



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

RAFAEL SORIANI

**ÍNDICE DE QUALIDADE ESTRUTURAL DO SOLO E SUA
RELAÇÃO COM ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM LATOSSOLO
VERMELHO**

Londrina
2020

RAFAEL SORIANI

**ÍNDICE DE QUALIDADE ESTRUTURAL DO SOLO E SUA
RELAÇÃO COM ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM LATOSSOLO
VERMELHO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina - UEL, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maria de Fátima Guimarães

Coorientador: Dr. Henrique Debiasi

Londrina
2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

S714i Soriani, Rafael.
Índice de qualidade estrutural do solo e sua relação com atributos físicos de um Latossolo / Rafael Soriani. - Londrina, 2020.
71 f. : il.

Orientador: Maria de Fátima Guimarães.
Coorientador: Henrique Debiasi.
Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2020.
Inclui bibliografia.

1. Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo - Tese. 2. Qualidade Física - Tese. 3. Plantio Direto - Tese. 4. Plantio Direto Escarificado - Tese. I. Guimarães, Maria de Fátima . II. Debiasi, Henrique . III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU 63

RAFAEL SORIANI

**ÍNDICE DE QUALIDADE ESTRUTURAL DO SOLO E SUA RELAÇÃO
COM ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina - UEL, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

Orientadora: Profa. Dra. Maria de Fátima Guimarães
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Dr. Henrique Debiasi
Embrapa Soja

Dr. Julio Cezar Franchini dos Santos
Embrapa Soja

Dr. Osmar Conte
Embrapa Soja

Londrina, 28 de fevereiro de 2020.

Dedico este trabalho à Deus, minha família, namorada, aos orientadores, professores, amigos, ao CNPq e a todos os colaboradores da UEL e EMBRAPA SOJA.

AGRADECIMENTOS

À Deus pela vida, pela força, pela proteção, inspiração, por tudo de bom que tem me proporcionado na minha profissão de Engenheiro Agrônomo, e por ter colocado pessoas espetaculares no meu caminho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina (UEL), aos coordenadores, colaboradores, e corpo docente que enquanto professores expandiram meus conhecimentos, principalmente em manejo sustentável do solo.

A Embrapa Soja e todos os colaboradores pela oportunidade de ter desenvolvido este projeto de dissertação, por toda estrutura e apoio proporcionado. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de mestrado, fundamental para o desenvolvimento deste projeto.

Ao Pesquisador/Coorientador na Embrapa Soja Dr. Henrique Debiasi, pela confiança para eu desenvolver esta dissertação e por tantas outras oportunidades disponibilizadas, que se não fosse pelo seu apoio não estaria obtendo o título de mestre nesta universidade, agradeço também pela paciência e dedicação, pelos valiosos conhecimentos transmitidos, pela amizade e companheirismo, com certeza é um exemplo de profissional e competência.

A Professora/Orientadora Dra. Maria de Fátima Guimarães pela dedicação, carinho e paciência em me orientar, por todo conhecimento transmitido, e que se não fosse ela também não estaria concluindo esta etapa, parabênico por ser um exemplo de Professora dentro e fora da Universidade.

Aos Pesquisadores da Embrapa Soja Dr. Julio Cezar Franchini dos Santos, Dr. Alvadi Antônio Balbinot Junior e Dr. Osmar Conte por todo apoio, dedicação e considerações nesta dissertação. Aos professores da UEL Dr. Ricardo Ralisch e Dra. Adriana Pereira da Silva pelas considerações e apoio. E ao Dr. João Tavares Filho.

Aos meus maiores exemplos de vida, em especial que são meus pais Maria Aparecida e Aldemar, minha avó materna Maria, pela vida, amor, carinho, incentivo e muita dedicação a mim, pelas orações e por sempre estarem do meu lado, aconteça o que acontecer.

Em especial a minha eterna namorada Mariana Cristina Bianconi, que está sempre ao meu lado, nos momentos bons e ruins. Obrigado pela dedicação e todo apoio nesta dissertação, pela paciência nos meus momentos de ausência. E a todos os demais integrantes das Famílias Cruz, Soriani e Bianconi.

Aos colaboradores da Embrapa Soja da Área de manejo do solo que sempre me ajudaram nas orientações, coletas e análises, que são em especial: Donizete Aparecido Loni, Mariluci da Silva Pires, Dr. Esmael Lopes dos Santos, Luiz Gustavo Garbelini, Ildelfonso Acosta Carvalho, Agostinho Aparecido da Silva, Everson Balbino, Antônio Aparecido Jacobino, João Ribeiro de Macedo (in memoriam), Joviano Jacson Kleinert, Mariana Gomes Germano Silva, Fernanda Ramos de Andrade e todos os demais funcionários de campo e apoio.

Ao Gabriel Danilo Shimizu por toda paciência, colaboração e ensinamentos nas análises estatísticas, sempre disposto a fazer o melhor possível, meus sinceros agradecimentos.

A todos os meus amigos da Pós-graduação da UEL e aos estagiários da Embrapa Soja, que ao longo desta caminhada com companheirismo me apoiaram, incentivaram ou ajudaram de alguma forma nas coletas dos dados e análises, em especial: Amanda Letícia Pit Nunes, Ângelo Rafael, Antonio Eduardo Coelho, Caroline Honorato Rocha, Gislaine Silva Pereira, Gustavo Vieira, Jhenifer Passos, Luigi Antonio, Paulo Sérgio de Santana, Rafael Andrade, Rayane Vendrame da Silva, Reinaldo Cordeiro, Rodrigo Marubayashi, Smaylla El Kadri Ceccato, Wellington Favarim, Tiago Carraschi Cyrino, meus sinceros agradecimentos.

Meus eternos agradecimentos.

“O segredo da vida é o solo, porque do solo dependem as plantas, a água, o clima e a nossa vida. Tudo está interligado. Não existe ser humano sadio se o solo não for sadio.” – Ana Primavesi.

SORIANI, Rafael. **Índice de qualidade estrutural do solo e sua relação com atributos físicos de um Latossolo**. 2020. 71 folhas. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2020.

RESUMO

O Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES) pode auxiliar na compreensão dos efeitos do manejo sobre a qualidade estrutural do solo, de forma rápida e com baixo custo. O objetivo foi realizar a correlação do Índice Estrutural da Qualidade do Solo (IQES) pelo DRES, com métodos convencionais de avaliação da qualidade física de um Latossolo Vermelho distroférico; avaliar a estrutura do solo em diferentes manejos utilizando o IQES; Densidade do Solo (DS), porosidade, Resistência do solo à Penetração (RP) e, Infiltração de água no solo, em diferentes manejos; Verificar as correlações entre o IQES e os atributos físicos, bem como os efeitos dos manejos na qualidade do solo. O experimento foi desenvolvido na Embrapa Soja. O delineamento experimental foi realizado em 4 blocos casualizados (DBC), em parcelas de 75 m². Os tratamentos consistem em: Plantio Direto (PD); Plantio Direto Compactado (PDC); Plantio Direto Escarificado (PDE); Plantio Direto Escarificado Compactado (PDEC). A compactação foi realizada com trator 4x2 TDA com massa de 8,5 Mg, pneus traseiros 18.4-34R e dianteiros 11.00-22R. As parcelas foram trafegadas com trator por 10 vezes, sobre o mesmo rasto de pneu, com velocidade média de 5 km/h de deslocamento, com o solo em condição de umidade plástica. As metodologias de avaliação dos atributos morfológicos e físicos do manejo do solo: IQES obtido pelo DRES, RP, DS, porosidade e a produtividade do milho nos manejos do solo, PD, PDC, PDE e PDEC, foram correlacionados por gráficos com matriz de correlação, através do coeficiente de Pearson, também utilizou-se a análise de componentes principais. As médias das variáveis foram comparadas pelo teste t de Student (LSD) (p<0,05). O manejo PD apresentou IQES boa, devido à predominância de agregados com tamanhos e feições de conservação. O PDE obteve IQES ruim, pois houve uma predominância de agregado desestruturados, o que denota degradação. O PDC e PDEC apresentaram IQES muito ruim, por causa da presença de agregados com tamanho e características de compactação. O IQES obteve correlações negativas com a RP, DS e MICRO e correlações positivas significativas com MACRO, PTC E PROD MILHO. Nas correlações entre a PROD MILHO e os atributos físicos e morfológicos, destaca-se como correlações negativas com a RP, DS e MICRO e correlações positivas entre MACRO e PTC. O DRES demonstrou ser uma metodologia eficiente na identificação de camadas compactadas ou desestruturadas, podendo contribuir na sustentabilidade da produção agrícola.

Palavras-chave: Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo. Qualidade Física. Plantio Direto. Plantio Direto Escarificado. Compactação.

SORIANI, Rafael. **Índice de qualidade estrutural do solo e sua relação com atributos físicos de um Latossolo**. 2020. 71 folhas. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2020.

ABSTRACT

The Rapid Diagnosis of Soil Structure (DRES) can help to understand the effects of management on the structural quality of the soil, quickly and at low cost. The objective was to perform the correlation of the Structural Soil Quality Index (IQES) by DRES, with conventional methods of assessing the physical quality of a dystrophic Red Oxisol; evaluate the soil structure in different managements using the IQES; Soil Density (DS), porosity, Soil Resistance to Penetration (RP) and, Water infiltration into the soil, in different managements; Check the correlations between IQES and physical attributes, as well as the effects of management on soil quality. The experiment was developed at Embrapa Soja. The experimental design was carried out in 4 randomized blocks (DBC), in plots of 75 m². The treatments consist of: No-Tillage (PD); Compacted No-Tillage (PDC); Scarified No-Tillage (PDE); Compacted Scarified No-Tillage (PDEC). Compaction was carried out with a 4x2 TDA tractor with a mass of 8.5 Mg, rear tires 18.4-34R and front tires 11.00-22R. The parcels were trafficked 10 times over the same tire track, with an average speed of 5 km / h of displacement, with the soil in plastic moisture condition. The methodologies for evaluating the morphological and physical attributes of soil management: IQES obtained by DRES, RP, DS, porosity and corn productivity in soil management, PD, PDC, PDE and PDEC, were correlated by graphs with a correlation matrix, using Pearson's coefficient, principal component analysis was also used. The means of the variables were compared using the Student's t test (LSD) ($p < 0.05$). PD management showed good IQES, due to the predominance of aggregates with conservation sizes and features. The PDE obtained poor IQES, as there was a predominance of unstructured aggregates, which denotes degradation. The PDC and PDEC presented very poor IQES, due to the presence of aggregates with size and compaction characteristics. IQES obtained negative correlations with RP, DS and MICRO and significant positive correlations with MACRO, PTC AND PROD CORN. In the correlations between PROD MILHO and the physical and morphological attributes, it stands out as negative correlations with RP, DS and MICRO and positive correlations between MACRO and PTC. DRES proved to be an efficient methodology in the identification of compacted or unstructured layers, and can contribute to the sustainability of agricultural production.

Key-words: Rapid Diagnosis of Soil Structure. Physical Quality. No-till. Scarified no-till. Compaction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Atribuições de notas do Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo para amostras com evidências de conservação/recuperação.....	22
Figura 2	– Atribuições de notas do Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo para amostras com evidências de degradação	22
Figura 3	– Agregados avaliados pelo Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo com atribuições de notas pelas evidências de conservação (conservação/recuperação) e de degradação (desagregação ou compactação excessivas)	23
Figura 4	– Área experimental e parcelas com manejo do solo em: A) Plantio Direto (PD) B) Plantio Direto Escarificado (PDE); C) Plantio Direto Escarificado Compactado (PDC); D) Plantio Direto Escarificado Compactado (PDEC).....	30
Figura 5	– Atribuição das notas de qualidade estrutural no DRES.....	32
Figura 6	– Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES) de um Latossolo Vermelho distroférico, a 0-0,25 m de profundidade, sob os manejos: Plantio Direto (PD); Plantio Direto Compactado (PDC); Plantio Direto Escarificado (PDE); Plantio Direto Escarificado Compactado (PDEC).....	36
Figura 7	– Resistência à Penetração (RP) de Latossolo Vermelho distroférico, a 0-0,60 m de profundidade, sob os manejos: Plantio Direto (PD); Plantio Direto Compactado (PDC); Plantio Direto Escarificado (PDE); Plantio Direto Escarificado Compactado (PDEC).....	39
Figura 8	– Análise de Componentes Principais (ACP) correlacionando os atributos morfológicos e físicos com os manejos de um Latossolo Vermelho distroférico, a 0-0,30 m de profundidade	43
Figura 9	– Regressão linear segmentada dos atributos morfológicos e físicos correlacionando com a produtividade do milho, em um Latossolo Vermelho distroférico, a 0-0,30 m de profundidade, sob os manejos: Plantio Direto (PD); Plantio Direto Compactado (PDC); Plantio Direto Escarificado (PDE); Plantio Direto Escarificado Compactado (PDEC).....	47
Figura 10	–Correlação dos atributos morfológicos e físicos com a Qualidade Estrutural do Solo (IQES), sob manejos de um Latossolo Vermelho distroférico, a 0-0,30 m de profundidade	48

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** – Índice de Qualidade Estrutural do Solo (IQES) de um Latossolo Vermelho distroférico, a 0-0,25 m de profundidade, sob os manejos: Plantio Direto (PD); Plantio Direto Compactado (PDC); Plantio Direto Escarificado (PDE); Plantio Direto Escarificado Compactado (PDEC).....37
- Tabela 2** – Resistência à Penetração (RP) de um Latossolo Vermelho distroférico, a 0-0.60 m de profundidade, sob os manejos: Plantio Direto (PD); Plantio Direto Compactado (PDC); Plantio Direto Escarificado (PDE); Plantio Direto Escarificado Compactado (PDEC).....40
- Tabela 3** – Porosidade e Densidade de um Latossolo Vermelho distroférico, a 0-0.30 m de profundidade, sob os manejos: Plantio Direto (PD); Plantio Direto Compactado (PDC); Plantio Direto Escarificado (PDE); Plantio Direto Escarificado Compactado (PDEC).....42
- Tabela 4** – Produtividade do Milho segunda safra de um Latossolo Vermelho distroférico, sob os manejos: Plantio Direto (PD); Plantio Direto Compactado (PDC); Plantio Direto Escarificado (PDE); Plantio Direto Escarificado Compactado (PDEC).....42
- Tabela 5** – Coeficiente de correlação de Pearson entre o Índice de Qualidade Estrutural do Solo (IQES) pelo Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES) e atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico, a 0-0.30 m de profundidade, sob os manejos: Plantio Direto (PD); Plantio Direto Compactado (PDC); Plantio Direto Escarificado (PDE); Plantio Direto Escarificado Compactado (PDEC) com produtividade do milho45
- Tabela 6** – Interpretações da qualidade de atributos morfológicos e físicos de um Latossolo Vermelho distroférico em relação a produtividade do milho segunda safra, sob os manejos: Plantio Direto (PD); Plantio Direto Compactado (PDC); Plantio Direto Escarificado (PDE); Plantio Direto Escarificado Compactado (PDEC), com base em análises de regressão.....49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
DS	Densidade do Solo
DRES	Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ES	Escoamento Superficial
ha	Hectare
IQEA	Índice de Qualidade Estrutural do Solo na Amostra Avaliada
IQES	Índice de Qualidade Estrutural do Solo na gleba
PD	Plantio Direto
PDC	Plantio Direto Compactado
PDE	Plantio Direto Escarificado
PDEC	Plantio Direto Escarificado Compactado
PTC	Porosidade Total do Solo Calculada
MACRO	Macroporosidade do Solo
MICRO	Microporosidade do Solo
Qec	Qualidade Estrutural da Camada
RP	Resistência do solo à Penetração
ton	Tonelada
UEL	Universidade Estadual de Londrina
VESS	Visual Evaluation of Soil Structure

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1	MANEJO DO SOLO	16
2.1.1	Plantio Direto (PD)	16
2.1.2	Plantio Direto Escarificado (PDE).....	17
2.2	COMPACTAÇÃO DO SOLO PELO TRÁFEGO DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS	18
2.3	ATRIBUTOS AVALIADOS	19
2.3.1	Atributos Morfológicos.....	19
2.3.1.1	Índice de qualidade estrutural do solo (IQES)	19
2.3.2	Atributos Físicos	24
2.3.2.1	Resistência à penetração (RP)	24
2.3.2.2	Densidade e porosidade do solo	25
2.4	PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO MILHO	27
3	MATERIAL E MÉTODOS	29
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
	REFERÊNCIAS	54

INTRODUÇÃO

O solo é um meio fundamental para o funcionamento do planeta e na sua capacidade de abrigar vida. Obviamente, trata-se do componente mais importante da atividade agropecuária, devido à sua fertilidade, mas também por ter relação direta com os demais recursos naturais fundamentais, água, ar e biodiversidade, ao que passaremos a considerar como a sua fertilidade de fato. Esta fertilidade depende diretamente da estrutura do solo, onde ocorre a interação entre os recursos naturais citados. Agricultura Conservacionista passa necessariamente pelo reconhecimento, valorização e conservação da estrutura do solo, que é diretamente afetada pelo manejo ou pelos sistemas de produção.

Na ciência do solo pesquisas realizadas com foco nos atributos físicos, visam a melhoria da produtividade das culturas e a sustentabilidade dos ecossistemas. Nesse sentido, tornam-se de grande importância os estudos que avaliam a relação máquina-solo-planta. Sendo assim, a caracterização das propriedades físicas, com medição, predição e controle dos processos que ocorrem no solo, permitem entender melhor os mecanismos que governam, uma vez que, cada solo possui características e comportamentos diferentes em relação a um dado manejo.

A agregação e a compactação são processos importantes que ocorrem nos solos cultivados e têm grande relação com a qualidade da sua estrutura. Suas avaliações, por meio de indicadores morfológicos e físicos, podem ser úteis para o estabelecimento de uma agricultura sustentável. Pois, os impactos da antropização podem ser avaliados qualitativa e quantitativamente por meio da estrutura do solo, pois estas reagem as ações físicas (mecânicas), químicas e biológicas.

Visto a grande importância da conservação dos solos e de suas estruturas na estabilidade da produção agrícola, o acompanhamento do estado físico realizado por avaliações convencionais não é suficiente para entender os efeitos dos sistemas de produção e nem para rumar para a sustentabilidade. E, o acompanhamento da qualidade estrutural sob diferentes manejos, por meio da metodologia do Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES), pode auxiliar na compreensão dos efeitos sobre a estrutura, de forma

rápida e a baixo custo. Desta forma, realizou-se um experimento com diferentes manejos e dois níveis de compactação, onde a qualidade estrutural foi acompanhada e relacionada aos principais atributos físicos.

O objetivo foi realizar a correlação do Índice Estrutural da Qualidade do Solo (IQES) pelo DRES, com métodos convencionais de avaliação da qualidade física de um Latossolo Vermelho distroférico; avaliar a estrutura do solo em diferentes manejos utilizando o IQES; Densidade do Solo (DS), porosidade, Resistência do solo à Penetração (RP) e, Infiltração de água no solo, em diferentes manejos; Verificar as correlações entre o IQES e os atributos físicos, bem como os efeitos dos manejos na qualidade do solo.

REVISÃO DE LITERATURA

2.1 MANEJO DO SOLO

2.1.1 Plantio Direto (PD)

Ao longo dos anos, o sistema convencional de preparo do solo, com grande revolvimento por meio de arações e gradagens, ocasionava desestruturação dos agregados, deixando o solo mais susceptível a erosão e à formação de impedimento mecânico na superfície (encrostamento), que interfere na emergência das plantas; e, a formação de uma camada compactada, ou pé-de-grade, logo abaixo da camada revolvida, que interfere no desenvolvimento radicular das culturas, reduzindo a produtividade.

Segundo Hernani e Salton (1997), em contrapartida, o plantio direto (PD) é uma importante ferramenta para atingir a produção sustentável, que tem como princípios básicos a mínima mobilização do solo, sua constante cobertura superficial com resíduos vegetais “palhada” e a rotação de culturas. O PD é o manejo do solo mais importante para a sustentabilidade dos agroecossistemas brasileiros.

Para Prado (2002), a presença de restos culturais na superfície do solo realiza inúmeros benefícios de ordem físico-química e biológica, havendo melhoria da taxa de ciclagem de nutrientes e efeitos alelopáticos sobre pragas e inibição de emergência de plantas daninhas. De acordo com Cardoso (2000), o PD ajuda no combate a erosão, diminuindo o escoamento superficial da água da chuva e facilitando a infiltração no perfil do solo, deixando o solo menos suscetível a compactação. Ceccon (2008) afirma que os resíduos vegetais protegem o solo do aquecimento excessivo e das perdas de água, devido à alta refletividade da radiação solar e baixa condutividade térmica, proporcionando menor amplitude térmica diária e menor taxa de evaporação.

