

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

CAETANO BENASSI

**QUALIDADE DE UM LATOSSOLO MANEJADO COM PLANTIO DIRETO  
SOB ROTAÇÕES APÓS TRÊS ANOS**

PONTA GROSSA – PR

2019

CAETANO BENASSI

**QUALIDADE DE UM LATOSSOLO MANEJADO COM PLANTIO  
DIRETO SOB ROTAÇÕES APÓS TRÊS ANOS**

Dissertação apresentada para obtenção do título de mestre na área de Uso e Manejo do Solo na Universidade Estadual de Ponta Grossa do Curso de Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Henrique Weirich Neto  
Coorientadora: Pesq. Dra. Lutécia Beatriz dos Santos Canalli

PONTA GROSSA – PR

2019

B456 Benassi, Caetano  
Qualidade de um latossolo manejado com plantio direto  
sob rotações após três anos/Caetano Benassi. Ponta Grossa,  
2019.  
54 f.

Dissertação (Mestrado em Agronomia – Área de  
concentração – Uso e Manejo do Solo), Universidade Estadual  
de Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Henrique Weirich Neto  
Coorientadora: Pesq. Dra. Lúcia Beatriz dos Santos  
Canalli

1. Atributos físicos. 2. Qualidade estrutural. 3. Qualidade  
do solo. 4. Sistema de manejo. I. Weirich Neto, Pedro Henri-  
que. II. Canalli, Lúcia Beatriz dos Santos. III. Universidade  
Estadual de Ponta Grossa - Mestrado em Agronomia. IV. T.

CDD : 631.4

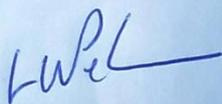
## CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação: **“Qualidade de um LATOSSOLO manejado com Plantio Direto sob rotações após três anos”.**

Nome: Caetano Benassi

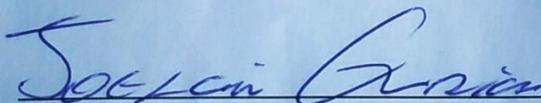
Orientador: Pedro Henrique Weirich Neto

Aprovado pela Comissão Examinadora:



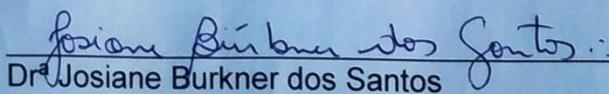
---

Prof. Dr. Pedro Henrique Weirich Neto



---

Prof. Dr. Joelcio Eurich



---

Dr<sup>a</sup> Josiane Burkner dos Santos

Data da Realização: 29 de Abril de 2019.

**A DEUS  
A minha família;  
À minha esposa.  
DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela saúde e pela recuperação, para que eu tivesse condições de realizar este trabalho.

A minha família, Dácio Antonio Benassi, Vera Lúcia Mazur Benassi e Gabriela Benassi pelo apoio durante a realização do mestrado.

Agradeço também, Dr. José Alfredo Baptista dos Santos e Edson Márcio de Siqueira, pela ajuda durante o período de realização do mestrado.

À minha esposa, Carla Milene Pietzuk, pela paciência, ajuda e companheirismo durante os momentos pelos quais mais precisei.

Ao professor Dr. Pedro Henrique Weirich Neto, pela orientação.

À pesquisadora Dra. Lutécia Beatriz dos Santos Canalli pela co-orientação.

Aos funcionários do IAPAR do Pólo Regional de Ponta Grossa pela ajuda na condução das plantas e realização do experimento.

Aos colegas de Laboratório de Solos do IAPAR; Elielson, Ângela e Adrieli pela ajuda nas amostragens a campo e análises no laboratório.

Ao meu amigo Waldir Zarrochinski Junior, pelo apoio, ajuda e companheirismo durante os momentos pelos quais mais precisei.

A todos que foram atores, escritores e vozes desta história.

Meus sinceros agradecimentos.

