura arenosa. A caracterização do solo, pode ser observada na Tabela 3.

Tabela 3 - Caracterização inicial da área experimental, APTA 2012.

Camada (m)	P resina mg dm ⁻³	MO g dm ⁻³	pH CaCl ₂	K mmol ⁻² dm ⁻³	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V	S-SO ₄ mg dm ⁻³	m %	Areia g kg ⁻¹	Silte	Argila
0,00 – 0,20	3	15	4,8	1,8	7	5	19	13,6	32,5	42	1	10,8	765	116	119

Fonte: Bonini (2016).

Essa caracterização realizada em 2012, serviu de base para as correções do solo e adubações subsequentes, com a aplicação a lanço e incorporação de calcário dolomítico (PRNT 80%) na quantidade média de 1200 kg ha⁻¹, para elevação da saturação por bases a 70% e gesso agrícola em área total na quantidade de 600 kg ha⁻¹, visando fornecimento de enxofre às culturas, conforme recomendação do Boletim 100 (Raij *et al.* 1983) para o Estado de São Paulo. No preparo de solo foram realizados terraceamento, uma gradagem aradora, aração e gradagem niveladora.

5.1.1. Componente arbóreo

No final de 2012 e início de 2013 foram plantados os eucaliptos clone I-224, com perfil para produção de celulose, característica comercial da região. A área ocupada pelo eucalipto, foi calculada de acordo com o número de árvores de cada piquete (parcela experimental) e o espaçamento entre as árvores.

5.1.2. Produção da cultura da soja

Em dezembro de 2012, foi semeada a soja, cultivar BMX Potência, utilizando a semeadora Semeato modelo SAM 200 com quatro linhas, com densidade de 20 sementes por metro de sulco e espaçamento de 0,50m entrelinhas, totalizando 400.000 sementes ha. Foi realizado adubação de semeadura e de cobertura, além do controle de plantas daninhas, com aplicação de herbicida a base de Glyphosate – Zapp QI 620.

5.1.3. Produção da cultura do milho e pastagem

Em dezembro de 2013, foi semeado o capim *Urochloa brizantha* (Syn. *Brachiaria brizantha*) cv. Marandu, na densidade de 8 kg ha⁻¹ sementes puras e viáveis, plantadas com espaçamento de 0,20m. Após do plantio do capim, o milho semeado foi o híbrido BG 7049 (Biogene), as sementes foram tratadas com inseticida à base de thiametoxan (Cruiser 350) na

dosagem de 300 mL 100kg de sementes, o espaçamento foi de 0,80m entrelinhas. O milho foi colhido em março de 2014 na forma de silagem.

5.14 Manejo da pastagem e bovinocultura

Em dezembro de 2014 foi realizada a uniformização da forragem por meio de roçagem mecânica a 15cm de altura do solo, seguida de adubação nitrogenada de 40 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia. Em janeiro de 2015 os novilhos de corte da raça Nelore foram introduzidos na área, dando início ao pastejo. O método de pastejo adotado foi o de lotação contínua com taxa de lotação variável, utilizando a técnica de put and take (MOTT e LUCAS, 1952). Em cada piquete foram utilizados quatro animais “testers” e um número variável de 24 animais reguladores, conforme a necessidade de ajuste de taxa de lotação para manutenção da meta de manejo, que foi a altura média do relvado a 30 cm. A taxa de lotação foi calculada por meio do monitoramento das condições da pastagem nas parcelas experimentais, com intervalo entre as medições de sete dias. No mês de julho de 2016, foi o término do pastejo com a utilização dos animais.

A caracterização do histórico da área experimental dentro de uma visão histórica, está representada Figura 3, onde evidencia os processos descritos anteriormente.

Figura 3. Histórico da área experimental.



(A)



(B)



(C)



(D)



(E)

(A) – Preparo do solo; (B) – Plantio do componente arbóreo e da soja; (C) – Plantio da cultura do milho e colheita da soja; (D, E) – Manejo da pastagem e bovinocultura.

Elaboração do próprio autor.

5.2. Delineamento experimental e tratamentos

A área total do experimento compreende 27 hectares, com aproximadamente 2 hectares por parcela, desenvolvido sob um delineamento de blocos casualizados. Os tratamentos distribuídos de forma aleatória em 4 blocos são: ILP – integração lavoura-pecuária, sem o componente arbóreo; ILPF1L – sistema agrossilvipastoril, com sombreamento de 1 linha de eucalipto, sendo a distância entre cada linha 17 a 21m e a distância entre plantas de 2m, com densidade de 200 árvores ha; ILPF3L - sistema agrossilvipastoril, com sombreamento de 3 linhas de eucalipto, sendo a distância entre os renques de eucalipto de 17 a 21m e a distância entre plantas de 2m, com densidade de 500 árvores ha; EUC - plantio exclusivo de eucalipto.

5.3. Avaliação e preparo das amostras do solo

Amostras deformadas de solo foram coletadas nos anos de 2014 a 2018, nas camadas de 0-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20m, para a avaliação do teor de água do solo pelo método clássico de pesagem, segundo Teixeira *et al.* (2017), realizada em conjunto com a resistência a penetração com o auxílio de equipamento penetrológ, modelo Falker de automação agrícola.

O mini infiltrômetro de disco utilizado para a avaliação da taxa de infiltração de água no solo, é equipamento ideal para as medições em campo, devido seu tamanho compacto e praticidade da água transportada, constituído por um tubo de acrílico com as devidas marcações de medição uma saída de ar e uma placa porosa, na qual entra em contato com a superfície do solo, o procedimento é registrado em função dos intervalos de tempo (NAIK, GHOSH, PEKKAT, 2018; ZHANG, 1997).

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, com $p \leq 0,05$. Quando significativos, os parâmetros foram submetidos ao teste de Tukey ($p < 0,05$). A estatística utilizada foi parcela subdividida, desenvolvida no software livre R (R CORE TEAM, 2018), utilizando o pacote 'ExpDes.pt'. O tratamento deve ser testado sob o erro I (inter parcela) e a interação (tratamento x ano), deve ser testado sob o erro II (intra parcela).

6. RESULTADOS

A significância dos atributos avaliados apresentada na Tabela 4, mostra a importância dos sistemas de cultivo, época e interação entre esses dois fatores.

Tabela 4 - Análise de variância das propriedades e camadas do solo estudadas. Andradina – SP. Brasil. 2014-2018.

Fontes de Variação	Infil (mm h)	Rp 1 (Mpa)	Rp 2 (Mpa)	Rp 3 (Mpa)	Ug 1 (gg ⁻¹)	Ug 2 (gg ⁻¹)	Ug 3 (gg ⁻¹)
Sistemas de Cultivo	***	**	***	ns	***	***	***
Bloco	ns	ns	ns	ns	Ns	ns	ns
Ano	***	***	***	***	***	***	***
Interação	***	***	***	***	Ns	***	*
CV 1 (%)	24,77	38,30	15,51	23,68	7,24	13,75	12,37
CV 2 (%)	22,45	35,27	26,72	22,76	19,98	16,85	18,22

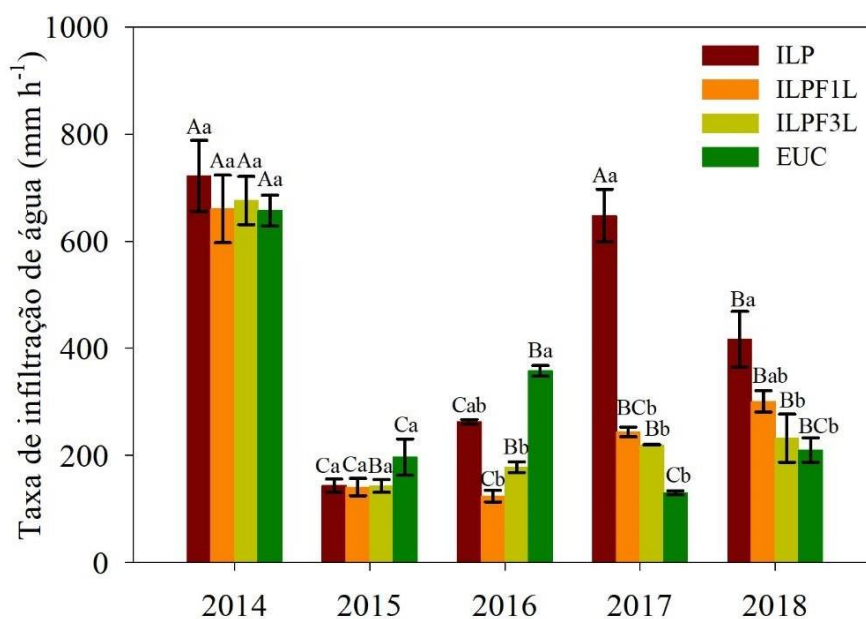
ns, não significativo; * p<0.05; ** p<0.01; ***, p<0,001; CV 1 – Coeficiente de variação do tratamento; CV 2 – Coeficiente de variação da interação (tratamento x ano); Rp 1- Resistência a penetração na camada de 0,00 – 0,05m; Rp 2- Resistência a penetração na camada de 0,05 – 0,10m; Rp 3- Resistência a penetração na camada de 0,10 – 0,20m; Ug 1-Teor de água no solo na camada de 0,00 – 0,05m; Ug 2-Teor de água no solo na camada de 0,05 – 0,10m; Ug 3- Teor de água no solo na camada de 0,10 – 0,20m; Infil- Infiltração de água.

Elaboração do próprio autor.