Atualmente a estimativa de área agrícola manejada pelo PD é de 32 milhões de hectares. O PD é implantado nas principais áreas produtoras de grãos do Brasil, e dentre as principais classes de solos de ocorrência no

Brasil, destacam-se os Latossolos e Argissolos, que representam 58% dos solos brasileiros (SANTOS et al., 2013).

Segundo Franchini et al. (2011), de acordo com estudos realizados pela Embrapa Soja, aproximadamente 45% das áreas de solos argilosos do Paraná, cultivadas com soja no verão e milho no outono/inverno, apresentam grau de compactação na camada de 0,1-0,2 m limitante para o crescimento e desenvolvimento das plantas. No entanto, apesar dos quase 40 anos de pesquisas e observações acumuladas por produtores, técnicos e pesquisadores, alguns problemas ainda persistem e merecem ser melhor estudados. Esses resultados podem ser explicados por manejos ineficientes e equivocados, o que normalmente está associado à ausência de preceitos básicos do PD, rotação de culturas, mínimo revolvimento e cobertura permanente da superfície do solo.

De acordo com Tavares Filho et al. (2001), os diferentes sistemas de manejo de solos têm a finalidade de criar condições ideais ao desenvolvimento das culturas. Mas o desrespeito às condições favoráveis para o preparo do solo, e o uso de máquinas cada vez maiores e pesadas para essas operações podem alterar a estrutura do solo, causando-lhe compactação.

Debiasi et al. (2010) afirmam que a compactação do solo é importante causa de perdas na produtividade das culturas, em razão de modificações físicas no ambiente radicular. De acordo com Ghohmann e Queiroz Neto (1966), a compactação pode limitar a adsorção e absorção de nutrientes, infiltração e redistribuição de água, trocas gasosas e o desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea. Segundo Tormena (2009), as raízes das plantas provavelmente serão menores, mais espessas e concentradas próximo às plantas quanto maior a dificuldade de penetração das raízes no solo. Conseqüentemente, ocasionando queda na produtividade.

2.1.2 Plantio Direto Escarificado (PDE)

A escarificação mecânica tem sido uma alternativa para descompactar ou mitigar a compactação no PD (JIN et al., 2007; KLEIN et al., 2008; DRESCHER et al., 2016). Os implementos de hastes que são utilizados

no preparo primário em função do seu modo de ação, rompem o solo nos seus pontos de fraqueza formando fissuras, e ocasionam os seguintes benefícios: aumento da porosidade total; diminuição da resistência para as raízes penetrarem no solo, favorecendo o desenvolvimento radicular na camada superficial; diminuição da densidade; aumento de macroporos e consequente elevação das taxas de condutividade hidráulica e de infiltração de água (TAVARES FILHO et al., 2006; SECCO et al., 2009; NUNES et al. 2014).

Esta é uma operação que deve ser realizada somente após o diagnóstico da compactação, pois além de romper os agregados do solo, é uma operação demandante de muita energia, cara e que tende a retornar ao estado inicial em pouco tempo, ou seja, de baixa efetividade. Este processo consiste em mínima mobilização da camada arável (superficial), com profundidade de até 0,3 m, mantendo o máximo possível os resíduos vegetais sobre o solo (CARVALHO FILHO et al., 2007; GIRARDELLO et al., 2011; MOURA et al., 2019).

A escarificação do solo não proporciona melhoria efetiva e duradoura à estrutura de solos argilosos sob PD, pois o efeito da descompactação é temporário, ou seja, após a escarificação podem surgir novos efeitos de compactação com agravos, se trafegados novamente (NOCOLOSSO et al., 2008; NUNES et al., 2014).

A operação de escarificação resulta em efeitos imediatos na redução da RP, é uma operação muito onerosa com alto gasto de energia (combustível), porém os mesmos não perduram, variam de 10 meses (1 safra) até 24 meses, tornando esse sistema ineficiente devido a utilização subsequente por alguns produtores rurais sem critérios prévios da real necessidade (RALISCH et al., 2001; Vieira e Klein, 2007; DRESCHER et al., 2012; SILVA et al., 2012; NUNES et al., 2014).

2.2 COMPACTAÇÃO DO SOLO PELO TRÁFEGO DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS

A atual agricultura utiliza máquinas cada vez maiores e mais pesadas para realizar as diferentes operações, correção de solo, semeadura, pulverizações, adubação de cobertura, colheita, entre outros, com isso, o solo recebe grandes pressões, e, conseqüentemente, ocorre maiores deformações.

Mas a intensidade de compactação depende de fatores como: tipo e massa das máquinas, tipo de rodados e pneus, carga sobre pneus e pressão de insuflagem, velocidade de deslocamento, cobertura de solo, principalmente conteúdo de água, teor de argila, agregação, mineralogia e matéria orgânica (COLLARES et al., 2011; MAZURANA et al., 2011; LIMA et al., 2013; ORTIGARA et al., 2014; CORTEZ et al., 2017; FERRARI et al., 2018).

O preparo do solo e o tráfego de máquinas em condições muito úmidas (consistência no estado plástico) provocam deformações plásticas, ou seja, compactação (MAZURANA et al., 2011). Em relação a quantidade de tráfegos no solo, a intensidade de compactação é maior nos primeiros rastos, posteriormente a tendência é diminuir a intensidade de compactação (SEIXAS e SOUZA, 2007; LOPES et al., 2015).

A compactação é uma das maiores causas de degradação de solos agrícolas resultando em perdas na produtividade das culturas, modificam os atributos do solo com: aumento de densidade; diminuição da porosidade; redução da infiltração de água e diminuição de difusão dos gases e disponibilidade de nutrientes; aumento da resistência do solo ao crescimento radicular, fator que dificulta a exploração em profundidade das raízes no solo (Klein et al., 2013; VALADÃO et al., 2015; SCAPINELLI et al., 2016; SILVA et al., 2017).

Para se evitar a compactação, pode-se adotar medidas preventivas como: tráfego leve e controlado; evitar realizar operações com o solo úmido; reduzir a pressão de contato das máquinas sobre o solo, entre outros (MACHADO et al., 2007; GASSEN et al., 2011; FERRARI et al., 2018).

2.3 ATRIBUTOS AVALIADOS

2.3.1 Atributos Morfológicos

2.3.1.1 Índice de qualidade estrutural do solo (IQES)

Os efeitos do manejo refletem de forma efetiva na estruturação (agregação) do solo. As ações de origem física (mecânica), química e biológica afetam o processo dinâmico de construção do solo e influenciam na

produtividade e sustentabilidade (ZEBALOS et al. 2018). Existem vários procedimentos metodológicos para determinação da qualidade física do solo, porém, requer muito tempo, recursos, equipamentos, infraestrutura laboratorial e profissionais treinados (GUIMARÃES et al., 2011; SILVA, et al. 2012; ALMEIDA et al., 2018).

Metodologias que permitem a análise da qualidade estrutural do solo, de forma visual, rápida, eficiente e à campo, proporcionam a elaboração de estratégias para adoção de práticas conservacionistas de manejo, que melhorem a qualidade estrutural do solo, contudo, a primeira etapa depende de uma correta avaliação (GIAROLA, et al., 2009; RALISCH et al., 2017; SILVA et al., 2018; ZEBALOS et al., 2018).

Mediante esta demanda, a UEL, juntamente com a EMBRAPA e outras instituições desenvolveram um método de avaliação visual da estrutura da camada superficial do solo, denominado Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES), Ralisch et al. (2017).

Ralisch et al. (2017) e Almeida et al. (2018) afirmam que o objetivo do DRES é avaliar a qualidade estrutural do solo, de forma simples e rápida, com mínima intervenção no local de estudo, sendo um método visual de fácil entendimento, podendo ser utilizado por pequenos e grandes produtores, além da comunidade científica. O DRES foi desenvolvido com base em outras metodologias de avaliação da estrutura do solo, como o VESS (GUIMARÃES et al., 2001) e o Método do Perfil Cultural (GAUTRONNEAU e MANICHON, 1987; TAVARES FILHO et al., 1999; BOIZARD et al, 2016).

A metodologia do DRES inicia-se pela abertura de uma mini trincheira para extração de um bloco de solo de uma das paredes da trincheira, a ser colocado cuidadosamente em uma bandeja plástica. Na sequência deve-se iniciar a manipulação com as mãos da amostra fragmentando o bloco de solo em torrões ou agregados (RALISCH et al., 2017).

A amostra pode ser constituída de uma ou mais camadas, identificadas a partir de variações nas características da estrutura (tamanho, grumosidade, coesão entre agregados, orientação das faces de ruptura, porosidade), cor, presença e aparência morfológica de raízes e outros organismos vivos, presença de terra fina formada por desagregação ou pulverização (formação de pó) e partículas soltas, como areia, entre outras. As

camadas deverão ser delimitadas, no sentido da profundidade, por meio de separadores, como régua ou outros materiais com dimensões similares ao comprimento da bandeja. Em função da pouca representatividade e dificuldade de separação, camada com espessura inferior a 5 cm não deverão ser individualizadas para efeito de avaliação, mas considerada em conjunto com a camada mais semelhante, de maior espessura, localizada imediata e adjacientemente abaixo ou acima, da mesma (RALISCH et al., 2017).

O método DRES prevê a pontuação para cada camada identificada na amostra. As notas são atribuídas à Qualidade Estrutural da Camada (Qec), detectada na amostra, e servirão de base para o cálculo e definição do Índice de Qualidade Estrutural do Solo na Amostra Avaliada (IQEA), e posteriormente para se gerar o IQES avaliado na gleba ou parcela da área experimental. As Qec são atribuídas em função de dois critérios: evidências de degradação ou conservação/recuperação do solo, e proporção visual da ocorrência (em volume) dos diferentes tamanhos de agregados após a manipulação da amostra, segundo a chave de atribuição de notas (RALISCH et al., 2017).

Para auxiliar a atribuição das notas, identificar as proporções percentuais em volume para as diferentes classes (< 1 cm, 1 a 4 cm, e > 7 cm), deve-se agrupá-los conforme o tamanho para identificar visualmente as proporções. As atribuições de Qec são baseadas em uma tabela de chave de identificação (Figuras 1, 2 e 3). As feições de recuperação/conservação (Figuras 1 e 3) são detectadas pelas seguintes características: Raízes crescendo sem restrição, explorando o interior dos agregados; Predomínio de agregados com tamanho entre 1 e 4 cm, com baixa coesão, arredondados, faces de ruptura rugosas, e linhas de ruptura sem orientação definida; Presença de agregados grumosos e indícios de alta atividade biológica (RALISCH et al., 2017).

As feições de degradação (Figura 2 e 3) são detectadas pelas seguintes características: Raízes tortas, achatadas e crescendo preferencialmente nas fissuras; Predomínio de agregados maiores que 7 cm e/ou agregados com faces lisas e ângulos retos de ruptura, coesos, com pouca porosidade, exibindo espelhamentos e zonas de umectação, com forma quadrada ou laminar; Presença de solo desagregado (pulverizado); O solo

desagregado geralmente ocorre próximo a agregados ou camada de agregados compactados; Presença de canais com areia solta no sentido vertical do perfil do solo; Ausência ou poucos indícios de atividade biológica (RALISCH et al., 2017).

Figura 1 - Atribuições de notas do Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo para amostras com evidências de conservação/recuperação.

Camadas da amostra com evidências de conservação/recuperação		
$Qe_c = 6$	$Qe_c = 5$	$Qe_c = 4$
Mais de 70% de agregados com 1 a 4 cm	50 a 70% de agregados de 1 a 4 cm	Menos de 50% de agregados de 1 a 4 cm
Estrutura friável, agregados muito grumosos e porosos, com atividade biológica alta. Raízes abundantes e bem distribuídas na camada avaliada, sem deformações ocasionadas por impedimentos físicos, crescendo através dos agregados.	Estrutura friável, agregados grumosos e porosos, com mediana atividade biológica. Raízes bem distribuídas na camada avaliada, podendo apresentar poucos sinais de restrição ao crescimento. As raízes crescem predominantemente através dos agregados.	Estrutura friável, pouco grumosa, pouco poros e fraca atividade biológica. Raízes podem apresentar algum impedimento ao desenvolvimento.
grumosidade, atividade biológica, porosidade, raízes bem desenvolvidas		

Fonte: Ralisch et al. (2017).

Figura 2 - Atribuições de notas do Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo para amostras com evidências de degradação.

Camadas da amostra com evidências de degradação		
$Qe_c = 3$	$Qe_c = 2$	$Qe_c = 1$
Menos de 50% de agregados menores que 1 cm e maiores que 7 cm	50 a 70 % de agregados menores que 1 cm e maiores que 7 cm	Mais de 70% de agregados menores que 1 cm e maiores que 7 cm
Estrutura coesa nos agregados grandes, e muito solta entre os agregados menores que 1 cm. Predomínio de agregados com faces planas, com poucos poros e atividade biológica. Pode apresentar raízes achatadas com dificuldade para desenvolvimento pleno na camada avaliada.	Estrutura coesa nos agregados grandes, e muito solta entre os agregados menores que 1 cm. Predomínio de agregados com faces planas, com alguns poros e pouca atividade biológica. Desenvolvimento radicular limitado, com predomínio de raízes achatadas com dificuldade para penetração no interior dos agregados.	Estrutura coesa nos agregados grandes, e muito solta entre os agregados menores que 1 cm. Predomínio de agregados com faces planas, sem poros visíveis e atividade biológica. Forte restrição ao desenvolvimento radicular, com predomínio de raízes achatadas, crescendo preferencialmente nas fissuras entre os agregados.
superfícies planas, raízes achatadas, solo desagregado ou compactado		

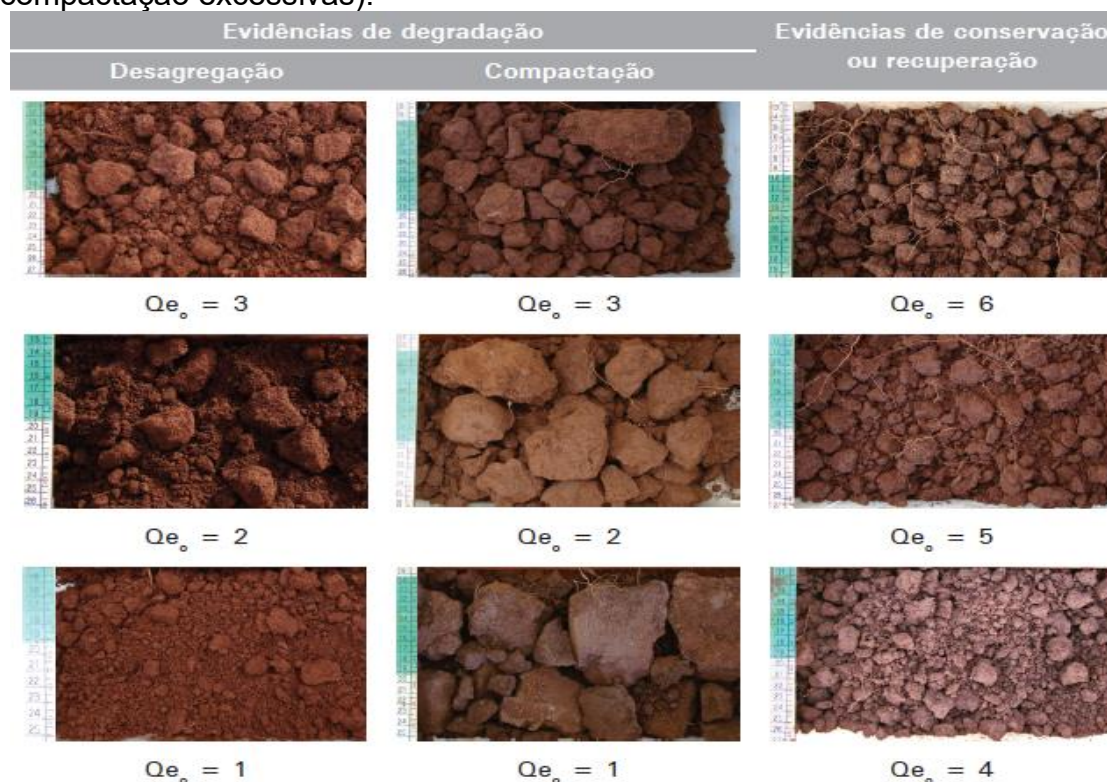
Fonte: Ralisch et al. (2017).

Após a atribuição de Qec de cada camada é calculado o IQEA.

O IQEA corresponde à média das notas atribuídas às camadas, ponderada pela espessura das mesmas. Para o método proposto e considerando-se tratar de uma avaliação para uma profundidade de 25 cm, não é necessário separar a amostra em mais de 3 camadas, visto que, isto não afeta o resultado, pela baixa representatividade que se teria no IQEA. Portanto, por questões de praticidade, emprega-se no máximo três. Já, o IQES na gleba ou área homogênea é composto pelas médias das notas de IQEA das amostras individuais daquela gleba (RALISCH et al., 2017).

A partir do IQES determinado para uma dada gleba, é possível concluir sobre a qualidade da estrutura do solo, propor alterações no manejo da mesma gleba, com vistas à recuperação, manutenção e/ou melhoria da qualidade estrutural do solo, essenciais para as tomadas de decisões. O DRES proporciona as interpretações e recomendações para cada resultado de IQES (RALISCH et al., 2017).

Figura 3 - Agregados avaliados pelo Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo com atribuições de notas pelas evidências de conservação (conservação/recuperação) e de degradação (desagregação ou compactação excessivas).



Fonte: Ralisch et al. (2017).

2.3.2 Atributos Físicos

2.3.2.1 Resistência à penetração (RP)

A compactação pode restringir o volume de solo explorado pelo sistema radicular (aumento de resistência à penetração), prejudicando a absorção de água e nutrientes, e conseqüentemente seu desenvolvimento (LIMA et al., 2013; VALADAO et al., 2015; SILVA et al., 2017; SCAPINELLI et al. 2019).

A RP simula e identifica as camadas que apresentam impedimento (restrição) mecânico ao desenvolvimento radicular. Este método tem sido utilizado como indicador da qualidade física do solo, sendo um dos parâmetros mais utilizados, com destaque para avaliar o grau de intensidade da compactação do solo. A RP permite elevada resolução espacial, e é um teste rápido e economicamente viável (TAVARES FILHO et al., 2001; TAVARES FILHO e TESSIER, 2009; CAVALCANTE et al., 2011; CARVALHO et al., 2012; MION et al., 2012; SILVA et al., 2017; CORTEZ et al., 2019; VALENTE et al., 2019). De acordo com Freddi et al. (2006) e Girardello et al. (2014), a RP é o atributo físico que apresenta maior correlação com a produtividade das culturas.

Altos valores de RP podem limitar o crescimento e o desenvolvimento do sistema radicular e diminuir a produtividade das culturas. Existem várias aplicações para avaliações RP, tais como: detecção de camadas compactadas, estudo para prevenção de impedimento mecânico ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas, conhecimento de processos de umedecimento e ressecamento, dentre outras (TAVARES FILHO e TESSIER, 2009; GIRARDELLO et al., 2014; TORRES et al., 2015; VALADÃO et al., 2015; SILVA et al., 2017).

A detecção de áreas de solo compactado ocorrem através da medição eletrônica da força de resistência à penetração (Índice de Cone), juntamente com a medição de profundidade. O penetrômetro é composto de um módulo eletrônico acoplado a uma haste dividida em duas partes. Com um cone na ponta inferior, mede a força necessária para que a haste penetre o solo em diferentes profundidades, com intervalos configuráveis para 10, 25 ou

50 mm. A inserção da haste deve se dar com velocidade constante, para garantir uma medição precisa. Para cada medição será armazenada um valor de força medido para cada profundidade (CUNHA et al., 2007; VOGEL e FEY, 2016).

As confiabilidades dos resultados de RP são fortemente vinculadas à umidade no momento avaliação, pois quanto maior a umidade do solo, provavelmente, menor será a RP (VALICHESKI et al., 2012; VALENTE et al., 2019). Deve-se padronizar a umidade do solo para realizar a avaliação. Recomenda-se que realizada com o solo na capacidade de campo, entre dois e três dias após uma chuva, com ideal em torno de 30% de umidade para o Latossolo. É importante relacionar informações complementares como o tipo e densidade do solo e o teor de água no momento da avaliação, pois, podem ser indicar a confiabilidade dos resultados (TORMENA, 2009).

2.3.2.2 Densidade e porosidade do solo

A densidade e a porosidade podem ser utilizadas como indicadores da qualidade física, avaliando o manejo que o solo está sendo submetido (SECCO et al., 2005; BAVOSO et al., 2012). A densidade do solo (DS) pode ser definida como sendo a relação existente entre a massa de uma amostra de solo seca e a soma dos volumes ocupados pelas partículas e pelos poros. Todos os fatores que interferem no espaço poroso irão interferir na DS. Solos com maior porosidade têm menor densidade e solos com menor porosidade têm maior densidade (KIEHL, 1979; CAMARGO et al., 1997).