## RESUMO

A qualidade do solo pode ser estimada a partir de seus atributos químicos, físicos e biológicos, sendo que os indicadores físicos da qualidade do solo estão atrelados ao manejo, como por exemplo, a rotação de culturas. Atualmente, o Brasil tem a sua economia alicerçada principalmente na produção agropecuária, necessitando buscar cada vez mais práticas que contribuem para a sustentabilidade dessas. Dentre as práticas promissoras na sustentabilidade encontra-se a rotação de culturas que assume posição de destaque como forma de produção conservacionista no sistema plantio direto. Assim, o presente estudo teve como objetivo avaliar a qualidade física do solo através dos atributos físicos e o conteúdo de carbono orgânico do solo em sistemas de manejo do solo. Foi determinado a densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade, estabilidade de agregados estáveis em água, teor de carbono orgânico e análise visual da qualidade estrutural do solo. O estudo foi realizado no experimento em execução na Estação Experimental da Fazenda Modelo – IAPAR, localizada no município de Ponta Grossa, estado do Paraná – Brasil. O solo da área, conforme sistema brasileiro de classificação de solos, foi classificado pela equipe de pesquisa em solos do IAPAR, como LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico, textura média. Adotou-se o delineamento experimental, blocos ao acaso com seis tratamentos e quatro repetições, com parcelas constituídas por 300 m<sup>2</sup>, 10 m de largura e 30 de comprimento. Os tratamentos foram compostos por seis opções de rotação de culturas, com ciclos de três anos sendo: sucessão, produtor, grãos, fitomassa, diversificado e pastagem. A qualidade estrutural nas duas camadas não diferiu entre si. Os atributos físicos tiveram pouca influência pelos usos e manejos do solo, a diferença significativa ficou restrita apenas na avaliação das camadas do solo, no qual apresentou valores superiores em superfície para carbono orgânico, porosidade total e microporosidade. Com os resultados obtidos conclui-se que os atributos físicos, densidade, teor de carbono orgânico do solo, porosidade total, microporosidade e macroporosidade não foram influenciados pelos sistemas de rotações. Os maiores valores de densidade do solo foram encontrados na profundidade de 0 - 0,2m. A maior porosidade total e microporosidade, foi na camada 0 - 0,05m e de 0,2 - 0,4m, não houve diferença da macroporosidade em profundidade. A estabilidade de agregados foi semelhante. O carbono orgânico apresentou maiores quantidades até a profundidade de 0 - 0,1 m. Na análise visual o Tratamento Pastagem foi semelhante ao Fitomassa e diferente dos demais tratamentos. O tratamento Fitomassa apresentou maior produção de biomassa seca. O tratamento Produtor apenas diferiu do diversificado com relação à produção de soja.

**Palavras-chave:** Atributos físicos, Qualidade estrutural, Qualidade do solo, Sistema de manejo.

## ABSTRACT

Soil quality can be estimated from its chemical, physical and biological attributes, and the physical indicators of soil quality are linked to management, such as crop rotation. Currently, Brazil has its economy based mainly on agricultural production, needing to seek more and more practices that contribute to the sustainability of this. Among the promising practices in sustainability is the crop rotation that assumes a prominent position as a form of conservationist production in the no-tillage system. Thus, the present study had as objective to evaluate the physical quality of the soil through the physical attributes and the soil organic carbon content in soil management systems. Soil density, total porosity, macro and microporosity, stability of stable aggregates in water, organic carbon content and visual analysis of soil structural quality were determined. The study was carried out in the Experimental Station of Farm Model - IAPAR, located in the city of Ponta Grossa, state of Paraná - Brazil. The soil of the area, according to the Brazilian soil classification system, was classified by the IAPAR soils research team, such as typical dystrophic OXISOL RED, medium texture. The experimental design was a randomized complete block design with six treatments and four replications, with plots consisting of 300 m<sup>2</sup>, 10 m wide and 30 long. The treatments were composed of six crop rotation options, with cycles of three years being: succession, producer, grains, phytomass, diversified and pasture. The structural quality evaluation in the two layers did not differ. The physical attributes were not influenced by crop rotation, the significant difference was restricted only in the evaluation of the soil layers, in which it presented higher surface values for organic carbon, total porosity and microporosity. With the results obtained it is concluded that the physical attributes, density, soil organic carbon content, total porosity, microporosity and macroporosity were not influenced by the rotation systems. The highest values of soil density were found in the depth of 0 - 0.2m. The highest total porosity and microporosity was at the 0 - 0.05m layer and at 0.2 - 0.4m, there was no difference of macroporosity at depth. The stability of aggregates was similar to each other. The organic carbon presented higher amounts to the depth of 0 - 0.1 m. In the visual analysis the Pasture Treatment was similar to the Phytomass and different from the other treatments. The phytomass treatment showed higher production of dry biomass. The treatment Producer only differed from the diversified with regard to soybean production.