6.1. Infiltração de água no solo

De acordo com a Figura 4, a taxa de infiltração de água no solo evidenciou maior taxa dos tratamentos no ano de 2014, com valores entre 600 e 750 mm h⁻¹. Diferente do comportamento encontrado nos anos seguintes, no qual as taxas de infiltração diminuíram significativamente, com o devido destaque para o tratamento ILP, que atingiu maior valor, diante os outros tratamentos alcançando cerca de 600 mm h⁻¹ no ano de 2017, assim como no ano de 2018, onde além do elevado valor para o tratamento ILP, foi encontrado taxas de infiltração próximas entre os tratamentos estudados.

Figura 4. Infiltração de água no solo (mm h^{-1}) nos anos avaliados. Andradina – SP- Brasil. 2014-18.



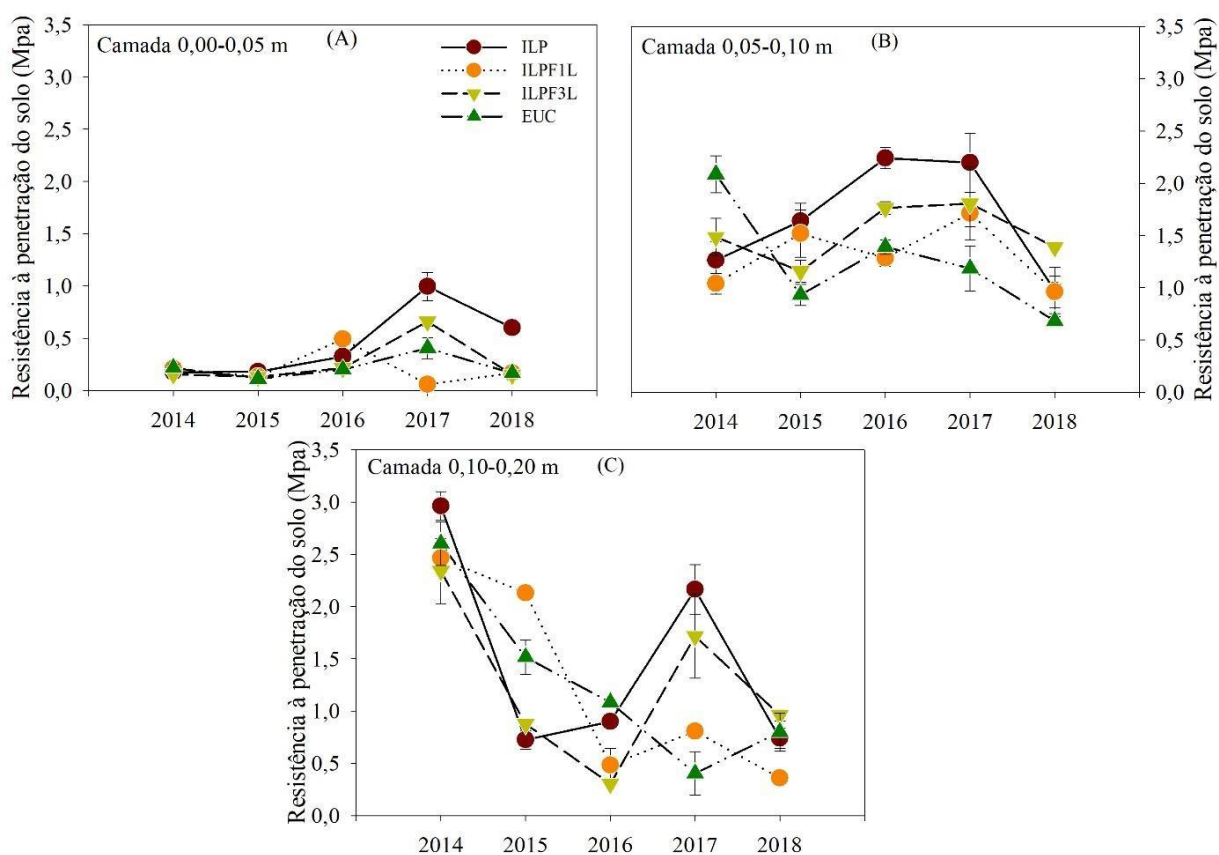
Respectivos tratamentos e anos avaliados. Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam os tratamentos, enquanto letras minúsculas comparam os anos. Barras na vertical representam o erro padrão.

Elaboração do próprio autor

6.2. Resistência à penetração

O comportamento da resistência a penetração pode ser visto na Figura 5, em análise da camada superficial o ano de 2017, foi observado maior resistência nos tratamentos. Na camada 0.05-0.10m todos os tratamentos tiveram resistência mais elevada, nos respectivos anos de maneira semelhante. Em profundidade o 2014 apresentou maior compactação, seguido do ano de 2017, o tratamento ILP de maneira geral, apresentou destaque com maiores valores entre 2,0 e 2,5 Mpa.

Figura 5. Resistência a penetração do solo (Mpa) nos anos avaliados. Andradina – SP- Brasil. 2014-18.



Camadas do solo de 0,00-0,05m (A), 0,05-0,10m (B), 0,10-0,20m (C), os respectivos tratamentos e anos avaliados. Barras na vertical representam o erro padrão.

Elaboração do próprio autor

A Tabela 5, apresenta os resultados médios de resistência a penetração, nas camadas de 0.00-0.05m, 0.05-0.10m, 0.10-0.20m, de cada tratamento no período de 2014 a 2018. Valores mais expressivos são observados no ano de 2014 em profundidade, comportamento diferente ao encontrado no ano de 2018.

Tabela 5 - Valores médios de resistência a penetração do solo, nos tratamentos e camadas estudadas. Andradina – SP. Brasil. 2014-2018.

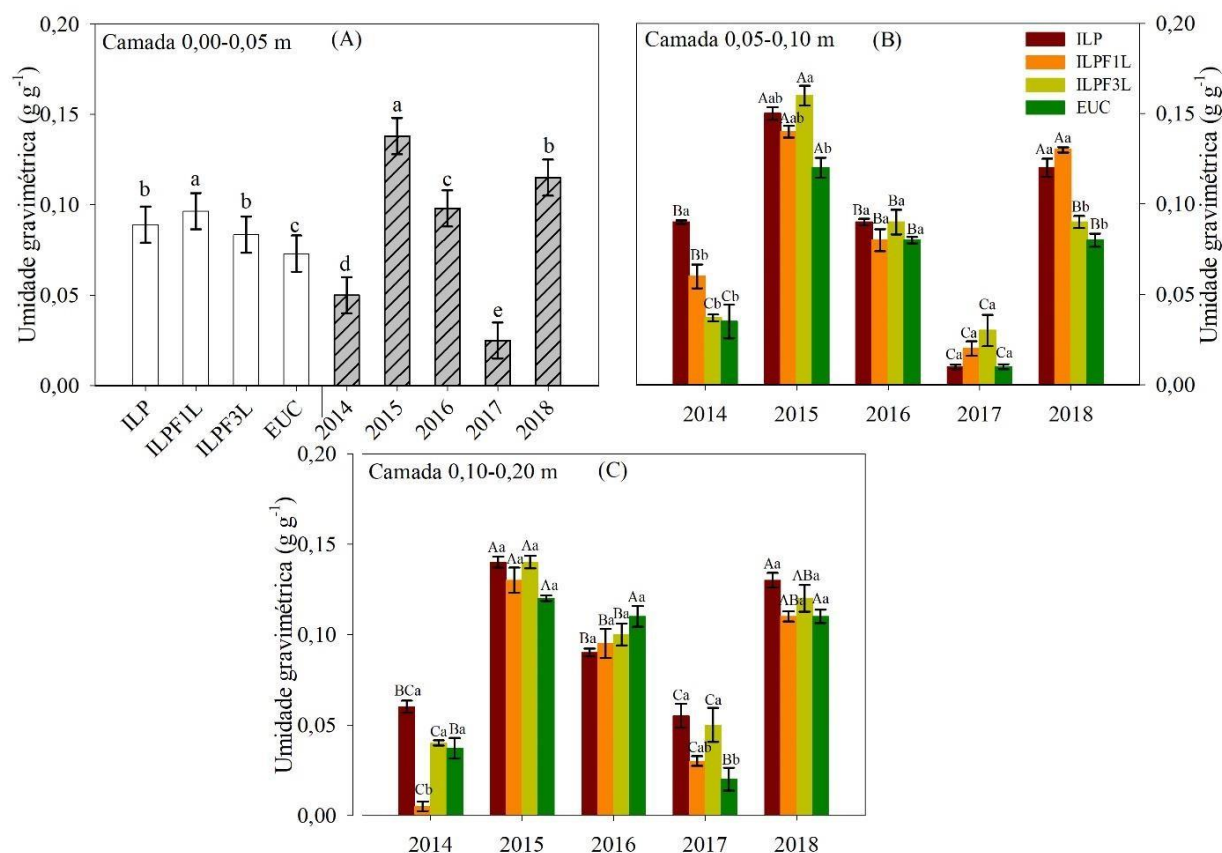
Sistema de cultivo /ano	2014	2015	2016	2017	2018
0 – 0,05m					
ILP	0,175 aC	0,180 Ac	0,325 bB	0,995 aA	0,600 aC
ILPF1L	0,207 aB	0,130 aB	0,492 aA	0,055 dB	0,165 aB
ILPF3L	0,155 aB	0,130 aC	0,215 cB	0,660 bA	0,150 aB
EUC	0,215 aB	0,112 aB	0,200 cB	0,405 cA	0,165 aB
0,05 – 0,10m					
ILP	1,265 bB	1,637 aB	2,242 aA	2,197 aA	0,975 bB
ILPF1L	1,039 cC	1,522 aA	1,285 bA	1,715 aA	0,960 bB
ILPF3L	1,485 bA	1,157 bA	1,765 aA	1,805 aA	1,390 aA
EUC	2,085 aA	0,932 bC	1,390 bB	1,185 bC	0,685 bC
0,10 – 0,20m					
ILP	2,960 aA	0,725 cC	0,900 bC	2,162 aB	0,740 bC
ILPF1L	2,462 bA	2,130 aA	0,482 cB	0,805 bB	0,360 bB
ILPF3L	2,340 bA	0,875 cC	0,305 cD	1,717 aB	0,961 aC
EUC	2,600 bA	1,515 bB	1,083 aB	0,402 bC	0,800 bC

ILPF – integração lavoura-pecuária, sem o componente arbóreo; ILPF1L – sistema agrossilvipastoril, com sombreamento de 1 linha de eucalipto; ILPF3L - sistema agrossilvipastoril, com sombreamento de 3 linhas de eucalipto; EUC - plantio exclusivo de eucalipto. Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam os tratamentos, enquanto letras minúsculas comparam os anos.