O volume de espaços vazios existentes entre as partículas individuais e agregados constitui a porosidade do solo. O termo porosidade refere-se ao conjunto de vazios existentes no solo: poros, fendas, fissuras, canais, entre outros. A quantidade e o diâmetro dos poros, as formas, a rugosidade e a tortuosidade são de extrema importância, pois influem diretamente no fluxo interno dos gases e da água, no armazenamento desta, e no comportamento agrícola dos solos. A porosidade total do solo calculada (PTC) representa o volume ocupado pelo ar e pela água e é afetada pela forma de arranjo das partículas do solo, ou seja, pela capacidade de formação de agregados. A PTC é adimensional ($m^3 \cdot m^{-3}$) e em geral, expressa em

porcentagem (REICHARDT e TIMM, 2004; OLIVEIRA, 2011; PRADO, 2013).

Os poros do solo são divididos em microporos (MICRO) (poros muito pequenos, com diâmetro menor que 0,05 mm), onde, usualmente a água é retida contra a força gravitacional; e, macroporos (MACRO) (poros maiores, com diâmetro maior que 0,05 mm), nos quais usualmente circula o ar do solo, e que permitem a rápida infiltração da água da chuva (PREVEDELLO, 1996; FERREIRA, 2010; PRADO, 2013). Os bioporos, que são poros considerados macroporos, dão enorme colaboração ao sistema, são canalículos (poros longos e contínuos), formados após a decomposição das raízes, as raízes agem como um escarificador biológico nas camadas compactadas por meio de um sistema radicular agressivo, ou são oriundos do trabalho da macrofauna (KEMPER; DERPSCH, 1981; OADES, 1993).

De acordo com Oliveira (2011), solos mais arenosos, normalmente tem maior proporção de macroporos, possuindo boa drenagem e aeração (exceto se compactados ou adensados), e solos mais argilosos podem ter drenagem e aeração inferior aos arenosos, porém, possuem maior porosidade total, e no estado de saturação contem mais água.

A DS é altamente influenciada pelo manejo do solo, uma das principais causas das alterações, pode ser causada devido as pressões exercidas pelas rodas das máquinas agrícolas e pelo próprio força peso do trator e implementos sobre o solo. O tráfego excessivo, realizado sob diferentes condições de umidade do solo, é o principal responsável pela compactação. A compactação adicional imposta é utilizada neste trabalho com o objetivo de demonstrar a real alteração na densidade do solo, também para afirmar que com o aumento da intensidade de compactação do solo ocorre aumento na sua densidade. A DS também pode ser influenciada pelas culturas, sendo que, suas raízes e resíduos vegetais alteram a estrutura e, por consequencia, o arranjo e o volume de poros. (TORMENA et al., 1998; MACHADO et al., 2006; COSTA et al., 2010).

Todas as alterações ocasionadas influenciam nas propriedades físico-hídricas importantes, tais como: diminuição da PTC, condutividade hidráulica, podendo diminuir a aeração, a difusão do O₂, a retenção de água no solo, a disponibilidade de água às plantas. Além dos efeitos da DS sobre o desenvolvimento das plantas, ainda se verifica sua interferência na quantidade

de nutrientes disponíveis, na absorção, nos mecanismos de fluxo de massa e difusão, responsáveis pelo transporte de nutrientes até as raízes, no aumento da RP, influenciando decisivamente o crescimento radicular (MEDEIROS et al., 2005; COSTA et al., 2015; BONINI et al., 2016; COSTA et al., 2016; PARIZ et al., 2017; PERUSSO et al., 2019).

Quando a DS aumenta ao longo dos cultivos, pode ser um indicativo de que este esteja sendo compactado, devido a um manejo inadequado. Nem todos os solos argilosos são adensados, na maioria dos casos, os solos argilosos de regiões tropicais úmidas apresentam menor densidade do que os solos arenosos, pois, estes solos usualmente apresentam boa estruturação e maior porosidade total. (SILVA et al., 2003; STRECK et al., 2004; FREDDI et al., 2007; SECCO et al., 2009).

Os solos com a mesma classe textural podem apresentar diferentes densidades, dependendo do uso e da profundidade de trabalho pelos equipamentos agrícolas. Na superfície, normalmente, a densidade é menor, devido à maior concentração de material orgânico, ou seja, quanto mais matéria orgânica no solo menor a DS, pois atua como agente agregador aumentando o espaço poroso, a qual favorece a formação de estruturas granulares. Através da estruturação do solo podem ser melhoradas principalmente a drenagem, retenção de água, aeração e a disponibilidade de nutrientes (MACHADO; FAVARETTO, 2006; OLIVEIRA, 2011).

2.4 PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO MILHO

Segundo Embrapa (2010), a importância econômica do milho (*Zea mays*) é caracterizada pelas diversas formas de sua utilização, que vai desde a alimentação animal até a indústria de alta tecnologia. Pois, o milho é uma das principais matérias primas usada na fabricação de rações para alimentação animal, além de ser uma das commodities mais importantes da agricultura, CONAB (2018).

O milho segunda safra é definido como o milho de sequeiro, cultivado quase sempre depois da soja precoce, na região Centro-Sul brasileira, contemplando os Estados do Paraná, São Paulo, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e, mais recentemente, Minas Gerais. E, devido

aos altos valores de produção e mercado da soja, a maioria dos agricultores cultiva a soja no verão e milho segunda safra no inverno (CRUZ et al., 2011). Em relação à safra de milho 2019, a média da produtividade brasileira foi de 5.854 Kg/ha, área estimada de 12.605,1 mil hectares e produção total de 73.795,6 t. O Estado do Paraná obteve produtividade média de 6.004 Kg/ha, área estimada de 2.248,0 mil hectares e produção total de 13.497,0 ton (CONAB, 2019).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido na Fazenda Experimental da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária de Soja (Embrapa Soja), no município de Londrina, norte do Estado do Paraná, tendo como coordenadas Latitude 23°12'15"S e Longitude 51°10'48"O, com aproximadamente 620 m de altitude e 0,03 mm⁻¹ de declividade. O solo da área de estudo é de origem basáltica, com textura muito argilosa (786 g kg⁻¹ de argila, 64 g kg⁻¹ de silte, e 150 g kg⁻¹ de areia na camada de 0-0,2 m), classificado como Latossolo Vermelho distroférrico, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2018). O clima da região é classificado como Cfa, subtropical úmido, segundo classificação de Köppen.

A área experimental estava sendo manejada no sistema PD desde 2009, com o cultivo de soja no verão e milho, trigo ou aveia no inverno (segunda safra). Antes do ensaio, a área foi cultivada com soja (*Glicine max*) no verão (2016/2017), Aveia (*Avena strigosa*) no inverno (2017). O delineamento experimental foi realizado em 4 blocos casualizados (DBC), em parcelas com dimensões de 15 x 5 m, totalizando 75 m² cada. Antes da instalação dos tratamentos, a aveia presente nas parcelas experimentais foi dessecada com Glifosato (1 L ha⁻¹), e no momento da aplicação dos tráfegos, a massa de resíduos na superfície do solo era de 4,5 Mg ha⁻¹.

Os tratamentos consistem em: Plantio Direto (PD); Plantio Direto Compactado (PDC); Plantio Direto Escarificado (PDE); Plantio Direto Escarificado Compactado (PDEC). Em setembro/2017 (Figura 4) os tratamentos foram implantados. Nos tratamentos PDE e PDEC foram utilizados um escarificador montado, com cinco hastes distanciadas 0,40 m e ponteiros de 0,08 m, equipado com rolo destorroador, atingindo profundidade média de trabalho de 0,30 m. A compactação foi induzida pelo tráfego de trator marca CBT modelo 8060 4x2 TDA equipado com uma concha frontal contendo contrapesos, com massa total de 8,5 Mg (3,4 Mg sobre o eixo dianteiro, e 4,1 Mg sobre o eixo traseiro, em condição estática), pneus dianteiros 11.00-22R1 e pneus traseiros 18.4-34R1, inflados a 152 e 138 kPa, respectivamente.

A pressão de contato na interface pneu-solo, estimada para superfícies firmes pelo método de O'SULLIVAN et al. (1999), foi de 210 e 166 kPa para as rodas dianteiras e traseiras, respectivamente. Os tratamentos de manejo do solo com compactação foram trafegados com trator por 10 vezes, sobre o mesmo rasto de pneu, com velocidade média de 5 km/h de deslocamento. No momento da realização dos tráfegos, o solo apresentava conteúdo gravimétrico de água próximo à capacidade de campo, com valores nas camadas de 0-0,60 m variando de 0,31 g g⁻¹ a 0,37 kg kg⁻¹ para o PDC, e de 0,29 g g⁻¹ a 0,37 kg kg⁻¹ para o PDEC.

Figura 4 - Área experimental e parcelas com manejo do solo em: A) Plantio Direto (PD) B) Plantio Direto Escarificado (PDE); C) Plantio Direto Escarificado Compactado (PDC); D) Plantio Direto Escarificado Compactado (PDEC).



Em março de 2018 foi semeado *Urochloa ruziziensis* com finalidade de cobertura de solo, porém não teve uma boa germinação e seu desenvolvimento foi incipiente. Em julho de 2018 foi dessecada com Glifosato (2 L ha⁻¹).

As amostragens e avaliações do solo ocorreram de setembro de 2018 até janeiro 2019. As avaliações do Índice de Qualidade Estrutural do Solo (IQES) foram realizadas através do método do Diagnóstico Rápido da

Estrutura do Solo (DRES), conforme Ralisch et al. (2017). Com o auxílio de enxada e pá de corte reta, foram abertas quatro mini trincheiras em cada tratamento, por bloco, de 40 cm de comprimento, 30 cm de largura e 30 cm de profundidade, no sentido transversal às operações agrícolas. Os blocos de solos (espessura de 10 cm, largura de 20 cm e profundidade de 25 cm) foram extraídos de uma das paredes da trincheira com uma pá de corte reta, e cuidadosamente colocados em bandejas plásticas (25 cm de largura, 50 cm de comprimento e 15 cm de altura).

Então, foram realizados os procedimentos de manipulação dos blocos, avaliação das estruturas, identificação e separação das camadas. O método DRES prevê a pontuação para cada camada identificada na amostra, com definição da qualidade estrutural de acordo com os critérios: evidências de degradação ou conservação/recuperação do solo; e, proporção visual da ocorrência (em volume) dos diferentes tamanhos de agregados após a manipulação da amostra, conforme a chave de atribuição de notas (Figura 5).

Após a atribuição de notas para cada camada (Q_{ec}) foi calculado o Índice de Qualidade Estrutural do Solo da Amostra (IQEA), por meio da equação:

$$IQEA = \frac{(E_{c1} \times Q_{ec1}) + (E_{c2} \times Q_{ec2}) + (E_{c3} \times Q_{ec3})}{E_{total}} \quad (1)$$

onde:

IQEA= Índice de qualidade estrutural do solo da amostra;

E_c = Espessura de cada camada, em cm (o número de camadas varia de 1 a 3);

Q_{ec} = Nota de qualidade estrutural atribuída a cada camada;

E_{total} = Espessura/profundidade total da amostra (25 cm).

E, o índice de Qualidade Estrutural do Solo (IQES) das parcelas experimentais com mesmo tratamento, foi calculado a partir da equação (2):

$$IQES = \frac{(IQEA1 + IQEA2 + \dots + IQEA_n)}{n} \quad (2)$$

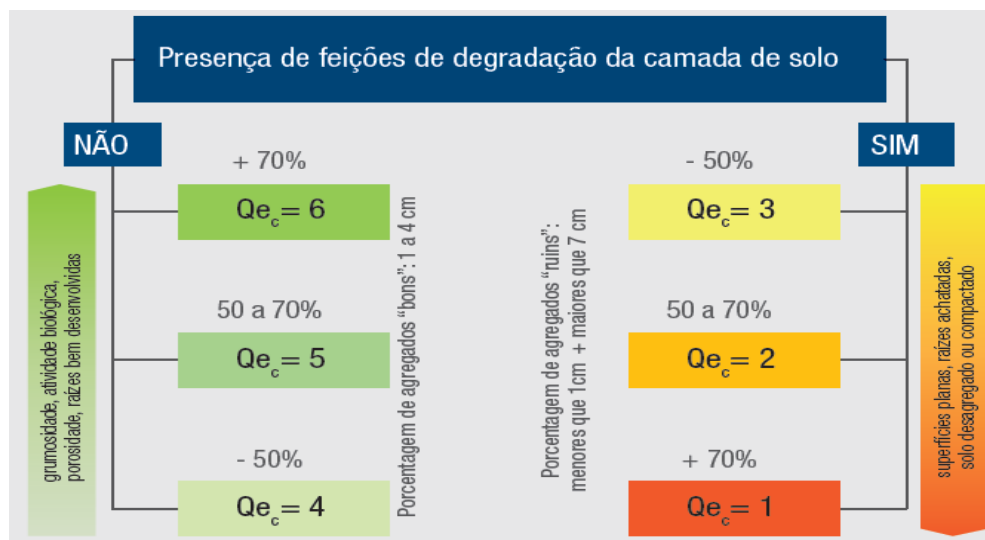
onde:

IQES= índice de qualidade estrutural do solo nas parcelas experimentais de mesmo tratamento;

n = número total de amostras;

IQEA = nota de qualidade estrutural atribuída às amostras, de 1 até n.

Figura 5 - Atribuição das notas de qualidade estrutural no DRES.



Fonte: Ralisch et al. (2017).

A RP foi determinada por meio de um penetrômetro digital acoplado a um quadriciclo, equipado com cone de 12,83 mm de diâmetro de base e ângulo de 30°. O cone foi inserido no solo com velocidade constante de 30 mm s⁻¹ até a profundidade de 0,6 m, sendo os valores registrados com resolução de 0,01 m. Nos tratamentos a RP foi avaliada por amostragem extratificada, em quatro transectos (4 repetições dentro cada tratamento em cada bloco) de 1,5 m posicionados transversalmente ao sentido do tráfego dentro da parcela. Cada transecto englobou 11 leituras separadas por uma distância de 0,15 m (Figura 3.2). Para determinação do conteúdo de água no momento da avaliação da RP, foram coletadas amostras deformadas de solo nas camadas de 0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; 0,3-0,4; 0,4-0,5; e 0,5-0,6 m, sendo a análise realizada conforme Embrapa (2017), e os cálculos realizados pela equação (3):

$$CGA = \left[\frac{(a - b)}{b} \right] \quad (3)$$

sendo:

CGA: conteúdo gravimétrico de água (umidade em base gravimétrica), em kg kg⁻¹;

a: massa da amostra úmida, em g;

b: massa da amostra seca a 105 °C, até atingir peso constante, em g.

Para as avaliações da porosidade total (PTC) (macroporosidade (MACRO) e microporosidade (MICRO) e densidade do solo (DS) foram coletados anéis volumétricos em cada trincheira de avaliação do DRES, em quatro pontos por tratamento de cada bloco e cinco repetições (cilindros), nas profundidades 0-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m.

A densidade aparente do solo pelo método do anel volumétrico foi determinada em mesa de tensão, segundo EMBRAPA (2017), e calculada por meio da equação (4):

$$D_s = \frac{m_a}{V} \quad (4)$$

em que:

D_s: densidade do solo, em kg dm⁻³ (equivalente a g cm⁻³);

m_a: massa da amostra de solo seco a 105 °C até peso constante, em g;

V: volume do cilindro, em cm³.

A densidade de partículas foi determinada pelo método do balão volumétrico, através da metodologia da EMBRAPA (2017), de acordo com a equação (5):

$$D_p = \frac{M_a}{V \setminus T - V_u} \quad (5)$$

Onde:

D_p: densidade de partículas, em kg dm⁻³ (equivalente a g cm⁻³);

Macro: massa da amostra seca a 105 °C, em g;

VT: volume total aferido do balão, em ml;

V_u: volume utilizado para completar o balão com a amostra, em ml.

A microporosidade do solo foi determinada em mesa de tensão, segundo EMBRAPA (2017), e calculada usando a equação (6):

$$\text{Micro} = \frac{(a - b)}{c} \quad (6)$$

Sendo:

Micro: microporosidade, em m³ m⁻³;

a: massa de solo seco + água retida após equilíbrio no potencial de 6 kPa (0,6 m de coluna de água), em g;

b: massa do solo seco a 105 °C, em g;

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

A macroporosidade foi calculada pela equação (7):

$$\text{Macro} = (\text{Ptc} - \text{Micro}) \quad (7)$$

em que:

Macro: macroporosidade, em m³ m⁻³;

Ptc: porosidade total, em m³ m⁻³;

Micro: microporosidade, em m³ m⁻³.

E, a porosidade total do solo corrigida, foi calculada pela equação (8), EMBRAPA (2017):

$$\text{Ptc} = \left[\frac{(Dp - Ds)}{Dp} \right] \quad (8)$$

em que:

Ptc: porosidade total, em m³ m⁻³;

Dp: densidade de partículas sólidas do solo, em kg dm⁻³;

Ds: densidade do solo, em kg dm⁻³.

Em janeiro de 2019 foi semeado milho (*Zea mays*), utilizando a cultivar Agroceres AG 9010 PRO3, com espaçamento de 0,45 m entre linhas e 3 plantas por metro linear. As sementes foram tratadas com Tiametoxam (dose 120 ml 50 Kg⁻¹). A adubação utilizada no momento da semeadura foi 310 Kg ha⁻¹ de 08-20-20. Foram utilizados para a semeadura um trator marca Massey Ferguson 4x2, modelo MF290 (82 cv) e uma semeadora marca Jumil modelo Exacta 3070 com 7 linhas. Foi realizada ainda uma adubação de cobertura, após 20 dias da emergência, com 400 Kg ha⁻¹ de Sulfato de Amônio (20% N). Durante o cultivo foram realizadas 3 aplicações do inseticida Tiametoxam + Lambda-Cialotrina (dose 300 ml ha⁻¹).

A colheita do milho foi realizada mecanicamente por

colhedoras de parcelas experimentais em maio de 2019, foram colhidas 3 linhas centrais, com 10 m de comprimento. Para determinação da produtividade foram determinadas a umidade e a massa dos grãos, conforme disposto em Regras para Análises de Sementes (BRASIL, 2009).

Realizou-se a verificação dos pressupostos de normalidade pelo teste de normalidade dos resíduos, de acordo com Shapiro-Wilk ($p < 0,05$) e pelo teste de homogeneidade de variância, de acordo com o teste de oneillmathews ($p < 0,05$). Quando atendidos os pressupostos, foram comparadas as médias das variáveis pelo teste t de Student (LSD) ($p < 0,05$), para cada camada avaliada do perfil do solo e cada manejo.

A variabilidade horizontal e vertical da RP, em função dos manejos do solo e da intensidade de tráfego quando compactado, foi representada por gráficos bidimensionais, elaborados com o auxílio do programa Surfer 16.0 (Golden Software, Inc.).

As metodologias de avaliação dos atributos morfológicos e físicos do manejo do solo: IQES obtido pelo DRES, RP, DS, MACRO, MICRO, PTC e a produtividade do milho nos manejos do solo, PD, PDC, PDE e PDEC, foram correlacionados por gráficos com matriz de correlação, através do coeficiente de Pearson. Também utilizou-se a análise de componentes principais (para reduzir a dimensão do problema em componentes não correlacionadas que são combinações lineares das variáveis originais).

Possíveis relações existentes e influências entre as variáveis foram testadas por gráficos de regressão (relação linear e segmentada) e dispersão.