**Keywords:** Physical attributes, Structural quality, Soil quality, Management system.

## LISTA DE FIGURAS

|            |   |    |
|------------|---|----|
| Figura 1 - | Sequência da formação de agregados.....   | 22 |
| Figura 2 - | Experimento de rotação de culturas instalado na Estação Experimental da Fazenda Modelo do IAPAR em Ponta Grossa – PR..... | 27 |
| Figura 3 - | Delineamento experimental Projeto Sistemas de produção e rotação de culturas em plantio direto. ....                      | 28 |
| Figura 4 - | (A) Bloco para realização da análise visual, (B) Após o manuseio (VESS).....  | 32 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 - Atributos físicos do solo e carbono orgânico obtidos em função do uso e manejo do solo em profundidades. Ponta Grossa - PR, 2018.....  | 34 |
| Tabela 2 - Classificação das classes de tamanho de agregados em função de usos e manejos conforme em profundidade - Ponta Grossa - PR, 2018.....  | 36 |
| Tabela 3 - Diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de estabilidade de agregados (IEA) em função usos e manejos do solo conforme profundidade- Ponta Grossa-PR, 2018..... | 37 |
| Tabela 4 - Carbono nas classes de agregados em função dos usos e manejos do solo conforme profundidade - Ponta Grossa - PR, 2018.....   | 38 |
| Tabela 5 - Espessura média das camadas do VESS em função de usos e manejos do solo - Ponta Grossa- PR, 2018 .....   | 39 |
| Tabela 6 - Média das notas da qualidade estrutural do solo obtidas pelo método VESS em função de usos e manejo do solo - Ponta Grossa - PR, 2018.....   | 40 |
| Tabela 7 - Produção de biomassa total dos tratamentos no período de três anos e produtividade da cultura de grãos da soja na safra 2016/17 em função usos e manejos - Ponta Grossa-PR, 2018 .....         | 42 |

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....   | 10 |
| <b>2 OBJETIVOS</b> .....  | 12 |
| 2.1 OBJETIVO GERAL .....  | 12 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....   | 12 |
| <b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....  | 13 |
| 3.1 QUALIDADE DO SOLO .....   | 13 |
| 3.2 ROTAÇÃO DE CULTURAS .....   | 14 |
| 3.3 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO .....   | 17 |
| 3.3.1 Densidade do solo .....   | 17 |
| 3.3.2 Porosidade do solo .....  | 18 |
| 3.3.3 Estabilidade de agregados em água.....                                      | 21 |
| 3.4 QUALIDADE ESTRUTURAL DO SOLO .....  | 23 |
| 3.4.1 Análise visual da qualidade da estrutura (VESS) .....                       | 23 |
| <b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....  | 26 |
| 4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL .....                       | 26 |
| 4.2 PARÂMETROS ANALISADOS .....   | 28 |
| 4.2.1 Densidade do solo .....   | 28 |
| 4.2.2 Porosidade total do solo (macro e micro) .....                              | 29 |
| 4.2.3 Estabilidade de Agregados em Água .....                                     | 30 |
| 4.2.4 Carbono orgânico total do solo (COT).....                                   | 31 |
| 4.2.5 Avaliação visual da qualidade da estrutura do solo .....                    | 31 |
| 4.2.6 Produção de biomassa .....  | 32 |
| 4.2.7 Rendimento de grãos de soja.....  | 33 |
| 4.3 ANÁLISE EXPERIMENTAL .....  | 33 |
| <b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....   | 34 |
| 5.1 ATRIBUTOS FÍSICOS E TEOR CARBONO ORGÂNICO DO SOLO.....                        | 34 |
| 5.2 AGREGADOS ESTÁVEIS EM ÁGUA.....   | 35 |
| 5.3 ANÁLISE VISUAL DA QUALIDADE ESTRUTURAL DO SOLO (VESS) .....                   | 39 |
| 5.4 PRODUÇÃO DE BIOMASSA TOTAL E RENDIMENTO DE SOJA.....                          | 41 |
| <b>6 CONCLUSÕES</b> .....   | 43 |
| <b>REFERÊNCIAS</b> .....  | 44 |
| <b>ANEXO A - CHAVE UTILIZADA PARA A ANÁLISE VISUAL DA ESTRUTURA DO SOLO</b> ..... | 54 |

## 1 INTRODUÇÃO

Grande parcela dos solos do sul do Brasil originam-se do basalto, com altos teores de alumínio e baixas quantidades de nutrientes necessários para produção agrícola. Por outro lado, fisicamente esses solos são aptos para o desenvolvimento das culturas, destacando-se principalmente os atributos ligados a porosidade, qualidade estrutural, permeabilidade, textura e consistência (STRECCK et al., 2002).