6.3. Teor de água no solo

O teor de água no solo Figura 6, mostra que a interação na camada superficial não apresentou diferença significativa, diferentemente das camadas de 0.05-0.10 e 0.10-0.20m. No ano de 2017 o teor de água no solo foi relativamente baixo, não atingindo 0.05 g g⁻¹ de umidade. O ano de 2015 se destacou na porcentagem de água no solo, de maneira geral nas camadas e nos tratamentos, apresentando valores entre 0.10 a 0.20 g g⁻¹ de umidade no solo. Em análise dos tratamentos o ILPF1L, foi o que obteve melhor desempenho, dentre as camadas e os anos avaliados.

Figura 6. Teor de água do solo nos anos avaliados (g g^{-1}). Andradina – SP- Brasil. 2014-18.



Camadas do solo de 0,00-0,05m (A), 0,05-0,10m (B), 0,10-0,20m (C), os respectivos tratamentos e anos avaliados. Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam os tratamentos, enquanto letras minúsculas comparam os anos. Barras na vertical representam o erro padrão.

Elaboração do próprio autor

7. DISCUSSÃO

Solos de textura arenosa, tem como característica maior quantidade de macroporos, o que confere maior taxa de infiltração de água no solo, os valores encontrados foram superiores ao que determina Brandão *et al.* (2012), na apresentação de valores indicativos segundo Sidiras e Roth (1984), para determinação com infiltrômetro de anel e simulador de chuva em plantio direto, com valores de 129 e 58 mm h^{-1} respectivamente. Para o mini infiltrômetro de disco não temos parâmetros comparativos.

Em 2014 a taxa de infiltração de água no solo apresentou maiores resultados, devido à baixa precipitação e ausência do pisoteio animal. Existem muitos fatores que afetam a infiltração de água no solo, de acordo com Klar (1988), é evidente que a taxa de infiltração decresce com o aumento de teor de água do solo, devido a menor diferença entre os potenciais

de água nas zonas de saturação e de molhamento, o que diminui a força proporcionada pelo gradiente de potencial, evidenciando que o solo tem uma dinâmica específica, na qual os fatores de composição se comunicam constantemente.

Em janeiro de 2015 os novilhos de corte da raça Nelore foram introduzidos na área, dando início ao pastejo, podendo ser uma explicação da diminuição dos valores da taxa de infiltração de água no solo, sendo importante ressaltar que o solo estava se estruturando pelo sistema de manejo integrado. Este ano apresentou maior teor de água no solo, influenciando no comportamento da infiltração de água no solo, pois segundo Marchini *et al.* (2015), um solo úmido terá inicialmente menor infiltração, devido ao gradiente hidráulico e as condições de porosidade do solo.

Os tratamentos ILP, ILPF1L e ILPF3L, apresentaram valores consideráveis no que se refere a infiltração de água no solo, pela presença de gramíneas que são importantes na adição de material orgânico e na reestruturação do solo, uma vez que seu sistema radicular fasciculado, forma canais de infiltração, armazenamento de água no solos, além do seu efeito na descompactação do solo (MARCHINI *et al.*, 2015).

Na análise comportamental de resistência a penetração do solo, o sistema ILP se destaca com valores mais elevados já os tratamentos ILPF1L e ILPF3L apresentaram menores resistência a penetração, segundo Santana *et al.* (2019), em observações do deslocamento de bovinos em SIPAs, indica que este é influenciado pela presença e densidade de componente arbóreo, condições ambientais e características da pastagem, visto que o componente arbóreo acaba sendo uma barreira para o deslocamento dos animais.

O pastejo pode ser interpretado como prejudicial aos sistemas de cultivos agrícolas, visto que os animais consomem os materiais de cobertura do solo, facilitando o encrostamento superficial que levará o solo a degradação, além da incerteza sobre a compactação do solo. Segundo Moraes *et al.* (2014b) o desenvolvimento de sistemas integrados, sob condições de pastejo adequada, pode melhorar os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, além do incremento nos teores de carbono e nitrogênio no solo, quando comparadas com áreas não-pastejadas.

Valores considerados críticos para o desenvolvimento de raízes, foi observado na camada de 0,10-0,20m em 2014, igualmente observado por Assis *et al.* (2014), que verificou

maior resistência em profundidade em avaliação com o mesmo tipo de solo, encontrou como limite crítico à compactação acima de 2 Mpa.

A relação do teor de água com a compactação do solo é inversamente proporcional, como observado no ano de 2017, onde a resistência foi maior devido ao menor teor de água no solo, comportamento também encontrado por Assis *et al.* (2009), que o aumento do teor de água facilitou a avaliação da resistência, tornando o solo mais plástico devido à ação lubrificante entre as partículas que o compõem, e um equilíbrio entre as forças de coesão e adesão do solo.

A integração do pastejo nas atividades agrícolas, quando desenvolvida de maneira adequada, proporciona benefícios para a qualidade do solo e da água a longo prazo, como observado por Moraes *et al.* (2014b) que a produção de ácidos orgânicos solúveis em água aumentam a agregação do solo conforme o pastejo, favorecendo o movimento de partículas fins para profundidade com o passar dos anos.

8. CONCLUSÃO

Os SIPAs melhoram ou mantém a qualidade do solo, sem compactar e influenciar negativamente na infiltração de água no solo. O sistema com melhor qualidade do solo foi o ILPF 1L para a resistência mecânica a penetração e o teor de água no solo e ILP, seguido do ILPF1L e ILP3L para a infiltração de água no solo, ao longo do tempo.

ARTIGO II

Densidade do solo, estabilidade de agregado e porosidade do solo em sistemas integrados de produção agropecuária ao longo do tempo

9. INTRODUÇÃO

O aumento na produção de alimentos para atender as necessidades de uma população em crescimento, por meio de práticas que minimizem os impactos ao meio ambiente, são aspectos importantes que sustentam a intensificação sustentável da agricultura. Baseado na perturbação mínima do solo ou sistema de plantio direto, cobertura contínua do solo e rotação de culturas, este manejo proporciona uma semeadura mais oportuna ao estabelecimento precoce das culturas, o controle plantas daninhas, redução de custo nas operações, além de melhorias para a proteção do solo (GILLER *et al.*, 2015).

Nesse contexto, sistemas integrados de produção agropecuária, pode ser uma das alternativas para o aumento na produção de alimentos sem a necessidade de ocupar novas áreas, capaz de promover diversos benefícios ao solo, plantas e animais, por explorar o sinergismo entre seus componentes. Além de maior produtividade, proporcionam incremento dos teores de matéria orgânica e maior quantidade de carbono orgânico e nitrogênio (BONINI *et al.*, 2016).

Os efeitos do preparo do solo nos atributos físicos do solo dependem do tempo, espaço e manejo, o que resulta em variações nos resultados e na eficiência de implementação. Poucos estudos verificam a integração desses efeitos em sistemas de cultivos, o que oferece importância aos experimentos de longo prazo, visto que a qualidade da estrutura do solo é altamente dependente das condições de água, densidade do solo, estabilidade de agregados, resistência a compactação e espaço poroso, que proporciona disponibilidade de água e nutrientes (MORAES *et al.*, 2016).

A presença do componente pecuário, no desenvolvimento de sistemas integrados de produção agropecuária, é um importante fator que pode ser prejudicial para este tipo de rotação diversificada, quando efetuado de maneira inadequada. A compactação do solo é um dos principais fatores que resulta na queda de produtividade, alterando a densidade, porosidade do solo, estruturação de agregados, dinâmica de água (SIVARAJAN *et al.*, 2018).

As propriedades agregadas do solo influenciam uma série de funções essenciais do solo, como erodibilidade, compactação, a estrutura do solo como um fator importante para o

aumento da porosidade do solo, é um atributo importante que favorece a dinâmica da água e do ar. Estudo realizado por Munkholm *et al.* (2016) afirma que tratamentos de rotação diversificada resultou em maior porosidade total agregada que a lavoura a longo prazo, o que pode estar relacionado a maiores insumos de matéria orgânica.

Os sistemas integrados de produção agropecuária quando comparado com sistemas especializados, contribui para a diversidade de atividade dentro de uma mesma área agrícola, alta capacidade de mitigação do carbono, redução da emissão de gás metano, pois este acaba retornando ao sistema de cultivo, previne perdas por erosão (solo, água, matéria orgânica e nutrientes), estímulo ao desenvolvimento da biota e a recuperação da degradação (BUNGENSTAB *et al.*, 2019).

Diante do exposto, o trabalho objetivou avaliar de maneira temporal, no período de três anos, a densidade do solo, estabilidade de agregado e porosidade total por meio da macroporosidade e microporosidade de Argissolo Vermelho Amarelo distrófico sob sistema integrados de produção agropecuária, com o intuito de verificar possíveis contribuições na qualidade do solo e na sustentabilidade do sistema.