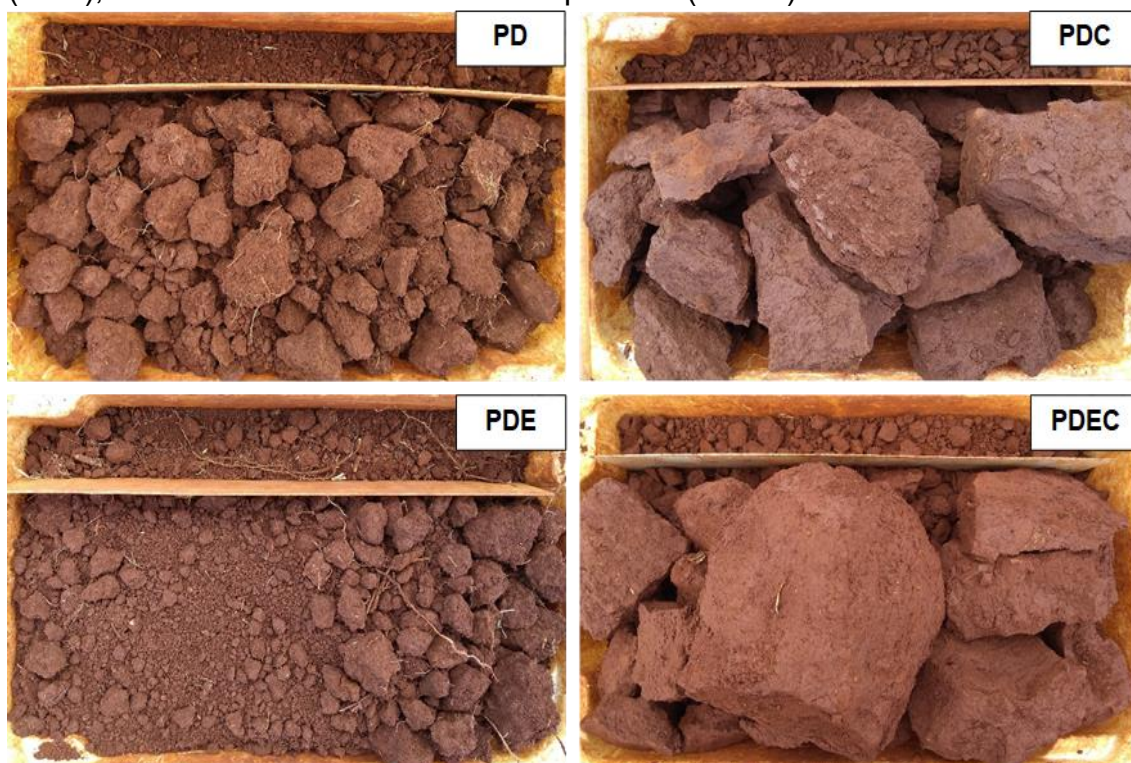
Os resultados dos atributos morfológicos e físicos dos diferentes manejos de solo e a produtividade do milho foram agrupadas de acordo com a classe de interpretação do IQES, obtido de acordo com a metodologia do DRES (RALISCH et al., 2017), e apresentados como correlações em gráficos de radar. Através dos gráficos de regressão e dispersão desenvolveu-se uma tabela propondo valores (índices) para qualidade de cada atributo avaliado, classificados como: muito bom, bom, regular, ruim e muito ruim.

As análises estatísticas foram executadas utilizando-se o programa estatístico R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2014).

4 Resultados e Discussões

Os resultados obtidos das avaliações morfológicas através qualidade estrutural pelo DRES (Figura 6 e Tabela 1) evidenciam variabilidade estrutural do solo. Oliveira; Lima; Verburg (2015); Cherubin et al. (2017); Bertollo (2018) e Tuchtenhagen et al. (2018) afirmam que a estrutura do solo é um dos principais indicadores de qualidade, diferentes tipos de manejos e suas operações mecânicas proporcionam as alterações morfológicas.

Figura 6 – Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES) de um Latossolo Vermelho distroférico, a 0-0,25 m de profundidade, sob os manejos: Plantio Direto (PD); Plantio Direto Compactado (PDC); Plantio Direto Escarificado (PDE); Plantio Direto Escarificado Compactado (PDEC).



O maior IQES foi do PD, classificado como qualidade estrutural boa, foi constatado nas amostragens a predominância de agregados de 1 a 4 cm, considerados bons e com características de conservação: feições de aspecto grumoso; alta atividade biológica; porosidade visível e raízes (RALISCH et al., 2017). Estas características permitem que as raízes se desenvolvam sem nenhum impedimento físico, em todas as direções, penetrando facilmente nos

agregados, a presença de estruturas porosas e grumosas, são encontradas comumente em solos com manejo conservacionista (RALISCH et al., 2017).

Tabela 1 – Índice de Qualidade Estrutural do Solo (IQES) de um Latossolo Vermelho distroférrico, a 0-0,25 m de profundidade, sob os manejos: Plantio Direto (PD); Plantio Direto Compactado (PDC); Plantio Direto Escarificado (PDE); Plantio Direto Escarificado Compactado (PDEC).

	Manejos do Solo			
	PD	PDC	PDE	PDEC
CAMADA 1	$E_c = 6$ cm	$E_c = 3$ cm	$E_c = 6$ cm	$E_c = 4$ cm
	$Q_{ec} =$ Nota 3: < 50% agregados menores que 1 cm.	$Q_{ec} =$ Nota 2: 50 a 70% agregados menores que 1 cm.	$Q_{ec} =$ Nota 2: 50 a 70% agregados menores que 1 cm.	$Q_{ec} =$ Nota 2: 50 a 70% agregados menores que 1 cm.
CAMADA 2	$E_c = 19$ cm	$E_c = 22$ cm	$E_c = 19$ cm	$E_c = 21$ cm
	$Q_{ec} =$ Nota 5: 50 a 70% dos agregados com 1 a 4 cm.	$Q_{ec} =$ Nota 1: > 70% de agregados maiores que 7 cm.	$Q_{ec} =$ Nota 2: 50 a 70% agregados menores que 1 cm.	$Q_{ec} =$ Nota 1: > 70% de agregados maiores que 7 cm.
CAMADA TOTAL	$E_{total} = 25$ cm	$E_{total} = 25$ cm	$E_{total} = 25$ cm	$E_{total} = 25$ cm
IQES ¹	4,4 a	1,2 c	2,3 b	1,2 c
Qualidade ² Estrutural	Boa	Muito ruim	Ruim	Muito ruim
P-Valor IQES	0,00000			
CV (%) IQES	13,27			

¹Médias seguidas de letras diferentes, na linha, diferem pelo teste t de Student (LSD) a 5% de probabilidade. ²Índice de Qualidade Estrutural do Solo avaliado pelo DRES, com a classificação das classes: Muito Boa (IQES entre 5 e 6); Boa (IQES entre 4 e 4.9); Regular (IQES entre 3 e 3.9); Ruim (IQES entre 2 e 2.9); Muito Ruim (IQES entre 1 e 1.9). Legenda: Espessura da camada (E_c); Qualidade estrutural da camada (Q_{ec}); Espessura total (E_{total}).

No PDE o IQES foi intermediário, classificado como qualidade estrutural ruim, pois foram observados nas amostragens, maiores proporções

de agregados com tamanhos inferiores a 1 cm, considerados com aspectos de degradação: solo desagregado, composto de partículas individualizadas, de grãos simples ou partículas finas (pó) (RALISCH et al., 2017). A estrutura desagregada é antrópica e é promovida por uma ação mecânica sobre agregados/torrões previamente compactados, normalmente causada pelas ferramentas agrícolas. O atrito da ferramenta com o solo, e entre os agregados do solo quando sofre uma mobilização, como a escarificação, supera as forças de coesão das partículas do solo, desagregando-as (RALISCH et al., 2017).

Os menores IQES foram do PCD e PDEC, não se diferenciando entre si, e foram classificados como qualidade estrutural muito ruim. Nas amostragens foram constatados a predominância de agregados com feições de degradação, com tamanhos inferiores a 1 cm (solo desagregado). Foram constatados também a presença de agregados superiores a 7 cm com características: agregados com faces planas (compactação), com poucos poros e atividade biológica, raízes achatadas com dificuldade de desenvolvimento pleno ou ausência de crescimento. Agregados maiores de 7 cm estão em condições de solo com processo avançado de compactação por ações inadequadas de manejo (RALISCH et al., 2017).

Nos resultados das avaliações físicas do solo, a RP (Figura 7 e Tabela 2) nas camadas 0-0,12 m foram significativamente superiores para o PDC, intermediárias para o PDEC e PD com diferenças entre si e inferiores para o PDE. Nas profundidades de 0,13-0,18 m (camadas superficiais), as maiores RP foram para os manejos compactados PDC e PDEC não havendo diferenças significativas entre esses dois manejos, e as menores RP foram do PD e PDE não apresentando diferença entre eles. Nas camadas de 0,19-0,36 m (camadas mais subsuperficiais) a RP foi superior no PDEC e inferior para o PDE. Nas profundidades de 0,37-0,60 m a RP não foi sensível às diferentes condições de manejo, mantendo-se estável e sem diferir entre o PD, PDE, PDC e PDEC. A média de RP nas camadas de 0-0,30 m, foram superiores para o PDEC e PDC não apresentando diferenças significativas, intermediárias para o PD e inferiores para o PDE.

Na Figura 7 fica evidenciado que a escarificação no PDE diminuiu significativamente a RP em camadas superficiais, porém quando trafegados novamente no PDEC aumenta-se a RP em camadas superficiais e

subsuperficiais, com valores de restitividade ao crescimento radicular, ou seja, ocorre uma recompactação principalmente em subsuperfície. No PD se trafegado por máquinas à um aumento da RP somente em camadas superficiais.

Com a operação mecânica da escarificação no PD à uma diminuição da RP do solo, principalmente em camada superficial, mas consequentemente esta mobilização favorece reduções no suporte de carga (ORTIGARA et al., 2014; BERTOLLO, 2018). Com isso os efeitos benéficos da escarificação do solo em superfície são à curto prazo, aumentando o risco de compactação em camadas mais profundas se trafegados novamente. (SILVA et al., 2012; BERTOLLO, 2018). Cortez et al. (2017); Trentin et al. (2018); Bertollo (2018) apontam que, em áreas sob SPD, os valores de resistência do solo à penetração são maiores em camadas mais superficiais, devido a ação do tráfego de máquinas, mas este manejo é capaz de suportar maior carga do que os solos escarificados.

Figura 7 – Resistência à Penetração (RP) de Latossolo Vermelho distroférrico, a 0-0.60 m de profundidade, sob os manejos: Plantio Direto (PD); Plantio Direto Compactado (PDC); Plantio Direto Escarificado (PDE); Plantio Direto Escarificado Compactado (PDEC).

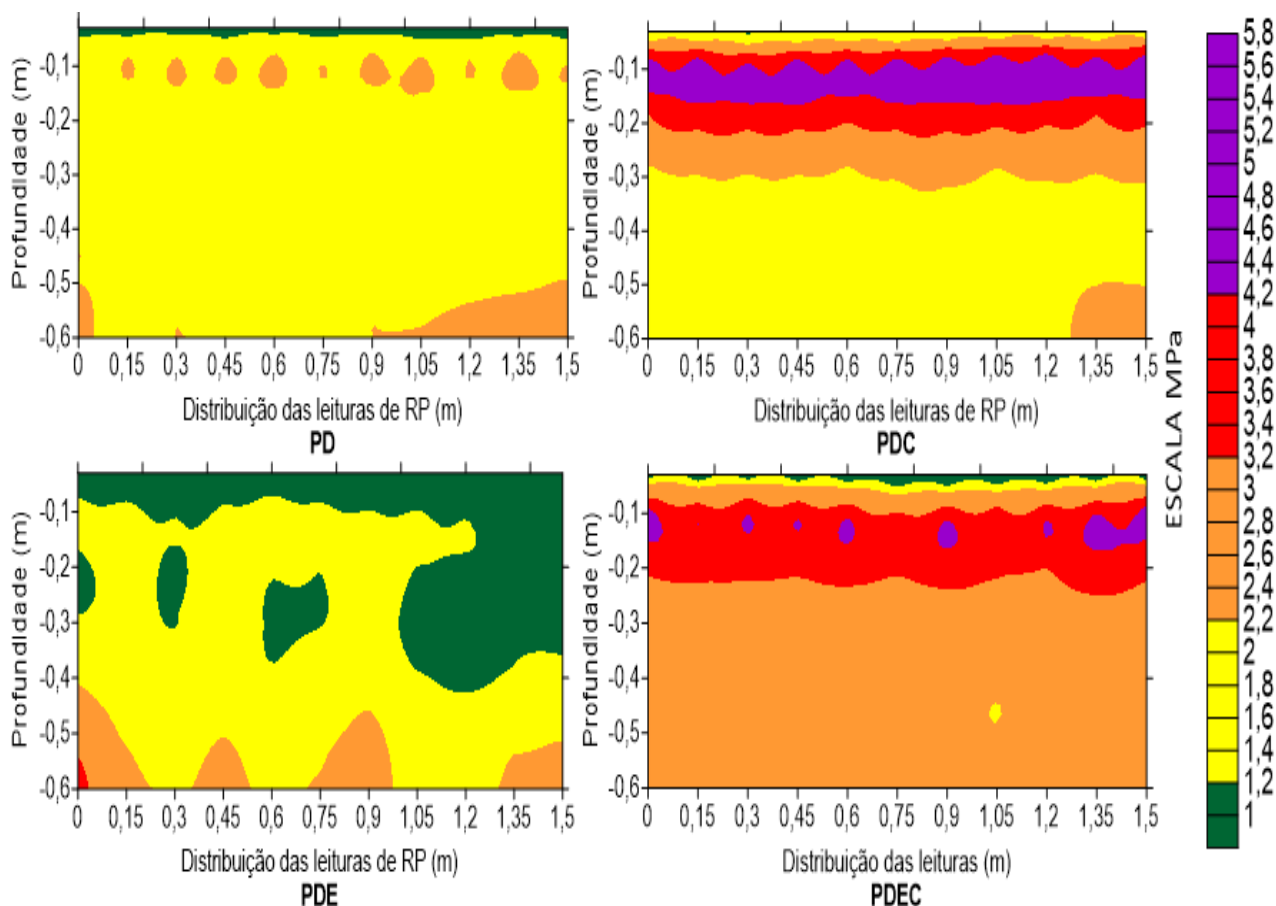


Tabela 2 – Resistência à Penetração (RP) de um Latossolo Vermelho distroférico, a 0-0.60 m de profundidade, sob os manejos: Plantio Direto (PD); Plantio Direto Compactado (PDC); Plantio Direto Escarificado (PDE); Plantio Direto Escarificado Compactado (PDEC).

Perfil (m)	Manejos RP (Mpa)				p-Valor	CV (%)
	PD	PDC	PDE	PDEC		
0,01-0,03	0,66 bc	0,97 a	0,49 c	0,70 b	0.001154	15.19
0,04-0,06	1,82 c	3,08 a	1,04 d	2,27 b	0.000007	11.83
0,07-0,09	2,59 c	4,91 a	1,54 d	3,95 b	0.000000	6.98
0,10-0,12	2,55 c	5,23 a	1,85 d	4,74 b	0.000000	6.21
0,13-0,15	2,19 b	4,39 a	1,82 b	4,44 a	0.000000	7.56
0,16-0,18	1,95 b	3,61 a	1,68 b	3,94 a	0.000000	8.16
0,19-0,21	1,89 c	3,14 b	1,57 d	3,63 a	0.000000	7.01
0,22-0,24	1,92 c	2,76 b	1,53 d	3,27 a	0.000000	6.50
0,25-0,27	1,97 c	2,45 b	1,55 d	2,90 a	0.000002	6.70
0,28-0,30	2,02 b	2,18 b	1,56 c	2,56 a	0.000031	6.87
0,31-0,33	2,02 b	2,00 b	1,59 c	2,35 a	0.000141	6.44
0,34-0,36	2,02 ab	1,90 bc	1,67 c	2,18 a	0.006702	7.84
0,37-0,39	2,00 ns	1,87 ns	1,81 ns	2,10 ns	0.146610	8.81
0,40-0,42	2,06 ns	1,92 ns	2,03 ns	2,15 ns	0.237150	7.01
0,43-0,45	2,14 ns	1,94 ns	2,23 ns	2,16 ns	0.111270	7.18
0,46-0,48	2,19 ns	1,93 ns	2,33 ns	2,17 ns	0.091681	9.03
0,49-0,51	2,25 ns	1,95 ns	2,47 ns	2,25 ns	0.098539	11.41
0,52-0,54	2,33 ns	2,02 ns	2,59 ns	2,27 ns	0.125930	12.86
0,55-0,57	2,39 ns	2,03 ns	2,67 ns	2,27 ns	0.137900	14.73
0,58-0,60	2,44 ns	2,02 ns	2,69 ns	2,28 ns	0.116790	14.82
CAMADA 0-0,30	1,95 b	3,27 a	1,46 c	3,24 a	0.000000	6.32

Médias seguidas de letras diferentes, na linha, diferem pelo teste t de Student (LSD) a 5% de probabilidade.

^{ns} Não significativo.

A DS (Tabela 3) foi maior no PDC e PDEC, e menor no PD e PDE, nas camadas do solo 0-0,10 m, 0-10-0,20 m e na média da camada total 0-0,30 m. Na camada 0,20-0,30 m a DS foi superior no PDC e PDEC, seguida do PD e com valores inferiores no PDE. Foi constatado por Drescher et al. (2011), Gennaro (2011), Bertollo (2018), Pilatti (2018), Silva et al. (2018), Benassi (2019) e Fernandes (2019) que a DS é altamente influenciada na camada superficial do solo (0-0,30 m), devido a influência do tráfego de

máquinas agrícolas ou pela ação de implementos, ocorrendo um rearranjo das partículas do solo.

A MACRO (Tabela 3) foi maior no PDE, diminuindo no PD e PDEC, sendo menor no PDC nas camadas de 0-0,10 m. Também foi relatado por Pilatti (2018) que nesta mesma profundidade a quantidade de MACRO foi maior significativamente para o PDE. Nas profundidades de 0,10-0,20 m e na média da camada total de 0-0,30 m a MACRO foi superior no PDE e PD e inferior no PDC e PDEC. Já na camada 0,20-0,30 m a MACRO foi maior no PDE, reduzindo no PD e apresentando menor no PDC e PDEC. Bortollo (2018) também relatou que MACRO aumenta em profundidade.

A MICRO (Tabela 3) na profundidade 0-0,10 m não foi sensível às diferentes condições de manejo, não se diferenciando entre si. Já nas camadas 0,10-0,20, 0,20-0,30 e na média da camada total de 0-0,30 m a MICRO foi maior no manejo PDC e PDEC e menor no PD e PDE. Bortollo (2018) elucida que com a operação mecânica da escarificação no PD há uma diminuição da MICRO e um aumento da MACRO, explica também que com a compactação do solo pelo tráfego de máquinas podem aumentar os valores da MICRO devido a pressão que é exercida sobre o volume de solo ocupado por poros, que tendem a diminuir seu formato, ocasionando poros de menor tamanho, todo esse processo ocorre a redução da PTC.

A PTC (Tabela 3) foi maior no PDE, intermediário no PD e PDEC, e menor no PDC nas profundidades de 0-0,10 m. Nas camadas de 0,10-0,20, e na média da camada total de 0-0,30 m a PTC foi maior no PD e PDE e menor no PDC e PDEC. Na camada 0,20-0,30 m a PTC foi superior no PDE, seguida do PD com valor intermediário e com valores inferiores no PDC e PDEC.

A produtividade do milho (Tabela 4) foram superiores no PD e PDE, com redução no PDC e com menor rendimento no PDEC. Maiores valores na produção em SPD pode ser justificado por um equilíbrio físico do sistema (BERTOLLO, 2018; MOREIRA et al., 2016). Os efeitos da escarificação do solo na produção de grãos resultaram em aumentos no rendimento na safra seguinte à operação. Porém, este efeito foi efêmero e, a partir do segundo ano após a escarificação, as culturas podem apresentar declínio de produção (CALONEGO et al., 2017; BERTOLLO, 2018). Nos

manejos compactados a estrutura degradada pode interferir na produtividade agrícola das culturas, ocasionando queda em produtividade. O milho é uma das culturas mais afetadas pela compactação (BENASSI, 2019).

Tabela 3 – Porosidade e Densidade de um Latossolo Vermelho distroférico, a 0-0.30 m de profundidade, sob os manejos: Plantio Direto (PD); Plantio Direto Compactado (PDC); Plantio Direto Escarificado (PDE); Plantio Direto Escarificado Compactado (PDEC).

Perfil (m)	Avaliações Físicas ¹	Manejos				P- Valor	CV (%)
		PD	PDC	PDE	PDEC		
0-0,10	DS (Mg m ⁻³)	1,22 b	1,38 a	1,18 b	1,33 a	0.00891	5.54
	MACRO (m ³ m ⁻³)	0,16 ab	0,10 c	0,18 a	0,12 bc	0.03364	22.9
	MICRO (m ³ m ⁻³)	0,42 ns	0,42 ns	0,41 ns	0,42 ns	0.81772	3.94
	PTC (m ³ m ⁻³)	0,59 ab	0,53 c	0,60 a	0,55 bc	0.00808	4.13
0,10-0,20	DS (Mg m ⁻³)	1,24 b	1,45 a	1,23 b	1,46 a	0.00001	2.76
	MACRO (m ³ m ⁻³)	0,14 a	0,04 b	0,14 a	0,05 b	0.00010	22.68
	MICRO (m ³ m ⁻³)	0,43 b	0,46 a	0,43 b	0,46 a	0.02426	2.79
	PTC (m ³ m ⁻³)	0,58 a	0,51 b	0,58 a	0,51 b	0.00001	2.26
0,20-0,30	DS (Mg m ⁻³)	1,25 b	1,36 a	1,13 c	1,44 a	0.00035	4.93
	MACRO (m ³ m ⁻³)	0,13 b	0,07 c	0,20 a	0,04 c	0.00085	32.45
	MICRO (m ³ m ⁻³)	0,44 b	0,47 a	0,42 b	0,47 a	0.00371	3.57
	PTC (m ³ m ⁻³)	0,58 b	0,54 c	0,62 a	0,51 c	0.00035	3.74
CAMADA 0-0,30 0-0,30	DS (Mg m ⁻³)	1,23 b	1,40 a	1,18 b	1,41 a	0.00009	3.46
	MACRO (m ³ m ⁻³)	0,14 a	0,07 b	0,17 a	0,07 b	0.00018	18.91
	MICRO (m ³ m ⁻³)	0,43 b	0,45 a	0,42 b	0,45 a	0.00300	2
	PTC (m ³ m ⁻³)	0,58 a	0,53 b	0,60 a	0,52 b	0.00008	2.67

¹Avaliações Físicas: Densidade do Solo (DS); Macroporosidade (MACRO); Microporosidade (MICRO); Porosidade Total (PTC). Médias seguidas de letras diferentes, na linha, diferem pelo teste t de Student (LSD) a 5% de probabilidade. ^{ns} Não significativo.