A partir dos anos 50, os solos da região sul do Brasil começaram a sofrer pressão pelos processos de mobilização para o cultivo de grãos. Houve também forte incremento na adoção de fertilizantes e corretivos, com melhoria na qualidade química dos solos, contudo provocando alterações significativas na qualidade física (DENARDIM et al., 2001).

Essas alterações podem ser observadas principalmente em camada superficial do solo (camada arável), com aumento da densidade e de resistência do solo a penetração de raízes. Neste caso, oriundos da redução na taxa de infiltração de água, devido a modificações na quantidade e conectividade dos poros do solo, passaram a ser frequentes os processos erosivos (TORMENA et al., 1998).

Tendo forte dependência econômica na produção agropecuária, o Brasil deveria buscar práticas que contribuíssem para a sustentabilidade. Dentre as práticas promissoras na sustentabilidade existem manejos diferenciados do solo, na qual a rotação de culturas assume posição de destaque como forma de produção conservacionista.

Nessa perspectiva, a interação entre as características dos tipos de solos e o planejamento do sistema de uso e manejo adotado definem a qualidade do solo e sua potencialidade para realizar funções ecológicas específicas. A manutenção/melhora da qualidade do ambiente, propicia sanidade para plantas e animais, além da diversidade biológica que contribui para a produtividade (BRADY; WEIL, 2013).

Na região dos Campos Gerais do Paraná, os solos são originados de várias formações geológicas, caracterizados pela baixa fertilidade natural e alta fragilidade ambiental. Assim, a maioria dos solos da região é sedimentar, originados a partir de retrabalho da formação folhelho Ponta Grossa e Arenito Furnas. Por esta razão, dentro de pequenas extensões, é possível observar alterações significativas na classe de textura e nas formas do relevo.

Assim, a produção sustentável de biomassa é mais dependente ainda de conjunto de ações de manejo, não pontuais, mas sistêmicas. Como exemplo, o Sistema Plantio Direto que

tem como base, práticas como: a rotação de culturas, a mínima mobilização do solo e a manutenção da proteção do solo com coberturas vegetais.

Dentro da rotação de culturas, a adoção de diversidade de espécies para compor um programa de rotação, tende a atuar no incremento da diversidade e atividade microbiana do solo. Esta tem relação direta na dinâmica da matéria orgânica e pelos resíduos vegetais decompostos, com aumento de carbono no mesmo, além de consequências na fertilidade química e física do solo.

Sendo assim, há a necessidade de estudos que busquem soluções para os diversos problemas de degradação dos solos, utilizando especialmente, métodos de manejo menos impactantes para manter ou melhorar a qualidade dos solos agrícolas, com foco em sistema de produção sustentável.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Avaliar a qualidade física do solo através dos atributos físicos e do conteúdo de carbono orgânico do solo em sistemas de manejo do solo em Sistema Plantio Direto.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- (i)* Determinar densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade e agregados estáveis em água conforme manejo do solo com rotações de culturas;
- (ii)* Determinar o carbono orgânico do solo conforme manejo do solo com rotações de culturas;
- (iii)* Analisar visualmente qualidade estrutural do solo conforme manejo do solo com rotações de culturas;

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 QUALIDADE DO SOLO

O termo qualidade do solo possui várias definições, a mais usual e recente foi proposta por Brady e Weil (2013), que afirmam que as inter-relações das propriedades físicas, biológicas e químicas do solo refletem sua qualidade. Os autores destacam ainda que a qualidade significa a capacidade do solo em desempenhar funções ecológicas, possibilitando manutenção ou melhoria na qualidade do ambiente, plantas e animais, na diversidade bem como produtividade biológica, ou seja, a capacidade do solo executar suas funções.

Segundo Power e Myers (1989), a qualidade de um solo é a capacidade que este tem em suportar cultivos sem que os mesmos afetem os parâmetros do solo, como: matéria orgânica, disponibilidade de nutrientes, agregação, taxa de infiltração, pH, retenção de água. Para Larson e Pierce (1991), é a habilidade do solo em interagir de forma positiva a uma função, isto é, o solo apresenta aptidão para uso. Já Gregorich (2002), definiu qualidade de solo como a capacidade deste executar determinada função, ou melhor, o grau de ajustamento do solo a um uso específico.