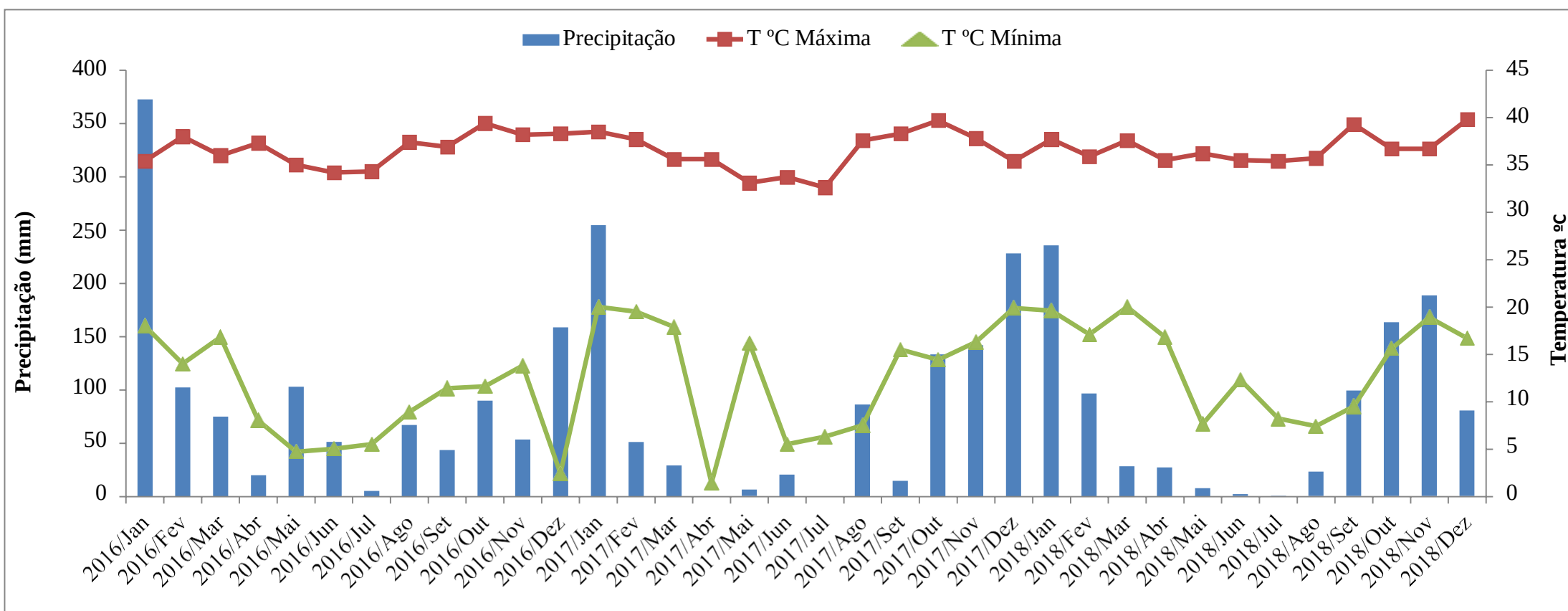
10. MATERIAL E MÉTODOS

10.1. Caracterização e histórico da área experimental

O projeto teve início em 2011 na Agência Paulista dos Agronegócios – Polo/Andradina em parceria com a Unesp/Dracena, coordenadas latitude 20°55'S e longitude 51°23'W, com altitude média de 379 m.

O clima de tipo Aw (tropical quente e úmido com inverno seco), classificado segundo Köppen com temperatura média de 23 °C e precipitação média anual é de 1.150 mm. A Figura 7, apresenta o comportamento do cenário de precipitação e temperatura máxima e mínima, da área em estudo, no anos de 2016 a 2018.

Figura 7. Precipitação e temperatura máximas e mínimas da área experimental no período do estudo – 2016 a 2018. Andradina – SP.



Fonte: CIIAGRO (Centro integrado de informações agrometeorológicas).

O solo em estudo é um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico classificado por Santos *et al.* (2018). A análise física revelou que consiste em 765 g kg⁻¹ de areia, 116 g kg⁻¹ de silte, 119 g kg⁻¹ de argila, indicando textura arenosa. A caracterização do solo, pode ser observada na Tabela 3.

Tabela 3 - Caracterização inicial da área experimental, APTA 2012.

Camada (m)	P resina mg dm ⁻³	MO g dm ⁻³	pH CaCl ₂	K mmol L ⁻¹	Ca mmol L ⁻¹	Mg mmol L ⁻¹	H+Al mmol L ⁻¹	SB mmol L ⁻¹	CTC mmol L ⁻¹	V %	S-SO ₄ mg dm ⁻³	m %	Areia g kg ⁻¹	Silte g kg ⁻¹	Argila g kg ⁻¹
0,00 – 0,20	3	15	4,8	1,8	7	5	19	13,6	32,5	42	1	10,8	765	116	119

Fonte: Bonini (2016).

Essa caracterização realizada em 2012, serviu de base para as correções do solo e adubações subsequentes, com a aplicação a lanço e incorporação de calcário dolomítico (PRNT 80%) na quantidade média de 1200 kg ha⁻¹, para elevação da saturação por bases a 70% e gesso agrícola em área total na quantidade de 600 kg ha⁻¹, visando fornecimento de enxofre às culturas, conforme recomendação do Boletim 100 (Raij *et al.* 1983) para o Estado de São Paulo. No preparo de solo foram realizados terraceamento, uma gradagem aradora, aração e gradagem niveladora.

10.1.1. Componente arbóreo

No final de 2012 e início de 2013 foram plantados os eucaliptos clone I-224, com perfil para produção de celulose, característica comercial da região. A área ocupada pelo eucalipto, foi calculada de acordo com o número de árvores de cada piquete (parcela experimental) e o espaçamento entre as árvores.

10.1.2. Produção da cultura da soja

Em dezembro de 2012, foi semeada a soja, cultivar BMX Potência, utilizando a semeadora Semeato modelo SAM 200 com quatro linhas, com densidade de 20 sementes por metro de sulco e espaçamento de 0,50m entrelinhas, totalizando 400.000 sementes ha. Foi realizado adubação de semeadura e de cobertura, além do controle de plantas daninhas, com aplicação de herbicida a base de Glyphosate – Zapp QI 620.

10.1.3. Produção da cultura do milho e pastagem

Em dezembro de 2013, foi semeado o capim *Urochloa brizantha* (Syn. *Brachiaria brizantha*) cv. Marandu, na densidade de 8 kg ha⁻¹ sementes puras e viáveis, plantadas com espaçamento de 0,20m. Após do plantio do capim, o milho semeado foi o híbrido BG 7049 (Biogene), as sementes foram tratadas com inseticida à base de thiametoxan (Cruiser 350) na

dosagem de 300 mL 100kg de sementes, o espaçamento foi de 0,80m entrelinhas. O milho foi colhido em março de 2014 na forma de silagem.

10.14 Manejo da pastagem e bovinocultura

Em dezembro de 2014 foi realizada a uniformização da forragem por meio de roçagem mecânica a 15cm de altura do solo, seguida de adubação nitrogenada de 40 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia. Em janeiro de 2015 os novilhos de corte da raça Nelore foram introduzidos na área, dando início ao pastejo. O método de pastejo adotado foi o de lotação contínua com taxa de lotação variável, utilizando a técnica de put and take (MOTT e LUCAS, 1952). Em cada piquete foram utilizados quatro animais “testers” e um número variável de 24 animais reguladores, conforme a necessidade de ajuste de taxa de lotação para manutenção da meta de manejo, que foi a altura média do relvado a 30 cm. A taxa de lotação foi calculada por meio do monitoramento das condições da pastagem nas parcelas experimentais, com intervalo entre as medições de sete dias. No mês de julho de 2016, foi o término do pastejo com a utilização dos animais.

A caracterização do histórico da área experimental dentro de uma visão histórica, está representada Figura 3, onde evidencia os processos descritos anteriormente.

Figura 3. Histórico da área experimental



(A)



(B)



(C)



(D)



(E)

(A) – Preparo do solo; (B) – Plantio do componente arbóreo e da soja; (C) – Plantio da cultura do milho e colheita da soja; (D, E) – Manejo da pastagem e bovinocultura. Elaboração do próprio autor

10.2. Delineamento experimental e tratamentos

A área total do experimento compreende 27 hectares, com aproximadamente 2 hectares por parcela, desenvolvido sob um delineamento de blocos casualizados. Os tratamentos distribuídos de forma aleatória em 4 blocos são: ILP – integração lavoura-pecuária, sem o componente arbóreo; ILPF1L – sistema agrossilvipastoril, com sombreamento de 1 linha de eucalipto, sendo a distância entre cada linha 17 a 21m e a distância entre plantas de 2m, com densidade de 200 árvores ha; ILPF3L - sistema agrossilvipastoril, com sombreamento de 3 linhas de eucalipto, sendo a distância entre os renques de eucalipto de 17 a 21m e a distância entre plantas de 2m, com densidade de 500 árvores ha; EUC - plantio exclusivo de eucalipto.

10.3. Avaliação e preparo das amostras do solo

Amostras indeformadas de solo foram coletadas nos anos de 2016 a 2018, nas camadas de 0-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20m, para a avaliação da densidade, porosidade do solo (macroporosidade e microporosidade e total), segundo Teixeira *et al.* (2017) e estabilidade de agregado em água, determinado pelo diâmetro médio ponderado, segundo a metodologia de Angers e Mehuys (2000).

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, com $p \leq 0,05$. Quando significativos, os parâmetros foram submetidos ao teste de Tukey ($p < 0,05$). A estatística utilizada foi parcela subdividida, desenvolvida no software livre R (R CORE TEAM, 2018), utilizando o pacote 'ExpDes.pt'. O tratamento deve ser testado sob o erro I (inter parcela) e a interação (tratamento x ano), deve ser testado sob o erro II (intra parcela).