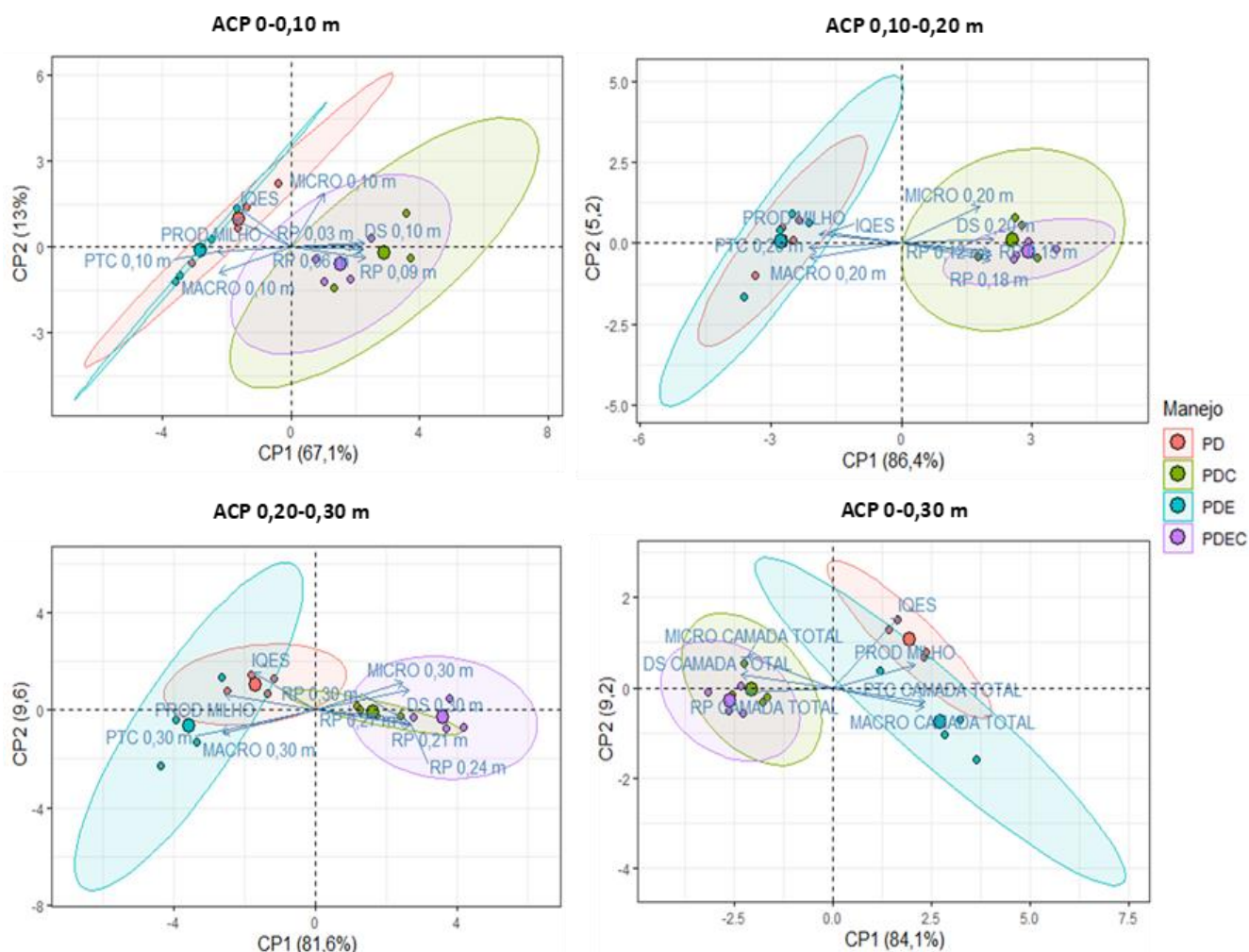
Tabela 4 – Produtividade do Milho segunda safra de um Latossolo Vermelho distroférico, sob os manejos: Plantio Direto (PD); Plantio Direto Compactado (PDC); Plantio Direto Escarificado (PDE); Plantio Direto Escarificado Compactado (PDEC).

	Manejos				P-Valor	CV (%)
	PD	PDC	PDE	PDEC		
PROD MILHO (Mg ha ⁻¹)	6,40 a	5,11 b	6,58 a	3,84 c	0.00004	8,34

Média seguida de letras diferentes, na linha, diferem pelo teste t de Student (LSD) a 5% de probabilidade.

A Análise de Componentes Principais (ACP) (Figura 8) nas profundidades de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0-0,30 m permitiu a separação dos manejos compactados dos não compactados, sendo que os compactados (PDC e PDEC) se correlacionam mais com o IQES, PROD MILHO, MACRO e PTC. Já os não compactados (PD e PDE) se correlacionaram mais com a RP, DS e MICRO. Já na camada 0,20-0,30 m os manejos compactados dos não compactados se separaram, porém houve uma proximidade do PDC com o PD, mas os compactados (PDC e PDEC) se correlacionam mais com o IQES, PROD MILHO, MACRO e PTC os não compactados (PD e PDE) se correlacionaram mais com a RP, DS e MICRO

Figura 8 – Análise de Componentes Principais (ACP) correlacionando os atributos morfológicos e físicos com os manejos de um Latossolo Vermelho distroférico, a 0-0,30 m de profundidade.



Atributos Morfológicos: Índice de Qualidade Estrutural do Solo (IQES) pelo Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES). Atributos Físicos: Taxa de Infiltração Estável (TIE); Resistência à penetração do solo (RP); Densidade do Solo (DS); Macroporosidade (MACRO); Microporosidade (MICRO); Porosidade Total (PTC).

No Coeficiente de correlação de Pearson entre o Índice de Qualidade Estrutural do Solo (IQES) pelo Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES) e atributos físicos (Tabela 5) pode-se destacar correlações negativas e significantes do IQES, com a RP, DS e MICRO, nas camadas do solo 0-0,30 m e correlações positivas significativas com MACRO, PTC E PROD MILHO também nas camadas do solo 0-0,30 m. Nas correlações entre a PROD MILHO e os atributos físicos destaca-se como correlações negativas a RP, DS e MICRO e significantes correlações positivas significativas MACRO e PTC nas camadas do solo 0-0,30m. Ou seja, as correlações do IQES e da PROD MILHO se assemelham com os demais atributos físicos, podendo interpretar que os atributos interferem diretamente na estrutura do solo e conseqüentemente alteram a resposta da produtividade.

Destaca-se (Tabela 5) que na MICRO 0-0,10 m não foi sensível a significância, para a grande maioria das correlações entre os demais atributos físicos. Houve também outras correlações que não obtiveram significância, descritos de forma visual na Figura 9. Os sistemas de manejo podem influenciar essas correlações, ficando elas maiores ou menores. Alguns indicadores são mais ou menos afetados pelo tipo de manejo realizado (FERNANDES, 2019).

Autores como Moncada et al. (2014); Guimarães et al. (2011) e Vogel et al. (2016) demonstraram correlações entre a qualidade estrutural obtido pelo VESS, com os atributos físicos tais como PTC, DS e RP, o que confirma a sensibilidade de métodos visuais na avaliação da estrutura do solo, permitindo também a aplicabilidade destas metodologias sem interferir ou comprometer os resultados, proporcionando resultados rápidos e eficientes.

Na regressão linear segmentada do IQES com a PROD MILHO (Figura 9), observa-se que a produtividade se manteve estável entre o PD (6,4 ton ha⁻¹) e PDE (6,58 ton ha⁻¹), porém o índice do IQES no PDE variou entre 2 a 3, fato que foi explicado devido a desestruturação ocasionada pela ação da escarificação, e no PD se obteve os melhores índice de IQES, variando entre 4 e 5. Conforme esta regressão, índices de IQES abaixo de 2 pode-se apresentar restrição a PROD MILHO, sendo demonstrado pelos manejos PDC (5,11 ton ha⁻¹) e PDEC (3,84 ton ha⁻¹).

Tabela 5 – Coeficiente de correlação de Pearson entre o Índice de Qualidade Estrutural do Solo (IQES) pelo Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES) e atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico, a 0-0.30 m de profundidade, sob os manejos: Plantio Direto (PD); Plantio Direto Compactado (PDC); Plantio Direto Escarificado (PDE); Plantio Direto Escarificado Compactado (PDEC) com produtividade do milho.

	RP 0,03 m	RP 0,06 m	RP 0,09 m	RP 0,12 m	RP 0,15 m	RP 0,18 m	RP 0,21 m	RP 0,24 m	RP 0,27 m	RP 0,30 m	RP CAMADA 0-0,30 m	DS 0,10 m	DS 0,20 m	DS 0,30 m	DS CAMADA 0-0,30 m	MACRO 0,10 m	MACRO 0,20 m	MACRO 0,30 m	MACRO CAMADA 0-0,30 m	MICRO 0,10 m	MICRO 0,20 m	MICRO 0,30 m	MICRO CAMADA 0-0,30 m	PTC 0,10 m	PTC 0,20 m	PTC 0,30 m	PTC CAMADA 0-0,30 m	PROD MILHO
IQES	-0.35 ns	-0.45 ns	-0.57 *	-0.68 **	-0.72 **	-0.73 **	-0.70 **	-0.64 **	-0.56 *	-0.37 ns	-0.66 **	-0.54 *	-0.76 **	-0.47 ns	-0.63 **	0.43 ns	0.73 **	0.46 ns	0.59 *	-0.07 ns	-0.61 *	-0.42 ns	-0.49 *	0.52 *	0.75 **	0.47 ns	0.62 **	0.68 **
RP 0,03 m		0.95 **	0.86 **	0.75 **	0.70 **	0.66 **	0.61 *	0.56 *	0.52 *	0.45 ns	0.75 **	0.69 **	0.62 **	0.48 ns	0.63 **	-0.65 **	-0.59 *	-0.50 *	-0.62 **	0.24 ns	0.41 ns	0.51 *	0.53 *	-0.71 **	-0.64 **	-0.48 ns	-0.64 **	-0.38 ns
RP 0,06 m			0.97 **	0.89 **	0.83 **	0.80 **	0.76 **	0.73 **	0.69 **	0.62 **	0.89 **	0.77 **	0.76 **	0.65 **	0.77 **	-0.73 **	-0.74 **	-0.68 **	-0.78 **	0.29 ns	0.54 *	0.69 **	0.71 **	-0.79 **	-0.78 **	-0.65 **	-0.79 **	-0.57 *
RP 0,09 m				0.97 **	0.91 **	0.88 **	0.85 **	0.83 **	0.78 **	0.68 **	0.95 **	0.81 **	0.87 **	0.77 **	0.87 **	-0.75 **	-0.85 **	-0.79 **	-0.87 **	0.26 ns	0.66 **	0.80 **	0.80 **	-0.82 **	-0.89 **	-0.77 **	-0.88 **	-0.70 **
RP 0,12 m					0.98 **	0.96 **	0.93 **	0.91 **	0.86 **	0.75 **	0.98 **	0.83 **	0.93 **	0.81 **	0.92 **	-0.72 **	-0.91 **	-0.83 **	-0.90 **	0.18 ns	0.73 **	0.82 **	0.80 **	-0.83 **	-0.94 **	-0.81 **	-0.92 **	-0.79 **
RP 0,15 m						0.99 **	0.98 **	0.96 **	0.92 **	0.82 **	0.99 **	0.83 **	0.94 **	0.82 **	0.92 **	-0.71 **	-0.91 **	-0.82 **	-0.89 **	0.16 ns	0.72 **	0.79 **	0.77 **	-0.83 **	-0.94 **	-0.82 **	-0.92 **	-0.83 **
RP 0,18 m							0.99 **	0.98 **	0.94 **	0.85 **	0.98 **	0.79 **	0.93 **	0.82 **	0.91 **	-0.69 **	-0.88 **	-0.81 **	-0.88 **	0.17 ns	0.68 **	0.77 **	0.75 **	-0.79 **	-0.92 **	-0.82 **	-0.90 **	-0.87 **
RP 0,21 m								0.99 **	0.97 **	0.89 **	0.97 **	0.77 **	0.91 **	0.84 **	0.90 **	-0.67 **	-0.87 **	-0.82 **	-0.87 **	0.18 ns	0.67 **	0.76 **	0.75 **	-0.76 **	-0.91 **	-0.84 **	-0.90 **	-0.90 **
RP 0,24 m									0.99 **	0.93 **	0.96 **	0.74 **	0.89 **	0.83 **	0.88 **	-0.64 **	-0.84 **	-0.81 **	-0.85 **	0.18 ns	0.65 **	0.75 **	0.73 **	-0.73 **	-0.89 **	-0.83 **	-0.88 **	-0.90 **
RP 0,27 m										0.97 **	0.92 **	0.70 **	0.83 **	0.81 **	0.84 **	-0.60 *	-0.79 **	-0.78 **	-0.81 **	0.16 ns	0.61 *	0.72 **	0.69 **	-0.69 **	-0.83 **	-0.81 **	-0.84 **	-0.87 **
RP 0,30 m											0.84 **	0.63 **	0.70 **	0.74 **	0.74 **	-0.53 *	-0.65 **	-0.72 **	-0.71 **	0.12 ns	0.48 ns	0.65 *	0.59 *	-0.62 **	-0.70 **	-0.74 **	-0.74 **	-0.77 **
RP CAMADA 0-0,30 m												0.82 **	0.92 **	0.83 **	0.92 **	-0.73 **	-0.89 **	-0.83 **	-0.90 **	0.21 ns	0.69 **	0.80 **	0.79 **	-0.82 **	-0.93 **	-0.83 **	-0.92 **	-0.83 **
DS 0,10 m													0.83 **	0.74 **	0.90 **	-0.92 **	-0.82 **	-0.76 **	-0.90 **	0.34 ns	0.68 **	0.76 **	0.81 **	-1 **	-0.84 **	-0.74 **	-0.91 **	-0.59 **
DS 0,20 m														0.86 **	0.96 **	-0.74 **	-0.99 **	-0.85 **	-0.94 **	0.24 ns	0.84 **	0.80 **	0.85 **	-0.82 **	-1 **	-0.86 **	-0.96 **	-0.87 **
DS 0,30 m															0.94 **	-0.66 **	-0.85 **	-0.99 **	-0.94 **	0.21 ns	0.73 **	0.95 **	0.89 **	-0.74 **	-0.86 **	-1 **	-0.94 **	-0.81 **
DS CAMADA 0-0,30 m																-0.81 **	-0.95 **	-0.94 **	-0.99 **	0.27 ns	0.81 **	0.90 **	0.91 **	-0.90 **	-0.96 **	-0.94 **	-1 **	-0.82 **
MACRO 0,10 m																	0.72 **	0.67 **	0.84 **	-0.68 **	-0.56 *	-0.67 **	-0.85 **	0.92 **	0.75 **	0.66 **	0.82 **	0.53 *
MACRO 0,20 m																		0.84 **	0.94 **	-0.20 ns	-0.92 **	-0.80 **	-0.87 **	0.81 **	0.99 **	0.85 **	0.95 **	0.83 **
MACRO 0,30 m																			0.94 **	-0.20 ns	-0.72 **	-0.98 **	-0.90 **	0.76 **	0.85 **	0.99 **	0.94 **	0.77 **
MACRO CAMADA 0-0,30 m																				-0.35 ns	-0.81 **	-0.92 **	-0.96 **	0.89 **	0.95 **	0.94 **	0.99 **	0.79 **
MICRO 0,10 m																					0.09 ns	0.17 ns	0.53 ns	-0.34 **	-0.24 **	-0.14 **	-0.27 **	-0.20 **
MICRO 0,20 m																						0.68 **	0.79 **	-0.67 **	-0.84 **	-0.73 **	-0.80 **	-0.68 **
MICRO 0,30 m																							0.89 **	-0.76 **	-0.81 **	-0.95 **	-0.91 **	-0.69 **
MICRO CAMADA 0-0,30 m																								-0.81 **	-0.86 **	-0.89 **	-0.92 **	-0.72 **
PTC 0,10 m																									0.83 **	0.74 **	0.90 **	0.57 *
PTC 0,20 m																										0.86 **	0.96 **	0.86 **
PTC 0,30 m																											0.94 **	0.81 **
PTC CAMADA 0-0,30 m																												0.81 **

Atributos Físicos: Taxa de Infiltração Estável (TIE); Resistência à penetração do solo (RP); Densidade do Solo (DS); Macroporosidade (MACRO); Microporosidade (MICRO); Porosidade Total (PTC). Coeficientes de correlação significativos a $p \leq 0.05$ (*), ≤ 0.01 (**) foram destacadas. (ns) Não significativo.

A correlação da média de RP da camada 0-0,30 m com a PROD MILHO na regressão linear segmentada (Figura 9), demonstra que pode haver uma restritividade na PROD MILHO quando a RP for maior que 1,99 MPa, observa-se que após este valor houve um declínio da PROD MILHO nos manejos PDC e PDEC em relação ao PD e PDE. Já Moraes et al. (2014) propôs limite crítico de RP acima de 3,5 Mpa para o PD.

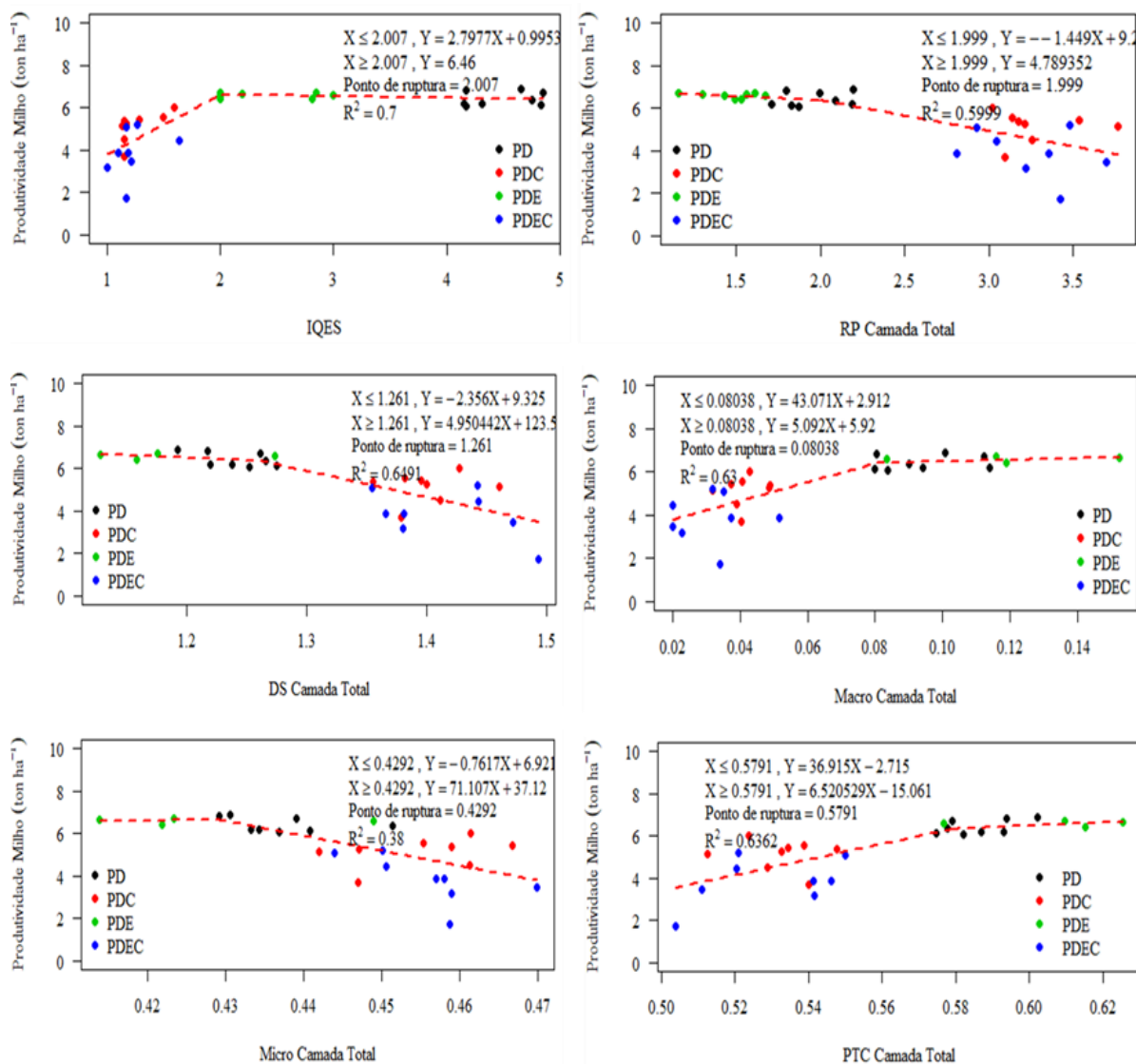
Na regressão linear segmentada da média da DS camada 0-0,30 m com a PROD MILHO (Figura 9), nota-se que DS superior a $1,26 \text{ Mg m}^{-3}$, pode haver uma restritividade na PROD MILHO, há um decréscimo dos manejos PDC e PDEC em relação ao PD e PDE. Em Fernandes (2019) é relatado que valores de DS entre 1,2 a $1,5 \text{ Mg m}^{-3}$ podem prejudicar o crescimento das raízes e conseqüentemente restringir o desenvolvimento e a produtividade das plantas.