Logo, a avaliação da qualidade do solo é importante para a detecção de problemas e possíveis correções em busca da sustentabilidade (KARLEN; STOTT, 1994). Cita-se também no contexto da sustentabilidade dentro do agroecossistema a necessidade de equilibrar-se o fluxo de nutrientes (consumo e reposição) para manutenção da produtividade das culturas (MUELLER et al., 2013).

O solo de boa qualidade deve apresentar adequadas características físicas, químicas e biológicas. A qualidade física do solo tende a influir no desenvolvimento e produção das culturas, pois o solo deve apresentar suporte adequado, ser estrutura estável, sem inibir crescimento dos cultivos e a atividade de microrganismos. Promovendo assim, o fornecimento ideal de nutrientes, oxigênio, temperatura e água, por isso solos que possuem essas condições apresentam uma boa qualidade física (TOPP et al., 1997).

Portanto, os atributos físicos do solo têm especial relevância, pois tem efeito direto na produtividade, mesmo em sistemas ditos conservacionistas, como o sistema plantio direto (BOTTA et al., 2013)

Assim, para avaliar a qualidade física do solo, é preciso saber a finalidade da avaliação (KARLEN; STOTT, 1994). Exemplificando-se, qualidade física do solo voltada a

produção inclui indicadores físicos que podem ou não ser utilizados, com foco em perdas de solo, ou pode conter os mesmos indicadores, porém com magnitudes relativas diferentes.

Nesse sentido, alguns indicadores são frequentemente utilizados. Sendo os mais comuns: densidade do solo, condutividade hidráulica, porosidade, curva característica de retenção de água e a resistência à penetração (SINGER; EWING, 2000; IMHOFF et al., 2000; BALBINO et al., 2004). Os atributos físicos do solo também se definem como bons indicadores para identificar o efeito das conversões de áreas (LEÃO et al., 2006).

Os atributos físicos do solo apresentam grande variabilidade espacial, possibilitando observar variações entre parcelas sob mesmo tratamento, mesmo em áreas relativamente próximas e sob condições supostamente controladas, recomendando-se assim a realização de correta amostragem conforme recomendações técnicas com a inclusão de número de amostras pertinente ao tamanho da área. (MIAO et al., 2006 e SHIN et al., 2013).

Nessa mesma linha de pensamento, buscando-se o dimensionamento da qualidade do solo, alguns autores consideram que a produtividade das culturas é a expressão final da qualidade do solo, desta forma verificando-se altas produtividades dentro do sistema significa que os atributos físicos, químicos e biológicos e suas interações estão em boas condições (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

### 3.2 ROTAÇÃO DE CULTURAS

A base do sucesso do Sistema Plantio Direto (SPD) é a rotação de culturas (DERPSCH et al., 1995). O SPD aliado à adequada rotação de culturas aumenta a agregação do solo, pois a matéria orgânica atua como agente cimentante (agregante) entre as partículas do solo, o que diminui os riscos de erosão e promove aumento na fertilidade (CASTRO FILHO et al., 1998 e CALEGARI et al., 2008). Sendo assim, o ótimo desempenho de um sistema de rotação está atrelado à quantidade e à qualidade dos resíduos vegetais que compõem o sistema (KLIEMANN et al., 2006).

Para melhorar a estrutura do solo uma das estratégias é a rotação de culturas. Desde os primeiros trabalhos envolvendo rotações de culturas, demonstrou o efeito direto na melhoria na agregação das partículas do solo (BAVEL et al., 1950; HARRIS et al., 1977; CASTRO FILHO, 1988). Em outro aspecto, o cultivo de diferentes culturas e a manutenção do solo coberto aumentam o carbono orgânico do solo (COS), esse irá favorecer a agregação de partículas (GRANDY et al., 2002). Além disso, o COS proveniente da decomposição dos resíduos irá aperfeiçoar a estabilidade estrutural do solo, reduzindo a formação de

adensamento superficial e também a compactação. Aumentando assim, a percolação e infiltração de água no solo, e conseqüentemente a capacidade do solo de armazenar água (STEVENSON, 1994). Avaliando um LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico sob Sistema Plantio Direto com milho e espécies forrageiras no cerrado, Costa et al. (2015) verificaram após três anos melhoria da fertilidade e nos estoques de carbono do solo, além da redução da compactação, pelo aumento da macroporosidade e diminuição da resistência e densidade do solo.