11. RESULTADOS

A significância dos atributos avaliados pode ser observada nas Tabelas 6 e 7, que mostra a importância dos sistemas de cultivo, época e interação entre esses dois fatores.

Tabela 6 - Análise de variância da densidade e estabilidade de agregado do solo nas camadas estudadas. Andradina. Brasil 2016-2018.

Fontes de Variação	Ds 1 (g cm ⁻³)	Ds 2 (g cm ⁻³)	Ds 3 (g cm ⁻³)	Dmp 1 (mm)	Dmp 2 (mm)	Dmp 3 (mm)
Sistemas de Cultivo	.	**	Ns	*	*	*
Bloco	ns	Ns	Ns	Ns	Ns	ns
Ano	.	***	.	***	***	***
Interação	*	**	*	Ns	.	ns
CV 1 (%)	2,99	1,86	2,76	11,14	9,77	12,86
CV 2 (%)	2,65	2,09	2,62	13,63	13,87	12,05

ns, não significativo; p<0,1; * p<0.05; ** p<0.01; ***, p<0,001; CV 1 – Coeficiente de variação do tratamento; CV 2 – Coeficiente de variação da interação (tratamento x ano); Ds 1- Densidade do solo na camada de 0,00 – 0,05m; Ds 2- Densidade do solo na camada de 0,05 – 0,10m; Ds 3- Densidade do solo na camada de 0,10 – 0,20m; Dmp 1- Estabilidade de agregado na camada de 0,00 – 0,05m; Dmp 2- Estabilidade de agregado na camada de 0,05 – 0,10m; Dmp 3- Estabilidade de agregado na camada de 0,10 – 0,20m.

Tabela 7 - Análise de variância de macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo nas camadas estudadas. Andradina. Brasil 2016-2018.

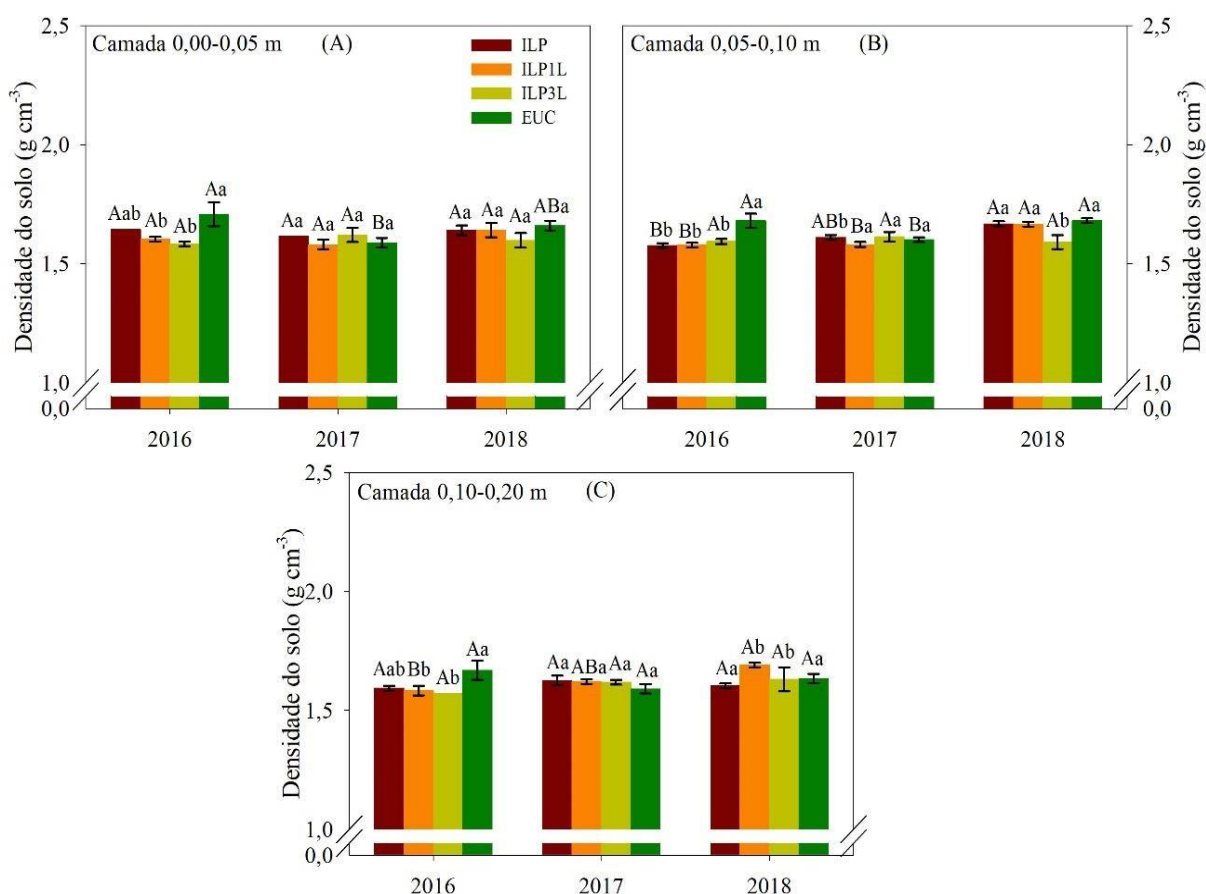
Fontes de Variação	Ma 1 (%)	Ma 2 (%)	Ma 3 (%)	Mi 1 (%)	Mi 2 (%)	Mi 3 (%)	Pt 1 (%)	Pt 2 (%)	Pt 3 (%)
Sistemas de Cultivo	***	**	.	*	**	**	ns	.	ns
Bloco	Ns	ns	Ns	Ns	Ns	ns	ns	ns	ns
Ano	*	***	***	***	***	***	***	***	***
Interação	Ns	ns	.	***	.	**	**	.	***
CV 1 (%)	11,38	25,47	25,09	14,36	10,21	10,64	11,24	6,65	10,29
CV 2 (%)	22,30	17,58	26,04	12,24	13,37	12,20	9,37	9,43	7,69

ns, não significativo; . p<0,1; * p<0.05; ** p<0.01; ***, p<0,001; CV 1 – Coeficiente de variação do tratamento; CV 2 – Coeficiente de variação da interação (tratamento x ano); Ma 1- Macroporosidade na camada de 0,00 – 0,05m; Ma 2- Macroporosidade na camada de 0,05 – 0,10m; Ma 3- Macroporosidade na camada de 0,10 – 0,20m; Mi 1- Microporosidade na camada de 0,00 – 0,05m; Mi 2- Microporosidade na camada de 0,05 – 0,10m; Mi 3- Microporosidade na camada de 0,10 – 0,20m; Pt 1- Porosidade total na camada de 0,00 – 0,05m; Pt 2- Porosidade total na camada de 0,05 – 0,10m; Pt 3- Porosidade total na camada de 0,10 – 0,20m.

11.1 Densidade do solo

A densidade do solo, apresentou interação entre os fatores avaliados (sistemas de cultivo x anos) a Figura 8, apresenta valores semelhantes nos anos avaliados, quando se refere aos sistemas de cultivo, sendo determinado em torno de 1,5 a 1,7 g cm⁻³, sendo o eucalipto o tratamento com valor mais elevado, os tratamentos que utilizam integração tiveram comportamentos equivalentes nos respectivos anos e camadas avaliadas.

Figura 8 - Densidade do solo, Andradina – SP. Brasil. 2016-2018.



Camadas do solo de 0,00-0,05m (A), 0,05-0,10m (B), 0,10-0,20m (C), os respectivos tratamentos e anos avaliados. Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam os tratamentos, enquanto letras minúsculas comparam os anos. Barras na vertical representam o erro padrão.