Na média da MACRO na camada 0-0,30 m na regressão linear segmentada com a PROD MILHO (Figura 9) observa-se que valores de MACRO abaixo de $0,08 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ podem ser restritivos a PROD MILHO, após este valor houve um declínio dos manejos PDC e PDEC em relação ao PD e PDE. Estes resultados foram contrastantes em Andrade e Stone (2009), citados por Silva; Benevenuto; Melo (2017) que afirmam que valores de macro são considerados críticos com $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para o desenvolvimento e produtividade das culturas.

Na regressão linear segmentada média da MICRO na camada 0-0,30 m com a PROD MILHO (Figura 9) nota-se que MICRO maiores que $0,42 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ indica possível restritividade ao rendimento de grãos, houve um declínio dos manejos PD, PDC e PDEC em relação ao PDE. A correlação da média de PTC da camada 0-0,30 m com a PROD MILHO na regressão linear segmentada (Figura 9), foi possível observar que PTC inferior a $0,57 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ pode ser restritivo a PROD MILHO, observa-se que há um decréscimo dos manejos PDC e PDEC em relação ao PD e PDE.

Através dos resultados da Regressão linear segmentada dos atributos morfológicos e físicos correlacionando com a produtividade do milho, gostaríamos de propor uma tabela (Tabela 6), com valores para qualidade do atributos: DS; MACRO; MICRO; PTC; IQES; RP e PROD MILHO, sendo classificado as qualidades como: Muito Boa; Boa; Regular; Ruim e Muito Ruim. Estes valores propostos foram calibrados com base nas restritvidades das regressões, porém ainda necessitam de ajustes para uma melhor eficiência.

Figura 9 – Regressão linear segmentada dos atributos morfológicos e físicos correlacionando com a produtividade do milho, em um Latossolo Vermelho distroférico, a 0-0.30 m de profundidade, sob os manejos: Plantio Direto (PD); Plantio Direto Compactado (PDC); Plantio Direto Escarificado (PDE); Plantio Direto Escarificado Compactado (PDEC).



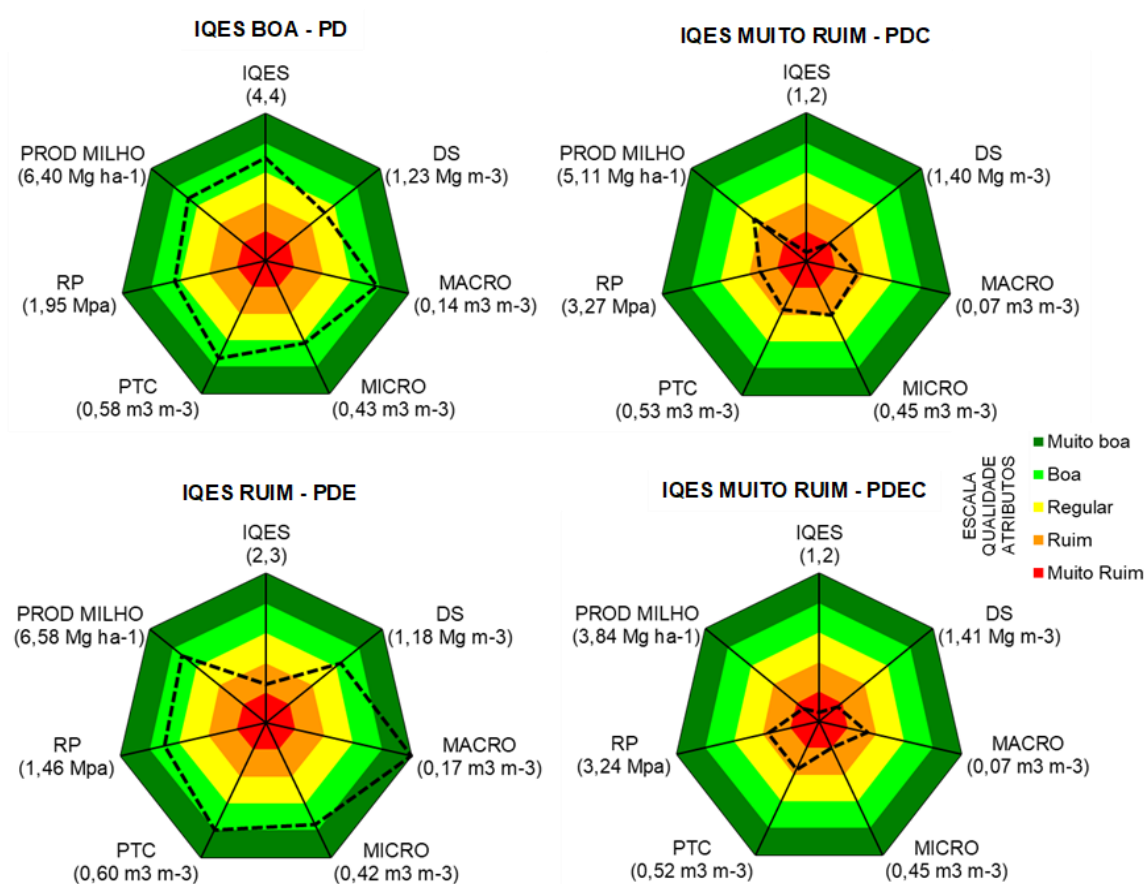
Atributos Morfológicos: Índice de Qualidade Estrutural do Solo (IQES) pelo Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES). Atributos Físicos: Resistência à penetração do solo (RP); Densidade do Solo (DS); Macroporosidade (MACRO); Microporosidade (MICRO); Porosidade Total (PTC).

De acordo com a proposta dos índices de qualidade dos atributos (Tabela 6) foi gerado gráficos de radar com a correlação dos atributos morfológicos e físicos com a Qualidade Estrutural do Solo (IQES), sob manejos de um Latossolo Vermelho distroférico, a 0-0.30 m de profundidade (Figura 10). Os gráficos foram separados por manejo e por qualidade estrutural.

O PD obteve as seguintes qualidades dos atributos: IQES boa; DS regular; MACRO boa; MICRO boa; PTC boa; RP boa; PROD MILHO boa. No PDE

as qualidades dos atributos foram: IQES ruim; DS boa; MACRO muito boa; MICRO boa; PTC boa; RP boa; PROD MILHO boa. No PDC as qualidades dos atributos foram: IQES muito ruim; DS ruim; MACRO ruim; MICRO ruim; PTC ruim; RP ruim; PROD MILHO regular. Já no PDC as qualidades dos atributos foram: IQES muito ruim; DS muito ruim; MACRO ruim; MICRO ruim; PTC ruim; RP ruim; PROD MILHO muito ruim.

Figura 10 – Correlação dos atributos morfológicos e físicos com a Qualidade Estrutural do Solo (IQES), sob manejos de um Latossolo Vermelho distroférrico, a 0-0.30 m de profundidade.



Índice de Qualidade Estrutural do Solo avaliado pelo DRES, com a classificação das classes: Muito Boa (IQES entre 5 e 6); Boa (IQES entre 4 e 4.9); Regular (IQES entre 3 e 3.9); Ruim (IQES entre 2 e 2.9); Muito Ruim (IQES entre 1 e 1.9). Manejos do solo: Plantio Direto (PD); Plantio Direto Compactado (PDC); Plantio Direto Escarificado (PDE); Plantio Direto Escarificado Compactado (PDEC). Atributos Morfológicos: Índice de Qualidade Estrutural do Solo (IQES) pelo Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES). Atributos Físicos: Densidade do Solo (DS); Macroporosidade (MACRO); Microporosidade (MICRO); Porosidade Total (PTC); Resistência à penetração do solo (RP). Produtividade do Milho (PROD MILHO).

Tabela 6 – Interpretações da qualidade de atributos morfológicos e físicos de um Latossolo Vermelho distroférico em relação a produtividade do milho segunda safra, sob os manejos: Plantio Direto (PD); Plantio Direto Compactado (PDC); Plantio Direto Escarificado (PDE); Plantio Direto Escarificado Compactado (PDEC), com base em análises de regressão.

Qualidade Atributos	MUITO BOA	BOA	REGULAR	RUIM	MUITO RUIM
DS (Mg m ⁻³)	<1,10	1,10 - 1,20	1,20 - 1,30	1,30 - 1,40	>1,40
MACRO (m ³ m ⁻³)	>0,15	0,12 - 0,15	0,08 - 0,12	0,05 - 0,08	<0,05
MICRO (m ³ m ⁻³)	<0,43	0,43 - 0,44	0,44 - 0,45	0,45 - 0,46	>0,46
PTC (m ³ m ⁻³)	>0,60	0,57 - 0,60	0,54 - 0,57	0,51 - 0,54	<0,51
IQES	5,0 – 6,0	4,0 - 4,9	3,0 - 3,9	2,0 - 2,9	1,0 - 1,9
RP (Mpa)	< 1,2	1,2 - 2,2	2,2 - 3,2	3,2 - 4,2	>4,2
PROD MILHO (ton ha ⁻¹)	<4,0	4,0 - 5,0	5,0 - 6,0	6,0 - 7,0	>7,0

Atributos Morfológicos: Índice de Qualidade Estrutural do Solo (IQES) pelo Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES). Atributos Físicos: Taxa de Infiltração Estável (TIE); Resistência à penetração do solo (RP); Densidade do Solo (DS); Macroporosidade (MACRO); Microporosidade (MICRO); Porosidade Total (PTC).

A agregação não pode ser considerada uma reação apenas física, química ou biológica e sim, o reflexo da interação de todas essas forças atuando no solo. É possível considerar a agregação como um fiel indicador da saúde, estado global e da qualidade do solo. (PECHE FILHO, 2018; HERNANI 2018). O PD com fundamentos no revolvimento mínimo, na cobertura permanente e na rotação de culturas permite uma agricultura sustentável e pode ser utilizado como uma proposta para diversificação e aumento de produtividade. Porém a ineficiência desses fundamentos, aliados ao tráfego intensivo de máquinas pesadas podem acarretar a compactação no solo (SANTOS et al., 2020).

A intensidade que um solo é compactado depende do tipo do manejo, número de tráfegos sobre a área, tipo de rodado das máquinas e o teor de umidade. (ZHAO et al., 2010; BERTOLLO, 2018). A compactação induz ao aumento da DS e RP, provoca diminuição da PTC, alteração na distribuição do tamanho dos poros, das propriedades hidráulicas do solo e da difusão de gases no solo (MATTOS, 2016). A compactação do solo é um fenômeno que envolve inter-relações significativas entre as propriedades físicas e biológicas mais reconhecidas dos solos (NAVEED et al., 2013; VEREECKEN et al., 2016). Na condição de presença de

camada compactada em subsuperfície, há limitações no desenvolvimento do sistema radicular das culturas e, conseqüentemente, na absorção de água e nutrientes, provocando diminuição da produtividade. (BERTOLLO, 2018).

A utilização da escarificação mecânica para redução das camadas compactadas no PD, melhora as propriedades físicas do solo, porém os efeitos persistem por curto período. Esses efeitos não foram perceptíveis por mais de 24 meses (NUNES et al., 2014; PILATTI, 2018). A escarificação não resulta em ganho de qualidade estrutural do solo, pelo contrário, a continuidade da utilização de haste pode agravar ainda mais a estrutura do solo, principalmente se trafegados novamente (SANTOS et al., 2020).

Para avaliar a qualidade do solo é necessária a seleção de indicadores e modelos para verificar as influências do manejo. Os indicadores de qualidade do solo podem ser divididos em atributos físicos, químicos, biológicos e complementarmente, os visuais (TUCHTENHAGEN, 2018).

A avaliação da qualidade física é realizada através de parâmetros quantitativos por atributos, como a DS, MACRO, MICRO, PTC e RP que permitem identificar as influências dos sistemas de manejo sob a qualidade física de um Latossolo Vermelho, pois a partir da estrutura do solo, através da geometria dos poros é possível analisar as alterações provocadas. Estes atributos são dinâmicos e amplamente utilizados como indicadores de qualidade do solo (OLIVEIRA et al., 2015; ALMEIDA et al. 2016; SILVA, BENEVENUTE e MELO, 2017; PILATTI, 2018).

A DS tem sido utilizada como um parâmetro físico em trabalhos que tem a finalidade de validar metodologias que avaliam a estrutura do solo de forma visual, como foi o caso por exemplo do Perfil Cultural (NEVES et al., 2003; MATTOS, 2016). Afirmam Klein; Libardi (2002); Pilatti (2018) que a DS é dos atributos físicos mais sensíveis pela degradação estrutural do solo, principalmente ocasionada pela compactação devido as alterações no arranjo e volume dos poros. Andrade et al. (2013); Chen et al. (2014); Silva, Benevenute, Melo (2017) e Bertollo (2018); Fernandes (2019) relatam que à medida que a densidade há acréscimo, a PTC diminui, há incrementos na RP e por conseqüentemente pode impedir o crescimento vegetativo e diminuir a produtividade da cultura.

A MACRO é considerada um bom indicador da condição estrutural ou física do solo (OLIVEIRA; LIMA; VERBURG, 2015; BENASSI, 2019; PILATTI, 2018). Os MICRO são responsáveis pela retenção e armazenamento de água e os

MACRO pela aeração do solo (SILVA; BENEVENUTE; MELO, 2017). A razão entre MACRO e MICRO é um indicador sensível de compactação do solo; seus valores indicam o quanto de MACRO está sendo alterado em relação ao volume de MICRO (ROSSETTI e CENTURION, 2013; OLIVEIRA; LIMA; VERBURG, 2015).

A PTC é um indicador da qualidade física essencial no solo, pois quanto maior o volume de poros, maior é a relação com a ausência de tráfego e operações mecânicas (ROSSETTI e CENTURION, 2013; OLIVEIRA; LIMA; VERBURG, 2015). Porém Jorge et al. (2012) afirmam que para se entender melhor o comportamento poroso do solo, a distribuição de poros por tamanho é mais importante do que a porosidade total. Benassi (2019) evidencia que a PTC tem ação inversamente proporcional a DS, a PTC será menor quanto maior for a DS.

Análises de RP são relativamente simples, rápidas e baratas e tem o potencial de fornecer informações sobre o estado de compactação do solo em diversas profundidades, simulam a pressão exercida do crescimento radicular ao longo do perfil (NEWELL-PRICE et al., 2013; SOUZA, 2015). A RP pode ser correlacionada com outros atributos do solo, tais como DS, PTC, MACRO, MICRO, entre outros, aumentando e confirmando desta forma a sua importância na determinação de um índice de qualidade do solo (FERNANDES, 2019).

Pesquisas idealizadas para avaliar a produtividade da cultura do milho em função de variações de manejo e avaliação dos atributos físicos do solo, têm demonstrado efeitos consideráveis de tais variações sobre os componentes de rendimento do milho (SCHIEBELBEIN, 2017).

Os métodos convencionais físicos para a quantificação das propriedades e avaliação da qualidade do solo exigem conhecimentos metodológicos variados, infraestrutura (equipamentos e laboratórios), tempo e recursos consideráveis (GUIMARÃES et al., 2011; SOUZA, 2015). Por isso na ciência do solo foi fundamental a criação de metodologias rápidas e simples que fossem capazes de avaliar a qualidade do solo de uma forma importante para a estratégia no planejamento agrícola, possibilitando a identificação e o aprimoramento de sistemas de manejo e de preservação ambiental. (STEFANOSKI et al., 2013; GUIMARÃES et al., 2017; TUCHTENHAGEN, 2018).

A aplicação de metodologias visuais não pode ser consideradas propriedades físicas, mas sim semi-quantitativas do solo (CHERUBIN et al., 2017). Essas metodologias têm se demonstrado eficientes, pois fornecem informações da

qualidade estrutural para se estabelecer estratégias de manejo do solo de maneira rápida, imediata, segura, com poucos equipamentos e recursos para pesquisadores, consultores técnicos, estudantes e agricultores (GIAROLA et al., 2010; GUIMARÃES et al., 2013; STEFANOSKI et al., 2013; SOUZA, 2015; VOGEL et al., 2016; RIETH, 2019). Mas afirma Cherubin et al. (2017) que essas informações oriundas das análises visuais devem ser relacionadas sempre que possível com os atributos quantitativos físicos do solo.

Ralisch et al. (2017) elucida que entre os métodos de avaliação visual da estrutura do solo podemos citar o Perfil Cultural de Hénin et al. (1960), ampliado por Gautronneau e Manichon (1987), e adaptado por Tavares Filho et al. (1999) para solos tropicais, que se fundamenta na morfologia do solo, considera a avaliação de raízes, os efeitos das operações agrícolas, mas também exige abertura de trincheira ampla e profunda. A Avaliação da Qualidade do Solo (MSQR), desenvolvida por Mueller et al. (2007), apresenta índices definidos visualmente com base no clima, topografia, estrutura e textura do solo. O VSA (Visual Soil Assessment), desenvolvido por Shepherd (2000) exige complemento de medições laboratoriais. O VESS (Visual Evaluation of Soil Structure), descrito por Ball et al. (2007), foi proposto para avaliar a qualidade física do solo de forma rápida, confiável e sensível aos efeitos do manejo. No Brasil, o método VESS vem sendo usado desde 2008, para avaliar a qualidade da estrutura dos solos sob diferentes sistemas de uso e gestão (GIAROLA et al., 2009, 2010; GUIMARÃES et al., 2011), porém, este método não reconhece como um problema e como uma degradação da estrutura, a condição de solo desagregado. SOUZA (2015) explica que essas metodologias não foram desenvolvidas para solos tropicais, possuem técnicas europeias, que têm sido adaptadas e aplicadas nos solos Brasileiros.

O DRES trata-se de abordagem distinta do VESS, pois além das evidências de compactação comumente observadas na amostra, o DRES considera, também, outros efeitos dos processos de degradação, como predomínio de estruturas desagregadas, associadas à compactação e à erosão, bem como as evidências de recuperação da estrutura do solo (RALISCH et al., 2017; ZEBALOS et al., 2018; RIBEIRO; PADOVAN; FEIDEN, 2019).

O DRES, através do IQES apresentou boas correlações com as propriedades físicas e a produtividade do milho, comprovando ser um método de confiança para avaliação qualitativa da estrutura, sendo capaz de determinar as

características de feições do solo em respostas às modificações provocadas pelo tipo de manejo. Esta metodologia não substitui os demais atributos físicos, mas permite de forma instantânea e eficiente avaliar a qualidade estrutural do solo, contribuindo para uma maior sustentabilidade da produção agrícola, auxiliando os agricultores e profissionais nas tomadas de decisões.

5 Considerações Finais

O manejo PD apresentou IQES boa, devido à predominância de agregados com tamanhos e feições de conservação. O PDE obteve IQES ruim, pois houve uma predominância de agregado desestruturados, o que denota degradação. O PDC e PDEC apresentaram IQES muito ruim, por causa da presença de agregados com tamanho e características de compactação.

O IQES obteve correlações negativas com a RP, DS e MICRO e correlações positivas significativas com MACRO, PTC E PROD MILHO.

Nas correlações entre a PROD MILHO e os atributos físicos e morfológicos, destaca-se como correlações negativas com a RP, DS e MICRO e correlações positivas entre MACRO e PTC.

O DRES demonstrou ser uma metodologia rápida, de baixo custo e confiável na avaliação da qualidade estrutural do solo, sendo eficiente na identificação de camadas compactadas ou desestruturadas, podendo contribuir na sustentabilidade da produção agrícola.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, S. de; CARVALHO, D. F. de; PANACHUKI, E.; VALIM, W. C.; RODRIGUES, A. S.; VARELLA, C. A. A. Erosão hídrica em diferentes sistemas de cultivo e níveis de cobertura do solo. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.51, n.9, p. 1110-1119. 2016.