Considerando-se essencial a melhoria obtida pelos parâmetros exemplificados, confrontando-se com aumentos sucessivos nos custos de produção, a ausência de sistema de rotação adequado contribui para o surgimento de plantas daninhas resistentes à herbicidas, aumento de doenças e de nematóides e até mesmo perda da biodiversidade do solo. Em algumas regiões do país a utilização do sistema de rotação de cultura ainda passa por dificuldades, sendo a principal delas a inclusão de espécies com potencial para rotação nos sistemas de produção (FANCELLI, 2009).

A rotação de culturas deve necessariamente incluir plantas de cobertura que possuam raízes profundas e robustas, pois possuem efeitos positivos no aumento da porosidade do solo e no rompimento de camadas compactadas gerando assim, melhorias na infiltração e armazenamento de água no solo (CALEGARI et al., 1993). Dentre as características necessárias para a seleção de espécies de cobertura, destacam-se a produção de fitomassa e a capacidade de acumular N, pela fixação biológica ou pela absorção dos nutrientes presentes no solo. Tais atributos, em conjunto com a relação C/N da cultura, permitem observar o potencial que as plantas de cobertura têm em incrementar a oferta de N para as culturas sucessoras (OLIVEIRA et al., 2002). Sendo assim, além da melhoria dos atributos físicos, a rotação de culturas também proporciona efeitos nos atributos químicos do solo, ampliando fertilidade por meio do aumento da reciclagem de nutrientes (COLOZZI-FILHO et al., 1999) comprovando-se também a sua grande influência sobre a biomassa microbiana, tanto no aumento da sua atividade/presença quanto na relação fungos/bactérias resulta no aumento da atividade enzimática no solo (ACOSTA-MARTÍNEZ et al., 2003; SIX et al., 2006).

Uma das alternativas nos sistemas de produção é o uso de espécies poáceas. O sistema radicular agressivo e a alta produção de biomassa são características dessas culturas que contribuem para a formação de agregados do solo (SALTON et al., 2008). Avaliando-se estabilidade estrutural do solo e o efeito de rotações de culturas, observou-se que o resíduo da cultura do milho proporcionou melhor agregação nas camadas superficiais e subsuperficiais do solo comparando-se com os resíduos de soja, aliando-se também à uma menor perda de

sedimentos comparando-se os sistemas de SPD e convencional (ZUFFO; GONZÁLEZ, 2018).

A rotação de culturas com espécies fabáceas e poáceas contribuem na diversificação do sistema radicular e na relação C/N, auxiliando-se assim na ciclagem de nutrientes e a velocidade de decomposição. Estes resíduos vegetais sobre a superfície do solo irão auxiliar as próximas culturas, promovendo melhoramento nos atributos físicos e químicos, como o aumento da agregação das partículas, redução da compactação do solo exercido pelo o aumento da matéria orgânica, a mineralização da biomassa e pelo aumento da biomassa microbiana do solo (COSTA et al., 2015).

Nesse sentido, a combinação de poáceas e fabáceas em rotação formam a base do SPD e parece proporcionar a formação de macroagregados na camada superficial (SÁ e LAL, 2009). Vale destacar também que a decomposição lenta e gradual dos resíduos culturais libera compostos orgânicos que estimulam a formação e a estabilidade de agregados, sendo as fabáceas liberadoras de altas quantidades de polissacarídeos e amino compostos (apresentando baixa relação C/N e decompondo-se mais rapidamente comparando-se com as poáceas- ricas em polifenóis e ligninas) (TISDALL; OADES, 1982; SÁ et al., 2001; SIX et.al., 2002).

Em um estudo de vinte anos avaliando a fertilidade do solo em três rotações de culturas, uma sucessão I (trigo/soja), II (trigo/soja e ervilhaca/milho) e III (trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja) em um LATOSSOLO VERMELHO os autores verificaram um aumento de matéria orgânica, fósforo e potássio na camada 0-0,05m e diminuindo progressivamente para a camada 0,15-0,20 m nas rotações II e III (SANTOS et al. 2008).