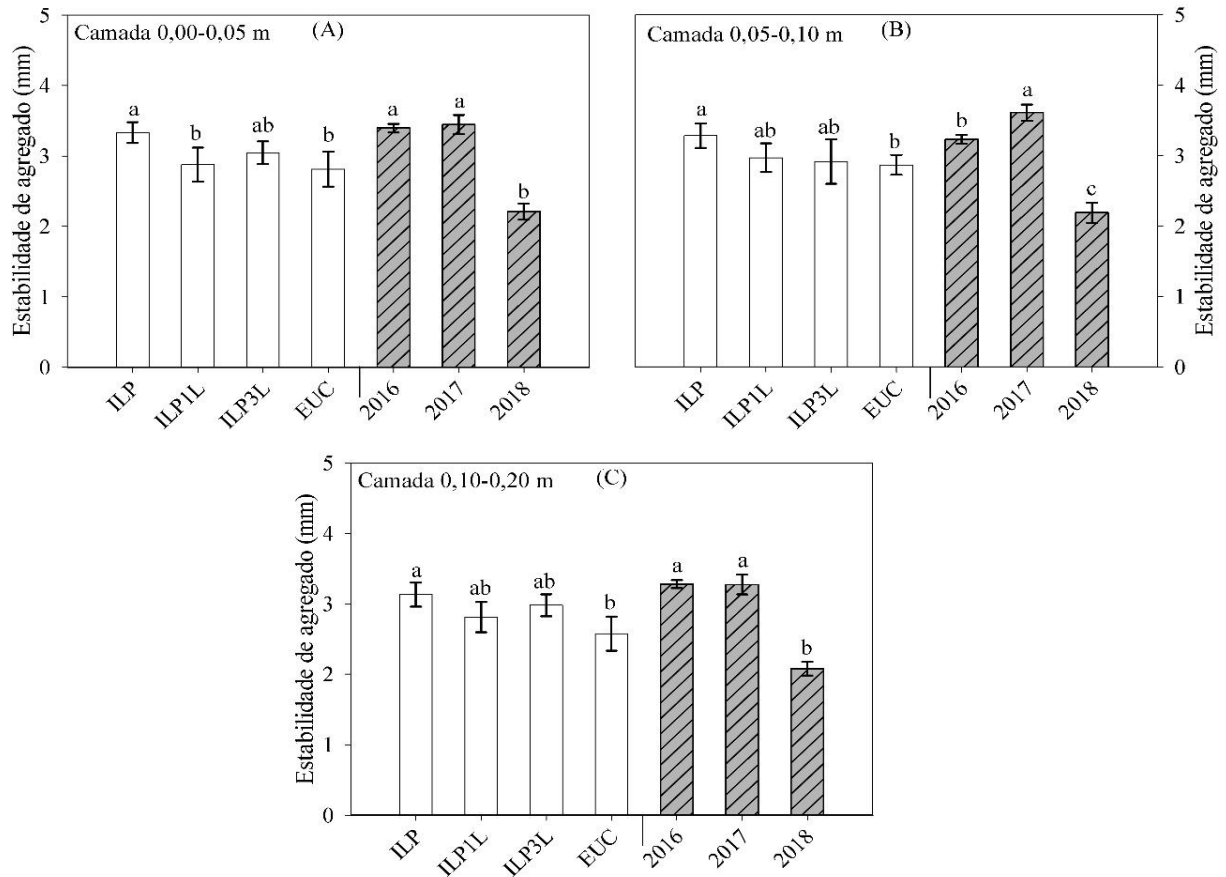
Elaboração do próprio autor

11.2 Estabilidade de agregado

A estabilidade de agregado, não apresentou interação entre os fatores avaliados (sistemas de cultivo x anos), a Figura 9 apresenta as respectivas médias de cada fator nas

camadas. Com relação aos anos, 2016 e 2017 obtiveram maiores valores atingindo até 3,6 mm, em 2018 os valores atingiram até 2,2 mm. Os sistemas de cultivo tiveram resultados semelhantes no atributo avaliado, o ILP com valor de até 3,3 mm e o EUC com até 2,5 mm

Figura 9 - Estabilidade de agregado do solo, Andradina – SP. Brasil. 2016-2018.



Camadas do solo de 0,00-0,05m (A), 0,05-0,10m (B), 0,10-0,20m (C), os respectivos tratamentos e anos avaliados. Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam os tratamentos, enquanto letras minúsculas comparam os anos. Barras na vertical representam o erro padrão.

Elaboração do próprio autor

11.3 Porosidade do solo

A porosidade do solo, compreende a quantificação da macroporosidade e microporosidade, apresentada na Tabela 8, no qual evidencia a interação dos fatores (sistemas de cultivo x anos) para microporosidade nas camadas de 0-0,05 e 0,10-0,20m e as médias isoladas (sem interação), para macroporosidade nas camadas de 0-0,05, 0,5-0,10, 0,10-0,20m e microporosidade na camada de 0,05-0,10m.

Tabela 8 - Macroporosidade e microporosidade do solo estudado. Andradina – SP. Brasil. 2016-2018.

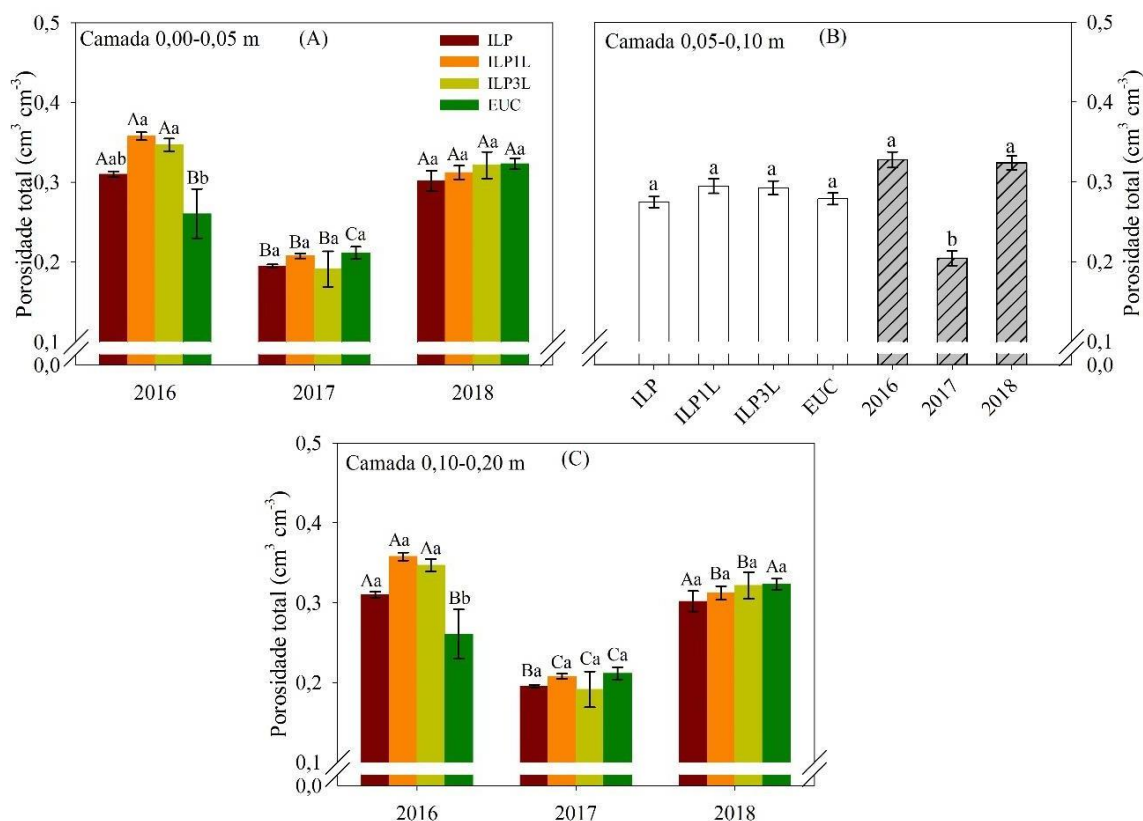
		Macroporosidade ($\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$)			Microporosidade ($\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$)		
Camadas (m)		Ano		Média	Ano		Média
		2016	2017	2018	2016	2017	2018
0 -0,05	ILP			6,27b	24,81Aa	13,90Ba	23,04Aa
	ILPF1L			9,12a	25,87Aa	12,54Ba	23,14Aa
	ILPF3L			8,99a	24,19Aa	12,28Ba	22,03Aa
	EUC			9,83a	14,94Bb	12,73Ba	22,15Aa
	Média	9,35^a	7,43b	8,87ab			
0,05-0,10	ILP			6,91b			20,54a
	ILPF1L			9,25ab			20,42a
	ILPF3L			8,90ab			20,25a
	EUC			11,71a			16,20a
	Média	9,31b	7,35c	10,91a	23,62a	12,99b	21,46a
0,10-0,20	ILP			7,91a	25,63Aa	13,28Ca	21,47Ba
	ILPF1L			8,29a	26,10Aa	11,97Ba	22,50Aa
	ILPF3L			9,23a	24,17Aa	13,82Ba	21,18Aa
	EUC			10,74a	16,03Bb	12,14Ba	20,18Aa
	Média	10,27a	6,93b	9,94a			

Camadas do solo de 0,00-0,05m, 0,05-0,10m, 0,10-0,20m, os respectivos tratamentos e anos avaliados. Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam os tratamentos, enquanto letras minúsculas comparam os anos.

Elaboração do próprio autor

A porosidade total na Figura 10, evidencia que os valores nas camadas de 0-0,05 e 0,10-0,20m apresentou interação entre os fatores (sistemas de cultivo x anos), com valores mais homogêneos no ano de 2018 e heterogêneos em 2016, evidenciando valores mais elevados nos sistemas de integração com até $0,35 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. A camada de 0,05-0,10m não apresentou interação entre os fatores, com relação aos sistemas de cultivo os valores foram semelhantes entre $0,29 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ no ILPF1L e $0,27 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ no ILP. Entre os anos o maior valor foi de 2016 com $0,32 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ e o menor em 2017 com $0,20 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$.

Figura 10 – Porosidade total do solo, Andradina – SP. Brasil. 2016-2018



Camadas do solo de 0,00-0,05m (A), 0,05-0,10m (B), 0,10-0,20m (C), os respectivos tratamentos e anos avaliados. Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam as linhas, enquanto letras minúsculas comparam as colunas. Barras na vertical representam o erro padrão.

Elaboração do próprio autor.

12. DISCUSSÃO

A densidade do solo é um atributo que determina o volume ocupado pelas partículas do solo, no qual depende da estrutura e manejo da área, o que permite variações para o mesmo tipo de solo (BONINI; ALVES, 2012).

A pressão exercida sobre o solo é o agente causador da compactação, em sistemas de integrados com pastejo entretanto, a camada de palha na superfície do solo é grande atenuador desse efeito, fato que deve ser considerado em sistemas conservacionistas. (COSTA *et al.*, 2015).

Segundo Silva *et al.* (2016), o aumento da densidade do solo implica geralmente na redução da aeração do solo, com uma diminuição da macroporosidade e estabilidade de agregado. O tratamento EUC, apresentou maior valor de densidade, conseqüentemente menor

macroporosidade e menor estabilidade de agregados, enquanto tratamento que utilizam integração obteve menor valor de densidade e maior agregação.

Comportamento semelhante foi encontrado por Costa *et al.* (2015), utilizando tratamentos com integração verificou uma redução da densidade com incremento na macroporosidade e porosidade total, tanto nas camadas superficiais, como nas subsuperficiais.