ALMEIDA, Karina Miranda de et al. AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DO SOLO NO PROJETO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL PORTO SEGURO, MARABÁ – PA. **Revista Encontros Regionais de Agroecologia do Nordeste**, Marabá, v. 2, n. 1, p.1-6. 2018.

ANDRADE, R.S.; STONE, L.F. Índice S como indicador da qualidade física de solos do Cerrado brasileiro. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Piracicaba, v.13, p.382-388, 2009.

ANDRADE, R. da S.; STONE, L.F.; GODOY, S.G. de. Estimativa da resistência do solo à penetração baseada no índice S e no estresse efetivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Piracicaba, v.17, n.9, p.932–937, 2013.

ANGELOTTI NETO, A.; FERNANDES, E. J. Avaliação da taxa de infiltração de água em um latossolo vermelho submetido a dois sistemas de manejo. **Irriga**. Botucatu. v.10. n.2, p.107-115, 2005.

BALL, B. C.; BATEY, T.; MUNKHOLM, L. J. Field assessment of soil structural quality - a development of the Peerkamp test. **Soil Use and Management**, v.23, p. 329-337, 2007.

BAVOSO M. A., SILVA A. P., FIGUEIREDO G. C., TORMENA C. A., GIAROLA N. F. B. Resiliência física de dois Latossolos Vermelhos sob plantio direto. **R Bras Ci Solo**. 2012; 36:1892-1904.

BENASSI, Caetano. **QUALIDADE DE UM LATOSSOLO MANEJADO COM PLANTIO DIRETO SOB ROTAÇÕES APÓS TRÊS ANOS**. 2019. 56 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Agronomia, Programa de Pós Graduação em Agronomia, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2019.

BERTOL, I.; ALMEIDA, E. X.; JURTZ, C. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem Capim Elefante Anão cv Mott. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.5. p.1047-1054, 2000.

BERTOLLO, Altamir Mateus. **QUALIDADE FÍSICA DE LATOSSOLO VERMELHO EM FUNÇÃO DE PLANTAS E CARGAS EM SISTEMA PLANTIO DIRETO COM E SEM ESCARIFICAÇÃO**. 2018. 117 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia,

Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 8. ed. São Paulo: Ícone, 2012. 355p.

BONINI, Carolina dos Santos Batista et al. Produção de forragem e atributos químicos e físicos do solo em sistemas integrados de produção agropecuária. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1695-1698, set. 2016. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2016000901695&lng=pt&nrm=iso>. acessos em 23 jun. 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2016000900070>.

BOULAL, H.; GÓMEZ-MACHPHERSON, H.; GÓMEZ, J. A.; MATEOS, L. Effect of soil management and traffic on soil erosion in irrigated annual crops. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 115–116, p. 62–70, out/nov, 2011.

BRANDÃO, V. S.; CECILIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. **Infiltração da água no solo**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2006. 120 p.

BOIZARD, HUBERT ; PEIGNÉ, JOSÉPHINE ; SASAL, MARÍA CAROLINA ; DE FÁTIMA GUIMARÃES, MARIA ; PIRON, DENIS ; TOMIS, VINCENT ; VIAN, JEAN-FRANÇOIS ; CADOUX, STÉPHANE ; ralisch, ricardo ; TAVARES FILHO, JOÃO ;

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise 18 de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 395 p.

BOTTA, G.F.; JORAJURIA, D.; BALBUENA, R.; RESSIA, M.; FERRERO, C.; ROSATTO, H.; TOURN, M. Deep tillage and traffic effects on subsoil compaction and sunflower (*Helianthus annuus* L.) yields. **Soil and Tillage Research**, v.91, p.164-172, 2006. DOI: 10.1016/j.still.2005.12.011.

CALHEIROS, C. B. M.; TENÓRIO, F. J. C.; CUNHA, J. L. X. L.; SILVA, E. T.; SILVA, D. F.; SILVA, J. A. C. Definição da taxa de infiltração para dimensionamento de sistemas de irrigação por aspersão. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 6, p. 665-670, 2009.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba, Degaspar, 1997. 132p.

CARDOSO, F. Plantio Direto – ano 2000. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 90, p. 12-13, jun. 2000.

CARVALHO FILHO, A. et al. Métodos de preparo do solo: alterações na rugosidade do solo. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 1, p. 229-237, 2007.

CARVALHO FILHO, A.; CARVALHO, L. C. C.; CENTURION, J. F.; BEUTLER, A. N.; CORTEZ, J. W.; RIBON, A. A. **Qualidade física de um Latossolo Vermelho Férrico sob sistema de uso e manejo**. Biosci. J., 25: 43-51, 2009.

CARVALHO, A. P. V.; DIAS, H. C. T.; PAIVA, H. N.; TONELLO, K. C. Resistência mecânica do solo a penetração na bacia hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia-MG. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 36, n. 6, p. 1091-1097, 2012.

CASTRO, O. M.; VIEIRA, S. R.; SIQUEIRA, G. M. Atributos físico-hídricos de um Latossolo Vermelho eutroférico sob diferentes sistemas de manejo. *Bragantia*, Campinas, v. 69, n. 2, p. 433-443, 2010.

CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo sob diferentes usos e manejos. *Revista de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, n. 3, p. 237-243, 2011.

CECCATTO, Smaylla El Kadri et al. Infiltração de água no solo pelos métodos do permeâmetro de guelph e infiltrômetro de cornell. In: VI REUNIÃO PARANAENSE DE CIÊNCIA DO SOLO, 6, 2019, Ponta Grossa. **Anais**. Ponta Grossa: RPSC, 2019. v. 6, p. 1 - 4.

CECCON, G. Milho safrinha com braquiária em consórcio. Dourados, MS: **Embrapa Agropecuária Oeste**, 2008. 7p. (Comunicado Técnico, 251).

CECÍLIO, R. A.; MARTINEZ, M. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.; ATAÍDE, W. F. Substituição dos parâmetros do modelo de Green-Ampt-Mein-Larson para estimativa da infiltração em alguns solos do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 1141-1151, 2007.

CHAVES, H. M. L.; ORLOWISK, W. E.; ROLOFF, G. Previsão da infiltração sob condições dinâmicas de selamento superficial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, p.141 – 147, 1993.

CHEN, G.; WEIL, R. R.; HILL, R. L. Effects of compaction and cover crops on soil least limiting water range and air permeability. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 136, p. 61-69, 2014.

CHERUBIN, Maurício R. et al. Assessing soil structural quality under Brazilian sugarcane expansion areas using Visual Evaluation of Soil Structure (VESS). **Soil And Tillage Research**, [s.l.], v. 173, p.64-74, nov. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2016.05.004>.

CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira: V. 6 - SAFRA 2018/19- N. 12 – Décimo segundo levantamento**. Setembro 2019. Disponível em: < www.conab.gov.br › boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 24 janeiro 2019.

CORTEZ, W. J. et al. Agronomical attributes of soybeans and soil resistance to penetration in no-tillage and chiseled surfaces. **Engenharia Agrícola**, Botucatu, v. 37, n. 1, p. 98-105, 2017.

CORTEZ, Jorge Wilson et al. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em um sistema de semeadura direta. **Científica**, [s.l.], v. 47, n. 2, p.175-182, 4 jun. 2019. FUNEP. <http://dx.doi.org/10.15361/1984-5529.2019v47n2p175-182>.

COSTA F. X., NUNES JÚNIOR E. S.; MELO FILHO J. S. Efeito da torta de mamona no plantio da mamoneira com diferente densidade global do solo. **Revista Engenharia Ambiental: pesquisa e tecnologia**, 7:229-238, 2010.

COSTA, Nídia Raquel et al.; Atributos do Solo e Acúmulo de Carbono na Integração Lavoura-Pecuária em Sistema Plantio Direto. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 39, n. 3, p. 852-863, jun. 2015. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832015000300852&lng=pt&nrm=iso>. acessos em 23 jun. 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/01000683rbcs20140269>.

COSTA, N. R., M. ANDREOTTI, C. A. C. CRUSCIOL, C. M. PARIZ, K. S. M. LOPES, K. L. DE ALMEIDA YOKOBATAKE, J. P. FERREIRA, C. G. DA ROCHA LIMA E D.M. DE SOUZA. 2016. Efeito de gramíneas perenes tropicais consorciadas na produção de silagem à base de sorgo. **Agron. J.** 108: 2379-2390. doi: 10.2134 / agronj2016.07.0385

CUNHA, E. Q.; BALBINO, L.; STONE, L.; LEANDRO, W.; OLIVEIRA, G. Influência de rotações de cultura nas propriedades físico- hídricas de um Latossolo Vermelho em plantio direto. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n.3, p. 675-682, 2007.

CRUZ, J. C.; FILHO, I. A. P.; DUARTE, A. P. **Árvore do conhecimento - Milho safrinha**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. 2011 Disponível em: <http://http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONT000fya0krse02wx5ok0pvo4k3mp7ztkf.html>.

DE MORAIS, F. Infiltração – uma variável geomorfológica. **Cadernos de Geografia**, Belo Horizonte, v. 22, n. 38, jul/dez, 2012.

DEBIASI, H.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; CONTE, O.; KAMIMURA, K. M. Produtividade de soja e milho após coberturas de inverno e descompactação mecânica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 6, p. 603-612, 2010.

DERPSCH, R.; CALEGARI, A. **Guia de plantas para adubação verde de inverno**. Londrina: IAPAR, 1985. 96 p.

DRESCHER, M. S. et al. Persistência do efeito de intervenções mecânicas para a descompactação de solos sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 1713-1722, 2011.

DRESCHER, M.S.; ELTZ, F.L.F.; DENARDIN, J.E.; FAGANELLO, A.; DRESCHER, G.L. Resistência à penetração e rendimento da soja após intervenção mecânica em Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.1836-1844, 2012. DOI: 10.1590/S0100-06832012000600018.

DRESCHER, Marta Sandra et al. Duração das alterações em propriedades físico-hídricas de Latossolo argiloso decorrentes da escarificação mecânica. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 51, n. 2, p. 159-168, fev. 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo** / Paulo César Teixeira ... [et al.], editores técnicos. – 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 326 p. 2017.

EURICH, Joélcio et al. Avaliação visual da qualidade estrutural temporal do solo na adoção em Pastoreio Racional Voisin - PRV. In: AGROECOLOGIA - X CONGRESSO BRASILEIRO, 10., 2017, Brasília. **Cadernos**. Brasília: Manejo de Agroecossistemas e Agricultura Orgânica, 2018. v. 13, p. 1 - 6.

FERNANDES, Flavia Santos. **INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO**. 2019. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Planejamento e Uso de Recursos Renováveis, Programa de Pós-graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis, Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2019.

FERRARI, J. M. S. et al. ANÁLISE DA VARIABILIDADE ESPACIAL DA RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO DO SOLO EM DIFERENTES PROFUNDIDADES. **Brazilian Journal Of Biosystems Engineering**, Tupã, v. 12, n. 2, p.164-175, jun. 2018.

FERREIRA, M.M. **Caracterização física do solo**. In: LIER, Q.J. van. (Ed). Física do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. 298 p

FRANCHINI, J. C. et al. **Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná**. Londrina: Embrapa Soja, 2011. p. 52. (Documentos, 327).

FRANCHINI, J.C.; ARMACOLO, N.M.; DEBIASI, H.; BALBINOT JR, A.A; SANTOS, E. L.; **Eficiência da manutenção e readequação do sistema de terraceamento numa fazenda no norte do Paraná**. In: In: XX Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 2016, Foz do Iguaçu. O solo sob ameaça: conexões necessárias ao manejo e conservação do solo e água, 2016.

FREDDI, O.S.; CARVALHO, M.P.; VERONESI JÚNIOR, V. & CARVALHO, G.J. Produtividade do milho relacionada com a resistência mecânica à penetração do solo sob preparo convencional. *Eng. Agríc.*, 26:113-121, 2006.

FREDDI, O. S., CENTURON, J. F.; BEUTLER, A. N.; ARATANI, R. G.; LEONEL, C. L.; SILVA, A. P., Compactação do solo e intervalo hídrico ótimo no crescimento e na produtividade da cultura do milho. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 3, p. 477-486, 2007.

GASSEN, D. Tráfego controlado como alternativa para reduzir a compactação do solo. **Revista Plantio Direto**, v. 111, p.4-10, 2011.

GAUTRONNEAU, Y.; MANICHON, H. Guide méthodique du profil cultural, Lyon, CEREF-GEARA, 1987. 71p.

GENNARO, L. A. **Estrutura, micromorfologia e microbiologia do solo em dois sistemas de manejo**. 2011. 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, 2011.

GHOHMANN, F.; QUEIROZ NETO, J. P. Efeito da compactação artificial de dois solos limo-argilosos sobre a penetração de raízes de arroz. **Bragantia**, Campinas, v.25, n. 39, p. 421-31, 1966.

GIAROLA, N. F. B., TORMENA, C. A., SILVA, A. P.; BALL, B. Método de avaliação visual da qualidade da estrutura aplicado a Latossolo Vermelho Distroférico sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Ciência Rural*, v. 39, n. 8, p. 2531-2534, 2009.

GIAROLA, N. F. B.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; BALL, B; ROSA, J. A. Visual soil structure quality assessment on Oxisols under no-tillage system. **Scientia Agricola**, Piracicaba. v. 67. n. 4. p. 479-482, jul-ago 2010.

GIRARDELLO, V. C.; AMADO, T. J. C.; NICOLOSO, R. S.; HÖRBE, T. A. N.; FERREIRA, A. O.; TABALDI, F. M.; LANZANOVA, M. E. Alterações nos atributos físicos de um latossolo vermelho sob plantio direto induzidas por diferentes tipos de escarificadores e o rendimento da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.2115-2126, 2011.

GIRARDELLO, Vitor Caduro et al. RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO, EFICIÊNCIA DE ESCARIFICADORES MECÂNICOS E PRODUTIVIDADE DA SOJA EM LATOSSOLO ARGILOSO MANEJADO SOB PLANTIO DIRETO DE LONGA DURAÇÃO. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 4, p.1234-1244, jul. 2014.

GUIMARÃES, R.M.L.; BALL, B.C.; TORMENA, C.A. Improvements in the visual evaluation of soil structure. **Soil Use and Management** 27: 395-403, 2011.

GUIMARÃES, Rachel Muylaert Locks et al. Relating visual evaluation of soil structure to other physical properties in soils of contrasting texture and management. **Soil And Tillage Research**, [s.l.], v. 127, p.92-99, mar. 2013. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2012.01.020>.

GUIMARÃES, R. M.; LAMANDÉ, M.; MUNKHOLM, L. J.; BALL, B. C.; KELLER, T. Opportunities and future directions for visual soil evaluation methods in soil structure research. **Soil and Tillage Research**, v. 173, p. 104-113, 2017b.
<<https://dx.doi.org/10.1016/j.still.2017.01.016>>.

HEDDADJ, DJILALI ; DE BATTISTA, JUAN ; DUPARQUE, ANNIE ; FRANCHINI, JULIO CEZAR ; ROGER-ESTRADE, JEAN . Developments in the -profil cultural-method for an improved assessment of soil structure under no-till. **SOIL & TILLAGE RESEARCH**, v. 173, p. 92-103, 2016.

HÉNIN, S.; FEODOROFF, A.; GRAS, R.; MONNIER, G. **Le profil cultural**: Principes de physique du sol. Paris: Masson, 1960. 320p.

HERNANI, L.C.; SALTON, J.C. Manejo e conservação de solos. In: **Embrapa/Centro de Pesquisa Agropecuária do Oeste**. Milho: informações técnicas. Dourados, 1997. (Circular técnica, 5).

HERNANI, L.C. Agregação do solo. Agencia Embrapa de Informação Tecnológica. Disponível em:
<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/sistema_plantio_direto/arvore/CONT000fwuzxobr02wyiv807fiqu9k024m72.html>; Acesso em 02 de fevereiro de 2019.

JIN, H. et al. The adoption of annual subsoiling as conservation tillage in dryland maize and wheat cultivation in northern China. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 94, n. 2, p. 493-502, June, 2007.

JORGE, R.F.; ALMEIDA, C.X. de; BORGES, E.N.; PASSOS, R.R. Distribuição de poros e densidade de Latossolos submetidos a diferentes sistemas de uso e manejo. **Bioscience Journal**, v.28, p.159-169, 2012.

KAHLON, M. S.; LAL, R.; ANN-VARUGHESE, M. Twenty two years of tillage and mulching impacts on soil physical characteristics and carbon sequestration in Central Ohio. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 126, p. 151-158, jan, 2013.

KEMERICH, Pedro Daniel da Cunha. **ANÁLISE AMBIENTAL EM ÁREAS DE INFILTRAÇÃO MÁXIMA DE ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VACACAÍ-MIRIM-RS**. 2013. 265 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Ambiental, Pós Graduação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

KEMPER, B.; DERPSCH, R. Results of studies made in 1978 and 1979 to control erosion by cover crops and no-tillage techniques in Paraná, Brazil. **Soil** no momento em que o solo entra no estado de saturação, sendo denominado taxa de infiltração estável (TIE) **Tillage Research**, Amsterdam, v. 1, p. 253- 267, 1980/1981.

KIEHL, E. J. **Manual de Edafologia: relações solo-planta**. São Paulo: CERES, 1979. 262 p.

KLEIN, V.A.; LIBARDI, P.L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.26; p.857-867, 2002.

KLEIN, V. A.; VIEIRA, M. L.; DURIGON, F. F.; MASSING, J. P.; FÁVERO, F. Porosidade de aeração de um Latossolo e rendimento de Trigo em plantio direto escarificado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 2, p. 265-371, mar-abr, 2008.

KLEIN, C. **Propriedades físico-hídrico-mecânicas e rendimento de grãos de milho em Latossolo vermelho sob plantio direto escarificado**. 2011, Dissertação de mestrado em Produção Vegetal, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2011.

KLEIN, Claudia; KLEIN, Vilson Antonio. INFLUÊNCIA DO MANEJO DO SOLO NA INFILTRAÇÃO DE ÁGUA. **Revista Monografias Ambientais**, Santa Maria, v. 13, n. 5, p.3915-3925, 16 dez. 2014. Universidad Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/2236130814989>.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: USP, 2005. 497p.

LIMA, I. M. A.; ARAÚJO, M. C.; BARBOSA, R. S. Avaliação das propriedades físicas do solo em sistemas silvipastoris, região centro-norte, Estado do Piauí. **Agropecuária Científica no Semiárido**, Campina Grande-PB, v. 9, n. 1, p. 117-124, 2013.

LOPES, Eduardo da Silva et al . Compactação de um Solo Submetido ao Tráfego do Harvester e do Forwarder na Colheita de Madeira. **Floresta Ambient.**, Seropédica , v. 22, n. 2, p. 223-230, jun. 2015.

MACHADO, A. de M. M.; FAVARETTO, N. Atributos físicos do solo relacionados ao manejo e conservação dos solos. In: LIMA, M. R. et al. **Diagnóstico e**

recomendações de manejo do solo: aspectos teóricos e metodológicos. Curitiba: UFPR/ Setor de Ciências Agrárias, 2006. p 234-254.

MACIEL NETTO, A.; ANTONINO, A. C. D.; AUDRY, P.; CARNEIRO, C. J. G.; DALL´OLIO, A. Condutividade hidráulica não saturada de um podzólico amarelo da zona da mata norte de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.6, p.1221-1228, 2000.

MANCUSO, M. A.; FLORES, B. A.; ROSA, G. M. SCHROEDER, J. K.; PRETTO, P. R. P. Características da taxa de infiltração e densidade do solo em distintos tipos de cobertura de solo em zona urbana. **Revista Monografias Ambientais**, Santa Maria, v. 14, n.1, Edição Especial p. 2890–2998, fev, 2014.

MARTINS, Fabio Pereira; SANTOS, Esmael Lopes dos. Taxa de infiltração da água e a resistência do solo a penetração sob sistemas de uso e manejo. **Acta Iguazu**. Cascavel, v. 6, n. 4, p.28-40, 05 dez. 2017.

MATTOS, Cristiane Graciela de. **PERFIL CULTURAL - INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO DE ATRIBUTOS FÍSICOS E MORFOLÓGICOS EM SOLOS AGRÍCOLAS**. 2016. 55 f. TCC (Graduação) - Curso de Agronomia, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2016.

MAZURANA, M., LEVIEN, R., MULLER, J.; CONTE, O. Sistemas de preparo de solo: alterações na estrutura do solo e rendimento das culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa v. 35, n. 4, p. 1197-1206, 2011.

MEDEIROS RD, SOARES AA & GUIMARÃES RM (2005) Compactação do solo e manejo da água. I: Efeitos sobre a absorção de N, P, K, massa seca de raízes e parte aérea de plantas de arroz. **Ciência e Agrotecnologia**, 29:940-947.