Sendo assim, consorciações de culturas de cobertura também são válidas e apresentam diversos benefícios à melhoria da qualidade física e química do solo (DE MARIA e CASTRO, 1993). Especificamente quanto ao N, as poáceas e crucíferas atuam na ciclagem do N mineral do solo, reduzindo os riscos de lixiviação, enquanto as fabáceas adicionam esse nutriente pela fixação biológica, contribuindo para o aumento da disponibilidade de N para as culturas em sucessão. Além disso, a decomposição de resíduos depende da proporção das espécies que compõem a consorciação e da relação C/N resultante devendo-se considerar a adição contínua de resíduos ao sistema (HENRICHS et al., 2001).

### 3.3 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

#### 3.3.1 Densidade do solo

Os atributos físicos do solo podem ser alterados pelo manejo da exploração agrícola (ANDREOLA et al., 2000).

A proporção entre os diferentes materiais do solo (minerais e orgânicos) com os espaços porosos, em um determinado volume determina a densidade do solo. Nesse sentido, a densidade do solo é a relação entre a massa de uma amostra seca a 105°C, a soma do volume ocupado pelas partículas (matriz sólida) e a porosidade total dela, sendo expressa em  $\text{g cm}^{-3}$  ou  $\text{kg m}^{-3}$  (SILVA et al., 2014).

Em condições naturais, solos com maiores teores de areia podem apresentar valores elevados de densidade sem que estejam compactados. Isso devido ao peso específico das partículas da areia normalmente composta do mineral quartzo. Já os solos argilosos, possuem maior superfície específica e porosidade intra agregados, evidenciando-se assim densidade do solo menor (CÂMARA; KLEIN, 2005). Assim, os LATOSSOLOS que revelam uma textura argilosa ou muito argilosa, com vegetação nativa (sem ação antrópica) apresentam devido a sua mineralogia densidade do solo próximas de  $1 \text{ g cm}^{-3}$ , enquanto LATOSSOLOS com textura média possuem uma densidade do solo em torno de  $1,35 \text{ g cm}^{-3}$ , devido ao maior peso específico das partículas.

Além dos fatores pedogenéticos, as práticas de manejo influenciam a densidade do solo. O aumento da densidade do solo juntamente com redução do volume de poros, principalmente de macroporos, pode causar compactação excessiva, e em áreas agrícolas está relacionada principalmente ao sistema de manejo do solo. Por exemplo no Sistema de Plantio Direto (SPD) ocorre nas camadas mais superficiais do solo, principalmente devido ao tráfego das máquinas agrícolas, rearranjo natural das partículas do solo e ao preparo restrito à linha de semeadura (SILVA et al., 2018).

A densidade do solo tende a aumentar conforme a profundidade, associada à redução da porosidade total e da relação macro/microporos, bem como uma menor estabilidade de agregados no sistema convencional, em relação aos sistemas conservacionistas (BILIBIO et al., 2010).

O sistema de rotação em plantio direto quando utilizado poáceas que possuem um sistema radicular agressivo promovem agregação do solo, com isso alteram as propriedades físicas entre elas alterando a densidade do solo e, por sua vez, melhorando sua qualidade

química verificados em diversos trabalhos. (ANDREOLA et al., 2000; SANTOS; TOMM, 1999 e ALBUQUERQUE et al., 2001).

A compactação de solo aumenta sua densidade o que pode interferir na produtividade agrícola das culturas, o milho é uma das culturas mais afetadas pela densidade (ALBUQUERQUE et al., 2001). Os atributos físicos do solo (densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade) são parâmetros utilizados para indicar condições restritivas ao pleno desenvolvimento das plantas (UNGER; KASPAR, 1994). Esses efeitos podem ser potencializados quando estas encontram restrição de água e nutriente. No SPD há formação de duas camadas, quando as raízes se desenvolvem acima de camadas compactadas. A alteração dos atributos físicos dentre elas a compactação tem prejudicado o potencial produtivo das culturas, com isto afetando a sustentabilidade do Sistema Plantio Direto (SILVA; IMHOFF; KAY, 2004).

No Brasil, grandes áreas têm sido cultivadas sob plantio direto e tendem ao acúmulo de matéria orgânica, melhorando a estrutura do solo cultivado e podendo reduzir a densidade do solo. Entretanto, o solo sob plantio direto está normalmente relacionado com tráfego de máquinas, as quais podem contribuir para o aumento da densidade, formando impedimentos mecânicos (aumento da compactação do solo) dificultando crescimento de raízes e desenvolvimento das culturas (COLLARES et al., 2006). Além da redução da condutividade hidráulica e início do processo erosivo, pela menor infiltração de água no solo e maior erosão laminar (SILVA et al., 2014).