Os valores de densidade obtidos estão próximos do considerado ideal por Kiehl (1979) que afirma o valor ideal para solo de textura média a arenosa entre a faixa de 1,25 a 1,40 g cm⁻³, visto que o tratamento ILPF3L, foi o mais próximo do limite superior médio.

De acordo com Costa *et al.* (2015), quanto maior a densidade menor a porosidade total, tal fato se deve ao histórico da área a ao tempo de adoção do sistema integrado, o que corrobora com o resultado encontrado no tratamento EUC no ano de 2016. O efeito dos tratamentos ao longo do tempo para agregação do solo, mostra uma redução, possivelmente pelo efeito acumulativo devido ao pastejo, corroborando com os resultados de densidade.

A porosidade total do solo no ano de 2017, apresentou menor valor devido a uma redução significativa do regime hídrico na área Figura 10, o que altera o comportamento da microporosidade e influencia diretamente na dinâmica da água no sistema solo-planta. De acordo com Padrón *et al.* (2015), a variação no armazenamento de água do solo, pode estar relacionada à estrutura e composição dos materiais, mudanças na quantidade, distribuição e tamanho dos poros, uma vez que os microporos são importantes na manutenção da umidade.

13. CONCLUSÃO

Os SIPAs melhoram ou mantêm a qualidade do solo, modificações significativas foram encontradas ao longo do tempo na densidade do solo no tratamento ILPF3L, estabilidade de agregado o ILP e para a porosidade total do solo, com destaque aos tratamentos que utilizam integração ILP, ILPF1L e ILPF3L.

14. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os sistemas integrados de produção agropecuária melhoram ou mantem a qualidade do solo, com influência positiva nos atributos do solo estudados.

Os tratamentos ILP, seguido do ILPF1L e ILP3L foram destaques para a infiltração de água no solo, porosidade total, densidade e agregação do solo, ao longo do tempo.

Os usos de sistemas integrados não influenciaram negativamente a resistência mecânica a penetração do solo.

REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, R. C.; SILOA, V. P.; NETOE, M. M. G.; VIANA, M. C. M.; VIVELAS, L. Sistema Integração lavoura-Pecuária-Floresta: condicionamento do solo e intensificação da produção de lavouras. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 31, n. 257, p. 59-67, 2010.
- ANGERS, D. A. ; MEHUYS, G. R. Aggregate stability to water. In: CARTER, M.R. **Soil sampling and methods of analysis**. Boca Raton: Canadian Society of Soil Science/Lewis Publishers, 2000.
- ASSIS, E. B.; NUNES, M. C. M.; APARECIDO, M. A.; JUNIOR, S. S.; SERAFIM, M. E. Resistência à penetração em Argissolo Vermelho-Amarelo sob pousio e diferentes culturas de cobertura. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.10, p. 1668-1677, 2014.
- ASSIS, R. L.; LAZARINI, G. D.; LANÇAS, K. P.; CARGNELUTTI FILHO, A. Avaliação da resistência do solo à penetração em diferentes solos com a variação do teor de água. **Engenharia Agrícola**. v. 29, p. 558–568, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162009000400006>. Acesso em: 15 dez. 2019.
- BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. O.; STONE, L. F. **Marco referencial: integração lavoura-pecuária-floresta**. Brasília: Embrapa, 2011.
- BLANCO, H.; LAL, R. **Principles of soil conservation and management**. Columbus: Springer, 2008. p. 167-169.
- BLANCO-CANQUI, H.; RUIS, S. J. No-tillage and soil physical environment. **Geoderma**, v. 326, p.164-200, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.03.011>. Acesso em: 12 nov. 2019.
- BONETTI, J. A.; ANGHINONI, I.; GUBIANI, P. I.; CECAGNO, D.; MORAES, M. T. Impact of a long-term crop-livestock system on the physical and hydraulic properties of an Oxisol. **Soil And Tillage Research**, Amsterdam, v. 186, p. 280-291, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2018.11.003>. Acesso em: 30 nov. 2019.
- BONETTI, J. A.; ANGHINONI, I.; MORAES, M. T.; FINK, J. R. Resilience of soils with different texture, mineralogy and organic matter under long-term conservation systems. **Soil And Tillage Research**, Amsterdam, v. 174, p.104-112, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2017.06.008>. Acesso em: 25 jun. 2018.
- BONINI, C. S. B., ALVES, M. C. Recovery of soil physical properties by green manure, liming, gypsum and pasture and spontaneous native species. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 4, p. 1397-1406, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832011000400034>. Acesso em: 12 nov. 2019.
- BONINI, C. S. B.; LUPATINI, G. C.; ANDRIGHETTO, C.; MATEUS, G. P.; HEINRICHS, R.; ARANHA, A. S.; SANTANA, E. A. R.; MEIRELLES, G. C. Produção de forragem e atributos químicos e físicos do solo em sistemas integrados de produção agropecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 51, n. 9, p. 1695-1698, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2016000900070>. Acesso em: 20 nov. 2019.

BONINI, C. S. B.; ALVES, M. C. Qualidade física de um Latossolo Vermelho em recuperação há dezessete anos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 4, p. 329-336, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662012000400001>. Acesso em: 15 out. 2019.

BORGES, W. L. B.; CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. Impact of crop-livestock-forest integration on soil quality. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, p. 1-9, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s10457-018-0329-0>. Acesso em: 12 out. 2019.

BRAIDA, J. A.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M. Matéria orgânica e seu efeito na física do solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 7, p. 221-278, 2011.

BRANDÃO, V. S.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. **Infiltração de água do Solo**. 3. ed. Viçosa: Ed. da UFV, 2012.

BRASIL. Congresso. Câmara dos Deputados. **Lei nº 12.805, de 29 de abril de 2013**. Brasília, 30 abr. 2013. Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2013/lei-12805-29-abril-2013-775877-publicacaooriginal-139664-pl.html>. Acesso em: 12 ago. 2019.

BREVIK, E. C.; CERDA, A.; MATAIX-SOLERA, J.; PEREG, L.; QUINTON, J. N.; SEIS, J.; VAN OOST, K. The interdisciplinary nature of soil. **Soil**, Goettingen, v. 1, n. 1, p. 117-129, 16, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5194/soil-1-117-2015>. Acesso em: 12 jul. 2019.

BÜNEMANN, E. K.; BONGIORNO, G.; BAI, Z.; CREAMER, R. E.; DEYN, G. D.; GOEDE, R.; FLESSENS, L.; GEISSEN, V.; KUYPER, T. W.; MADER, P.; PULLEMAN, M.; SUKKEL, W.; GROENIGEN, J. W. V.; BRUSSAARD, L. Soil quality – a critical review. **Soil Biology And Biochemistry**, Oxford, v. 120, p. 105-125, 2018.

BUNGENSTAB, D. J. **Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta: a produção sustentável**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2012.

BUNGENSTAB, D. J.; ALMEIDA, R. G.; LAURA, V. A.; BALBINO, L. C.; FERREIRA, A. D. **ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta**. Brasília, DF: Embrapa, 2019.

BUSARI, M. A.; KUKAL, S. S.; KAUR, A.; BHATT, R.; DULAZI, A. A. Conservation tillage impacts on soil, crop and the environment. **International Soil And Water Conservation Research**, Beijing, v. 3, n. 2, p.119-129, 2015.

CANARACHE, A. Penetr-a generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 16, p. 51-70, 1990.

CIIAGRO. Centro integrado de informações agrometeorológicas. **Mapas da resenha agrometeorológica**. Andradina, SP. Disponível em: <http://www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline/>. Acesso em: 12 jun. 2019.

COSTA, M. P.; SCHOENEBOOM, J. C.; OLIVEIRA, S. A.; VIÑAS, R. S.; MEDEIROS, G. A. A socio-eco-efficiency analysis of integrated and non-integrated crop-livestock-forestry systems in the Brazilian cerrado based on LCA. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 171, p. 1460-1471, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.063>. Acesso em: 25 jun. 2019.

COSTA, N. R. Atributos do solo e acúmulo de carbono na integração lavoura-pecuária em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, p. 852-863, 2015.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; LOPES, K. S. M.; YOKOBATAKE, K. L.; FERREIRA, J. P.; PARIZ, C. M.; BONINI, C. S. B.; LONGHINI, V. Z. Atributos do Solo e Acúmulo de Carbono na Integração Lavoura-Pecuária em Sistema Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, p. 852-863, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/01000683rbc20140269>. Acesso em: 20 jun. 2019.

EDWARDS, C. A. The importance of integration in sustainable agricultural systems. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 27, n. 1-4, p.25-35, 1989.

FRANCO, F. O. **Disponibilidade de fatores de produção e desempenho agrônomo de culturas em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta**. 2017. 123 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2017. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/148883/franco_fo_dr_jabo.pdf?sequence=3&isAllowed=y. Acesso em: 15 ago. 2019.

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

GIL, J.; SIEBOLD, M.; BERGER, T. Adoption and development of integrated crop–livestock–forestry systems in Mato Grosso, Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 199, p. 394-406, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2014.10.008>. Acesso em: 15 mar. 2019.

GILLER, K. E.; ANDERSON, J. A.; COBEELS, M.; KIRKEGEERD, J.; MONTEBSEN, D.; ERENSTEIN, O.; VANLAUWE, B. Beyond conservation agriculture. **Frontiers In Plant Science**, Lausanne, v. 6, p. 1-14, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2015.00870>. Acesso em: 25 abr. 2019.

GLIŃSKI, J.; LIPIEC, J. **Soil physical conditions and plant roots**. Boca Raton: CRC, 1990.