MION, R. L.; NASCIMENTO, E. M. S.; SALES, F. A. L.; SILVA, S. F.; DUARTE, J. M. L.; SOUSA, B. M. Variabilidade espacial da porosidade total, umidade e resistência do solo à penetração de um Argissolo Amarelo. **Revista Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 6, p. 2057-2066, 2012.

MONCADA, M. P.; GABRIELS, D.; LOBO, D.; REY, J. C.; CORNELIS, W. M Visual field assessment of soil structural quality in tropical soils. *Soil & Tillage Research*, v.139, p. 8–18, 2014.

MOURA, J. C.; BARBOSA, M. A. B.; CARDOSO, S. S. INTERFERÊNCIA DA COMPACTAÇÃO DO SOLO NO MANEJO DE ALTAS PRODUTIVIDADES NA CULTURA DA SOJA. *Nucleus*, [s.l.], v. 16, n. 1, p.205-214, 30 abr. 2019. **Fundacao Educational de Ituverava**. <http://dx.doi.org/10.3738/1982.2278.3495>.

MORAES, M. T. DE et al. Critical limits of soil penetration resistance in a rhodic Eutrudox. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 1, p. 288–298, 2014.

MOREIRA, W. H. et al. Seasonal changes in soil physical properties under long-term no-tillage. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 160, p. 53-64, 2016.

MUELLER, L.; SCHINDLER, U.; BEHRENDT, A.; EULENSTEIN, F.; DANNOWSKI, R. **The Muencheberg Soil Quality Rating (SQR)**. Muencheberg: Leibniz-Centre for Agricultural Landscape Research (ZALF), 2007. 102p.

NAVEED, M. et al. Pore structure of natural and regenerated soil aggregates: an x-ray computed tomography analysis. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 78, p. 377-386, 2014.

NEVES, C. S. V. J.; FELLER, C.; GUIMARÃES, M. F.; MEDINA, C. C.; TAVARES FILHO, J.; FORTIER, M.. Soil bulk density and porosity of homogeneous morphological units by the cropping method in clayey oxisols in Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 71, n. 2, p. 109-119, 2003.

NEWELL-PRICE, J. P.; WHINTTINGHAM, M. J.; CHAMBERS, B. J.; PEEL, S. Visual soil evaluation in relation to measured soil physical properties in a survey of grassland soil compaction in England and Wales. **Soil & Tillage Research**, n. 127, p. 65-173, 2013.

NICOLOSO RS et al. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, Viçosa-MG, v. 32, p.1723-1734, 2008.

NUNES, M.R.; DENARDIN, J.E.; FAGANELO, A.; PAULETTO, E.A.; PINTO, L.F.S. Efeito de semeadora equipada com haste sulcadora para ação profunda em solo com plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.627-638, 2014. DOI:10.1590/S0100-06832014000200027.

NUNES, Amanda Letícia Pit; RALISCH, Ricardo. **ESTRATÉGIAS PARA A QUALIFICAÇÃO DO SISTEMA PLANTIO DIRETO EM GLEBAS DO OESTE DO ESTADO DO PARANÁ**. 2017. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Programa de Pós-graduação, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2017.

OADES, J. M. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. **Geoderma**, Amsterdam, v. 56, n. 1-4, p. 377-400, 1993.

OLIVEIRA, J. B. de. **Pedologia aplicada**. 4ª ed. Piracicaba: FEALQ: 2011. 592p.

OLIVEIRA, Dener M. S.; LIMA, Renato P. de; VERBURG, Ernst E. Jan. Qualidade física do solo sob diferentes sistemas de manejo e aplicação de dejetos líquidos suíno. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s.l.], v. 19, n. 3, p.280-285, mar. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n3p280-285>.

OLIVEIRA, Dener M. S.; LIMA, Renato P. de; VERBURG, Ernst E. Jan. Qualidade física do solo sob diferentes sistemas de manejo e aplicação de dejetos líquidos suíno. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s.l.], v. 19, n. 3, p.280-285, mar. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n3p280-285>.

OLIVEIRA, G.G.; OLIVEIRA, G.C.; SILVA, E. A.; CARDUCCI, C.E.; BARBOSA, S.M.; SILVA, B.M. Indicadores de qualidade física para Argissolos sob pastagens nas regiões leste e sul de Minas Gerais. **Revista Ciências Agrárias**, v. 58, n. 4, p. 388-395, 2015.

ORTIGARA, Cícero et al. USO DO SOLO E PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE LATOSSOLO VERMELHO. **Revista Brasileira Ciência Solo**, Viçosa, v. 38, p.619-626, 2014.

PANACHUKI, E; SOBRINHO, T. A.; VITORINO, A. C. T.; CARVALHO, D. F.; URCHEI, M. A. Avaliação da infiltração de água no solo, em sistema de integração agricultura-pecuária, com uso de infiltrômetro de aspersão portátil. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.28, n.1, p.129- 137, 2006.

PARIZ, C. M.; COSTA, C.; CRUSCIOL, C. A. C.; MEIRELLES, P. R. L.; CASTILHOS, A. M.; ANDREOTTI, M.; COSTA, N. R.; MARTELLO, J. M.; SOUZA, D. M.; PROTÉS, V. M.; LONGHINI, V. Z.; FRANZLUEBBERS, A. J. Production, nutrient cycling and soil compaction to grazing of grass companion cropping with corn and soybean. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.107, n.1, p.1-20, 2017.

PECHE FILHO, Afonso. **VARIABILIDADE DA AGREGAÇÃO EM AMOSTRAS DE SOLOS AGRÍCOLAS COMO INDICADOR DE QUALIDADE: UMA PROPOSTA METODOLÓGICA**. 2018. 97 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Ambientais, Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (unesp), Sorocaba, 2018.

PEREIRA, V. R.; TEIXEIRA FILHO, T. Identificação das áreas susceptíveis aos processos erosivos em duas bacias do Sistema Cantareira por meio de diferentes cenários. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 31, n. 1, p.155- 163, 2009.

PERLIN, Igor. **MÉTODOS QUALITATIVOS DE ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS E FÍSICOS EM SOLOS AGRÍCOLAS: PERFIL CULTURAL E AVALIAÇÃO VISUAL DA ESTRUTURA DO SOLO**. 2018. 46 f. TCC (Graduação) - Curso de Agronomia, Departamento de Estudos Agrários, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2018.

PERUSSO, R. L. S.; DOS SANTOS BATISTA BONINI, C.; ALEXANDRE SILVEIRA DO NASCIMENTO, C.; DIAS SOUZA, J. F.; CARLOS LUPATINI, G.; ANDREOZZI DE SOUZA, H.; GOMES PEDRO, F. DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DE POROS EM UM LATOSSOLO VERMELHO EM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA. **Colloquium Agrariae**. ISSN: 1809-8215, v. 15, n. 2, p. 51-60, 24 abr. 2019.

PILATTI, Maurício Antônio. **ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM LATOSSOLO ARGILOSO SOB SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO**. 2018. 59 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Energia na Agricultura, Programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Engenharia de Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2018.

PINHEIRO, A.; TEIXEIRA, L. P.; KAUFMANN, V. Capacidade de infiltração de água em solos sob diferentes usos e práticas de manejo agrícola. **Revista Ambiente & Água**, v.4, n.2, p.188-199, 2009.

PINTO, Leandro Campos; CHAGAS, Wantuir Filipe Teixeira; AMARAL, Francisco Hélcio Canuto. Qualidade física de um Latossolo Vermelho distroférrico sob diferentes usos. **Revista Agrogeoambiental**, [s.l.], v. 10, n. 3, p.1-12, 21 nov. 2018. IFSULDEMINAS (Instituto Federal do Sul de Minas). <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v10n320181103>.

PRADO, R.P. Manejo mecanizado de atividades para implantação de culturas. Jaboticabal: **Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola**, 2002.

PRADO, H. **Pedologia fácil: aplicações em solos tropicais**. 4ª edição, Piracicaba:H. do Prado, 2013.

PRANDO, M. B.; OLIBONE, D.; OLIBONE, A. P. E.; ROSOLEM, C. A. Infiltração de água no solo sob escarificação e rotação de culturas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 34, p. 693-700, 2010.

PREVEDELLO, C. L. **Física do solo com problemas resolvidos**. Curitiba: SAEAFS, 1996. 446 p.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R Foundation for Statistical Computing**. Vienna: Austria, 2014.

RALISCH, R.; TAVARES FILHO, J.; ALMEIDA, M. V. P. **Avaliação de um solo argiloso sob plantio direto de uma escarificação na evolução da resistência do solo a penetração** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30, Foz do Iguaçu, 2001. *Resumo expandido*. Foz do Iguaçu: CONBEA, 2001. CD-ROM.

RALISCH, R.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; TOMAZI, M.; HERNANI, L.C.; MELO, A.S.; SANTI, A.; MARTINS, A.L.S.; DONA, F.D. **Diagnóstico Rápido da Estrutura**

do Solo (DRES) – Londrina: Embrapa Soja, 2017. 64 p. il. (Documentos/Embrapa Soja, ISSN 1516-781X; 390).

REICHERT, J. M; REINER, J. D; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Revista Ciência & Ambiente**, 2002.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. **Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação**. In: CERRETA, C. A.; SILVA, L. S. da; REICHERT, J. M. Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. v. 5. p. 49-134

REICHARDT, R.; TIMM, L. C. **Solo, Planta Atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri, São Paulo. Manole, 2004. 478 p.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L.; REINERT, D. J.; HORN, R.; HAKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 102, n. 2, p. 242-254, 2009.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M; VEIGA, M.V.; SUZUKI, L.E.A.S. Qualidade física dos solos. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água. **Palestras**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Aracaju, SE. 2006.

RIBEIRO, Kleber Adriano; PADOVAN, Milton Parron; FEIDEN, Alberto. AVALIAÇÃO DA ESTRUTURA DE SOLOS SOB SISTEMAS AGROFLORESTAIS BIODIVERSOS NA REGIÃO OESTE DO PARANÁ. **Revista Geo Pantanal**, Corumbá, v. 1, n. 26, p.49-65, jun. 2019.

RIETH, Gerry. **IMPACTOS DA CONVERSÃO DE SISTEMAS NATIVOS EM ÁREAS DE CULTIVO AGRÍCOLA NOS INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO**. 2019. 79 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, 2019.

ROSOLEM, C. A.; FOLONI, J. S. S.; TIRITAN, C. S. Root growth and nutrient accumulation in cover crops as affected by soil compaction. **Soil & Tillage Research**, v. 65, p. 109-115, 2002.

SANTI, A. L. **Relações entre indicadores de qualidade do solo e a produtividade das culturas em áreas com agricultura de precisão**. 2007. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SANTOS, R. D. dos; LEMOS, R. C. de; SANTOS, H. G. dos; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C., SHIMIZU, S.H. dos. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 6. ed. rev. e ampl. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Editora da UFV; Rio de Janeiro: Embrapa Solos/Editora da UFRRJ, 2013.100p.

SANTOS, Esmael Lopes dos et al. Distribuição de raízes, resistência tênsil e friabilidade de agregados em solo com diferentes sistemas de manejo. **Colloquium Agrariae**, [s.l.], v. 16, n. 1, p.19-28, 31 jan. 2020. Associação Prudentina de Educação e Cultura (APEC). <http://dx.doi.org/10.5747/ca.2020.v16.n1.a344>.

SCAPINELLI, Alex et al . Sistema radicular e componentes produtivos do girassol em solo compactado. **Bragantia**, Campinas , v. 75, n. 4, p. 474-486, dez. 2016 . Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-87052016000400474&lng=pt&nrm=iso>. acessos em 16 jul. 2019. Epub 06-Out-2016. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.286>.

SCHIEBELBEIN, Luis Miguel. **ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E COBERTURA DE INVERNO SOBRE A DISPONIBILIDADE DE ÁGUA E OS COMPONENTES DE RENDIMENTO DO MILHO**. 2017. 235 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Pós-graduação em Agronomia, Área de Concentração: Agricultura, Linha de Pesquisa: Fisiologia, Manejo e Melhoramento de Culturas., Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2017.

SECCO, D.; ROS, C. O. da; SECCO, J. K.; FIORIN, J. E.; Atributos físicos e produtividade de culturas em um Latossolo Vermelho Agiloso sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.407-414, 2005.

SECCO, D.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; SILVA, V.R. da. Atributos físicos e rendimento de grãos de trigo, soja e milho em dois Latossolos compactados e escarificados. **Ciência Rural**, v.39, p.58-64, 2009. DOI: 10.1590/S0103-84782009000100010.

SHEPHERD, T. G. **Visual soil assessment**. Volume 1: Field guide for pastoral grazing and cropping on flat to rolling country. Palmerston North: Horizons.mw & Landcare Research, 2000. 84p.

SILVA, B. M. et al. Índice s no diagnóstico da qualidade estrutural de Latossolo muito argiloso sob manejo intensivo. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 28, n. 3, mai./jun., p. 338-345, 2012.

SILVA, Everton Caires da. **ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM LATOSSOLO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA**. 2016. 45 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2016.

SILVA, F. J.; OLIVEIRA, C. A. A.; ALMEIDA, L. S.; LIMA, L. P.; GUIMARÃES, E. C. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e produtividade do milho. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 4, n. 3, p. 77-84, jul./set. 2017.

SILVA, Érika Andressa da; BENEVENUTE, Pedro Antônio Namorato; MELO, Laura Beatriz Batista de. Qualidade física de um Latossolo estimada por estudos das curvas de retenção de água, indicadores de fácil determinação e “Índice S”. **Tecnol. & Ciên. Agropec**, João Pessoa, v. 11, n. 4, p.49-54, out. 2017.

SILVA, Matheus Henrique Martins et al. QUALIDADE ESTRUTURAL DO SOLO EM FUNÇÃO DO MANEJO EM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA. **Agroecossistemas**, Belém, v. 10, n. 1, p.99-114, jun. 2018.

SILVA, Thais Palumbo et al. QUALIDADE ESTRUTURAL DE UM ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO SOB DIFERENTES USOS NO BIOMA PAMPA NO SUL DO BRASIL. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)**, Pelotas, v. 8, n. 2, p.115-123, jun. 2018.

SOUZA, E. M.; BATISTA, M^a. A. B.; HONDA, E. A. Determinação da capacidade de infiltração em solo de Cerrado no município de Assis-SP. **Iflorestal Séries Registros**, n.36, p.155-159, São Paulo: 2008.

SOUZA, Kelly Rejane de .Itajubá (mg). **Avaliação da qualidade do solo por meio de indicadores visuais em ambientes da sub-bacia do Ribeirão José Pereira, Itajubá (MG)**. 2015. 97 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Programa de PÓS-graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2015.

SOUSA, Rafael Mendes de; PEREIRA, Roseana Ramos; SOARES, Franciclaudio. Indicadores visuais de qualidade do solo em agroecossistemas familiares maranhenses. **Acta Tecnológica**, Maranhão, v. 13, n. 1, p.109-120, out. 2018.

SPOHR, R. B. **Influência das características físicas do solo nas perdas de água por escoamento superficial no Sul do Brasil e Uruguai**. 2007. 105 f. Tese (doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

STEFANOSKI, D. C.; SANTOS, G. C.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F. A.; PACHECO, L. P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 12, p. 1301-1309, 2013. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013001200008>>.

STÜRMER, S. L. K.; DALMOLIN, R. S. D.; AZEVEDO, A. C.; PEDRON, F. A.; MENEZES, F. P. Relação da granulometria do solo e morfologia do saprolito com a infiltração de água em Neossolos Regolíticos do rebordo do Planalto do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 7, p. 2057-2064, 2009.

STRECK, C. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de

um trator em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 3, p. 755-760, 2004.

TAVARES FILHO, J. et al. Método do Perfil Cultural para avaliação do estado físico de solos em condições tropicais. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 393-399, June 1999. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06831999000200022&lng=en&nrm=iso>. access on 19 July 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06831999000200022>.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G.M.C.; GUIMARÃES, M. F, FONSECA, I.C.B. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zeamays*, L.) sob diferentes sistemas de manejo em um latossolo roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.3, p.275-30, 2001.

TAVARES-FILHO, J.; FONSECA, I. C. B.; RIBON, A. A.; BARBOSA, G. M. C. Efeito da escarificação na condutividade hidráulica saturada de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.3, p.996-999, 2006.

TAVARES FILHO, J. & TESSIER, D. Compressibility of Oxisol aggregates under no-till in response to soil water potential. *R. Bras. Ci. Solo*, 33:1525-1533, 2009.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Ed.). Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: **Embrapa**, 2017. 573 p. il. color.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v.22, n.4, p.573-581, 1998.

TORMENA, A.C.; Compactação dos solos em SPD precisa ser atenuada; In: CARDOSO, F.P; **Visão agrícola plantio direto**; USP ESALQ; p. 8-28 Jul/dez 2009.

TORRES, J. L. R.; COSTA, D. D. A; SILVA NETO, O. F.; ARAÚJO, A. S.; SILVA, V. R.; VIEIRA, D. M. S. Avaliação da resistência à penetração e densidade do solo num latossolo sob semeadura direta há doze anos. **Global Science and Technology**, Rio Verde-GO, v. 8, n. 1, p. 131-140, 2015.

USDA. United States Department of Agriculture. **Soil Survey manual**. Washington: Soil Survey Division Staff, 1993. 437 p. (Handbook, 18).

TRENTIN, R. G. et al. Soybean productivity in Rhodic Hapludox compacted by the action of furrow openers. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v. 40, e35015, 2018.

TUCHTENHAGEN, Ivana Kruger. **Variabilidade espacial de indicadores físicos e visuais da qualidade estrutural dos solos da sub-bacia Santa Rita**,

Pelotas/RS. 2018. 105 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018.

VALADAO, F. C. A., WEBER, O. L. S., VALADAO Junior, D. D., SCAPINELLI, A., DEINA, F. R. e BIANCHINI, A. (2015). Adubacao fosfatada e compactacao do solo: sistema radicular da soja e do milho e atributos fisicos do solo. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, 39, 243-255. <http://dx.doi.org/10.1590/01000683rbc20150144>.

VALENTE, Gislayne Farias et al. Resistência mecânica à penetração em sistemas de manejo do solo. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, [s.l.], v. 14, n. 1, p.140-145, 1 jan. 2019. Grupo Verde de Agroecologia e Abelhas. <http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v14i1.5892>.

VALICHESKI, R. R.; GROSSKLAUS, F.; STÜRMER, S. L. K.; TRAMONTIN, A. L.; BAADE, E. S. A. S. Desenvolvimento de plantas de cobertura e produtividade da soja conforme atributos físicos em solo compactado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 9, p. 969-977, 2012.

VAN ES, H.; SCHINDELBECK, R. **Field Procedures and Data Analysis for the Cornell Sprinkler Filtrometer**. Ithaca, NY: Cornell University, Department of Crop and Soil Sciences Series R03-01, 2003. 8 p.

VERECKEN, H. et al. Modeling soil processes: review, key challenges, and new perspectives. **Vadose Zone Journal**, Madison, v. 15, p. 1-57, 2016.

VIEIRA, M.L.; KLEIN, V.A. Propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1271-1280, 2007. DOI: 10.1590/S0100-06832007000600006.

VILARINHO, Marcella K. C. et al. Determinação da taxa de infiltração estável de água em solo de cerrado nativo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, [s.l.], v. 7, n. 1, p.17-26, 11 mar. 2013. INOVAGRI. <http://dx.doi.org/10.7127/rbai.v7n100097>.

VOGEL, G. F.; FEY, R. Resistência mecânica à penetração em diferentes sistemas de uso do solo. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia- MS, v. 3, n. 1, p. 21-26, jan./mar. 2016.

VOGEL, Gabriel Felipe et al. METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO VISUAL DA ESTRUTURA DO SOLO. In: VI JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA. Chapecó. **Anais**. Chapecó: Uffs, 2016. p. 1 - 4.

ZHAO, D. et al. Effect of vegetation type on microstructure of soil aggregates on the Loess Plateau, China. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 242, p.1-8, 2017.

ZEBALOS, C. H., LEITE, E. G., MONTEIRO, V. G., LIMA, A. P., FOGAÇA, L. G., SOARES, E. R., & NOGUEIRA, A. E. (2018). Soil structural quality in pasturelands in the city of Buritis (RO), Brazil. **Revista Científica Da Faculdade De Educação E Meio Ambiente**, 9(1), 245-253. <https://doi.org/10.31072/rcf.v9i1.567>

ZWIRTES, A.L; SPOHR, R.B; BARONIO, C.A; MENEGOL, D.R; ROSA, G.M; MORAIS, M.T. Utilização do infiltrômetro de Cornell e dos anéis concêntricos para determinação da infiltração de água em um Latossolo Vermelho. Londrina: **Ciências Agrárias**, v.34, n.6 2013.