HENDRICKSON, J.; HANSON J. D.; TANAKA, D. L.; SASSENATH, G. Principles of integrated agricultural systems: Introduction to processes and definition. **Renewable Agriculture And Food Systems**, Cambridge, v. 23, n. 04, p.265-271, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Produção da pecuária municipal**. Rio de Janeiro: IBGE, 2016.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: relação solo planta**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1979. KLAR, A. E. **A água no sistema solo-planta-atmosfera**. 2. ed. São Paulo: Nobel, 1988.

KLEIN, V. A. **Física do solo**. 3. ed. Passo Fundo: UPF, 2014. 263 p.

LEMAIRE, G.; FRANZLUEBBERS, A.; CARVALHO, P. C. F.; DEDIEU, B. Integrated crop–livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 190, p.4-8, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2013.08.009>. Acesso em: 12 nov. 2019.

LIU, J.; MOONEY, H.; HULL, V.; DAVIS, S. J.; GASKELL, J.; HERTEL, T.; LUBCHENCO, J.; SETO, K. C.; GLEICK, P.; KREMEN, C.; LI, S. Systems integration for global sustainability. **Science**, Washington, v. 347, n. 6225, p. 1258832-1258832, 2015.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO, S. G.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, n.10, p. 1269-1276, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2011001000022>. Acesso em: 12 set. 2019.

LUO, Y.; AHLSTRÖM, A.; ALLISON, S. D.; BATJES, N. H.; BROVKIN, V.; CARVALHAIS, N.; CHAPPELL, A.; CIAIS, P.; DAVIDSON, E. A.; FINZI, A.; GEORGIU, K.; GUENET, B.; HARARUK, O.; HARDEN, J. W.; HE, Y.; HOPKINS, F.; JIANG, L.; KOVEN, C.; JACKSON, R. B.; JONES, C. D.; LARA, M. J.; LIANG, J.; MCGUIRE, A. D.; PARTOB, W.; PENG, C.; RANDERSON, J. T.; SALAZAR, A.; SIERRA, C. A.; SMITH, M. J.; TIAN, H.; TODD-BROWN, K. E. O.; TORN, M.; GROENIGEN, K. J. V.; WANG, Y. P.; WEST, T. O.; WEI, Y.; WIEDER, W.; XIA, J.; XU, X.; XU, X.; ZHOU, T. Toward more realistic projections of soil carbon dynamics by Earth system models. **Global Biogeochemical Cycles**, Hoboken, v. 30, n. 1, p.40-56, 2016.

MARCHINI, D. **Agregação de um Latossolo em recuperação após 5 anos**. 2012. 68 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2012. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/98793/marchini_dc_me_ilha.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 12 ago. 2019.

MARCHINI, D. C., LING, T. C., ALVES, M. C., CRESTANA, S., SOUTO FILHO, S. N., ARRUDA, O. G, 2015. Matéria orgânica, infiltração e imagens tomográficas de Latossolo em recuperação sob diferentes tipos de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, p. 574–580, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n6p574-580>. Acesso em: 12 ago. 2019.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. **Plano agrícola e pecuário 2017-2018**. Brasília: MAPA, 2017. 46 p. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/plano-agricola-e-pecuario/arquivos-pap/PAP1718.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2019.

MORAES, A.; CARVALHO, P. C. F.; ANGHINONI, I.; LUSTOSA, S. B. C.; COSTA, S. E. V. G. A.; KUNRATH, T. R. Integrated crop–livestock systems in the Brazilian subtropics. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 57, p. 4–9, 2014a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.10.004>. Acesso em: 12 jun. 2018.

MORAES, A.; CARVALHO, P. C. F.; LUSTOSA, S. B. C.; LANG, C. R.; DEISS, L. Research on integrated crop-livestock systems in Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 45, p. 1024 – 1031, 2014b. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902014000500018>. Acesso em: 12 nov. 2018.

MORAES, M. T.; DEBIASI, H.; CARLESSO, R.; FRANCHINI, J. C.; SILVA, V. R.; LUZ, F. B. Soil physical quality on tillage and cropping systems after two decades in the subtropical region of Brazil. **Soil And Tillage Research**, Amsterdam, v. 155, p. 351-362, 2016.

Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2015.07.015>. Acesso em: 12 maio 2019.

MOTT, G. O.; LUCAS, H. L. The design, conduct and interpretation of grazing trials in cultivated and improved pastures. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 6., 1952, Pasadena. **Proceedings o the [...]**. Pasadena: Pennsylvania State College Press, 1952. p. 1380-1385.

MUNKHOLM, L. J.; HECK, R. J.; DEEN, B.; ZIDAR, T. Relationship between soil aggregate strength, shape and porosity for soils under different long-term management. **Geoderma**, Amsterdam, v. 268, p. 52-59, 2016. Disponível em:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.01.005>. Acesso em: 20 jun. 2019.

NAIK, A. P.; GHOSH, B.; PEKKAT, S. Estimating soil hydraulic properties using mini disk infiltrometer. **ISH Journal of Hydraulic Engineering**. Abingdon, v. 25, p. 62–70, 2019.

Disponível em: <https://doi.org/10.1080/09715010.2018.1471363>. Acesso em: 12 nov. 2019.

NASCIMENTO, D. M.; CAVALIERI-POLIZELI, K. M. V.; SILVA, A. H.; FAVARETTO, N.; PARRON, L. M. Soil physical quality under long-term integrated agricultural production systems. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 186, p. 292–299, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.08.016>. Acesso em: 02 set. 2019.

PADRON, R. A. R.; NOGUEIRA, H. M. C. M.; CERQUERA, R. R.; ALBINO, G. D.; NOGUEIRA, C. U. Caracterização físico-hídrica do solo argissolo amarelo para estabelecimento de projeto e manejo da irrigação. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 4, p. 36-47, 2015.

PALM, C.; BLANCO-CANQUI, H.; DECLERCK, F.; GATERE, L.; GRACE, P. Conservation agriculture and ecosystem services: an overview. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 187, p. 87-105, 2014. Disponível em:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2013.10.010>. Acesso em: 18 jun. 2018.

R CORE TEAM. A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria, 2018.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J. A. **Métodos de análises de solo para fins de fertilidade**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1983. Boletim técnico, 81.

SALTON, J. C.; MERCANTE, F. M.; TOMAZI, M.; ZANATTA, J. A.; CONCENÇO, G.; SILVA, W. M.; RETORE, M. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 190, p. 70-79, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2013.09.023>. Acesso em: 25 jun. 2019.

SANTANA, E. A. R.; ANDRIGHETTO, C.; MATEUS, G. P.; ARANHA, A. S.; LUPATINI, G. C.; MEIRELLES, P. R. L.; ARANHA, H. S.; SANTOS, J. M. F.; LUZ, P. A. C.; TRIVELIN, G. A. Padrão de deslocamento de bovinos nelore em sistemas integrados de produção agropecuária. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 71, n. 1, p. 353- 356, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4162-9864>. Acesso em: 30 nov. 2019.

SANTOS, H. G.; JOCOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBREARAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C. ; OLIVEIRA, J. B. CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2018.

SIDIRAS, N.; ROTH, C. H. **Medições de infiltração com infiltrômetro e um simulador de chuva em Latossolo Roxo Distrófico, Paraná, sob vários tipos de cobertura do solo e sistemas de preparo**. Londrina: Instituto Agrônômico do Paraná, 13, 1984.

SILVA, A. R.; SALES, A.; VELOSOS, C. A. C. Atributos físicos e disponibilidade de carbono do solo em sistemas de integração LavouraPecuária-Floresta (ILPF), Homogêneo e Santa Fé, no estado do Pará, Brasil. **Agropecuária Técnica**, v. 37, n. 1, P. 96-104, 2016. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/147458/1/Agrotec2016.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2019.

SILVA, M. H. M.; FRANTZ, R. M. G.; SANTOS, E. F. O.; FORTES JÚNIOR, A. V.; ARTNER, K. A. R.; SOARES, E. R.; NOGUEIRA, A. E. Soil structural quality as a function of management in an integrated agricultural production system. **Agroecossistemas**, v. 10, n. 1, 10, p.99 – 114, 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufpa.br/index.php/agroecossistemas/article/view/5208/4983>. Acesso em: 18 set. 2019.

SIVARAJAN, S.; MAHARLOOEI, M.; BAJWA, S. G.; NOWATZKI, J. Impact of soil compaction due to wheel traffic on corn and soybean growth, development and yield. **Soil And Tillage Research**, Amsterdam, v. 175, p.234-243, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2017.09.001>. Acesso em: 15 jun. 2019.

SOUZA, J. F. D.; PERUSSO, R. L. S.; BONINI, C. S. B.; SOUZA, C. T.; LUPATINI, G. C.; ANDRIGHETTO, C.; MATEUS, G. P.; PEDRO, F. G. Atributos físicos, matéria orgânica do solo e produção de Capim Marandu em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta. **Revista Brasileira de Engenharia de Biossistemas**, Tupã, v. 13, n. 1, p. 51-64, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18011/bioeng2019v13n1p51-64>. Acesso em: 30 nov. 2019.

STOESSEL, F.; SONDEREGGER, T.; BAYER, P.; HELLWENG, S. Assessing the environmental impacts of soil compaction in Life cycle assessment. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 630, p. 913–921, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.222>. Acesso em: 25 jun. 2019.

SULC, R. M.; FRANZLUEBBERS, A. J. Exploring integrated crop–livestock systems in different ecoregions of the United States. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 57, p. 21–30, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.10.007>. Acesso em: 20 jun. 2018.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017.

VAN RAIJ, B. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011.

ZHANG, R. Determination of soil sorptivity and hydraulic conductivity from the disk infiltrometer. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 61, p. 1024-1030, 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.2136/sssaj1997.03615995006100040005x>. Acesso em: 18 jun. 2018.