### 3.3.2 Porosidade do solo

No sistema solo existem pequenos vazios chamados de poros do solo, onde ficam armazenados o ar e a água que as raízes das plantas e outros organismos necessitam para sua hidratação e respiração. Conceitualmente, a porosidade do solo corresponde ao volume do solo não ocupado por partículas sólidas, incluindo todo o espaço poroso ocupado pelo ar e água. A porosidade total inclui a macroporosidade e a microporosidade (TEXEIRA, et al., 2009). Entre as partículas maiores, como de areia ou entre agregados, predominam poros grandes denominados (macroporos) que são responsáveis pela aeração, movimentação de água e penetração de raízes. Entre partículas pequenas, como a de argila, predominam poros pequenos (microporos), responsáveis pela retenção de água pelo solo (TEXEIRA et al., 2009).

A porosidade do solo interfere na aeração, condução e retenção de água, na resistência à penetração e na ramificação das raízes e, conseqüentemente, no aproveitamento

de água e nutrientes disponíveis (RIBEIRO et al., 2007). Os mesmos autores ressaltam que, um solo ideal deve apresentar um volume e dimensão dos poros adequados para a entrada, movimento e retenção de água e ar para atender às necessidades das culturas. Solos bem aerados são indicativos que há uma contínua troca de oxigênio e CO<sub>2</sub> entre a atmosfera e o solo e, para que isso ocorra, é de grande importância a presença de macroporos.

As condições físicas do solo, favoráveis para o adequado desenvolvimento das culturas, tem sido associadas a uma porosidade de aeração mínima de 10% para a adequada difusão do oxigênio no solo, com um limite da resistência a penetração de 2 MPa e com uma ampla disponibilidade de água no solo entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP), sendo a disponibilidade de água o fator mais ligado com a qualidade do solo para o crescimento das plantas (TORMENA, 2009).

A textura e a estrutura dos solos explicam em grande parte o tipo, tamanho, quantidade e continuidade dos poros, sendo assim, os tipos de poros associam-se à sua forma, que tem relação direta com sua origem. Porém, a análise dos tamanhos de poros do solo exige uma classificação, a esse respeito, muitos conceitos têm surgido no sentido de estabelecer padrão para a classificação dos poros quanto ao tamanho, considerando a geometria e a forma do espaço poroso (MARQUES, 2000).

Nos solos, embora essa separação seja difícil de observar entre poros pequenos e grandes, inúmeras classificações do diâmetro de poros são citadas, sendo que uma forma mais simplificada separa os poros em duas classes: micro e macroporos. Brady (1979) e Kiehl (1979) classificam como macro e microporos, os poros com diâmetro maior e menor, respectivamente, que 0,06 mm, enquanto Richards (1965) utiliza diâmetro igual a 0,05 mm como limite de separação entre macro e microporos. Luxmoore (1981) inclui nesta classificação os mesoporos como uma classe intermediária, sugerindo uma classificação na qual os microporos apresentam diâmetro menor que 0,01 mm; os mesoporos apresentam diâmetro entre 0,01 e 1,0 mm; e os macroporos, diâmetro maior que 1,0 mm.

Recentemente Klein e Libardi (2002) classificaram como macroporos, os poros com diâmetro maior que 0,05 mm (que perdem a água em tensões menores que  $6 \cdot 10^3$  Pa), microporos com diâmetro entre 0,05 e 0,0002 mm (que são esvaziados a tensões entre 6 e  $1500 \cdot 10^3$  Pa) e criptoporos, poros com diâmetro menor que 0,0002 mm (que perdem a água apenas para tensões maiores que  $1500 \cdot 10^3$  Pa).

Mesma indefinição ocorre nomenclatura para classificar os poros do solo quanto ao tamanho (RIBEIRO et al., 2007). Os poros do solo também podem ser avaliados pela sua

distribuição bimodal, na qual os mesmos são classificados em poros inter-agregados e poros intra-agregados (OTHMER et al., 1991).

Os poros inter-agregados incluem macro e mesoporos, esses são rapidamente esvaziados fazendo com que a condução de água pelo solo decresça rapidamente. Os poros inter-agregados proporcionam como função básica a aeração das raízes das plantas e a condução da água de drenagem do solo. Os poros intra-agregados, que correspondem aos microporos do solo que esvaziam mais lentamente, proporcionando uma condução de água pelo solo também mais lenta. Nos poros intra-agregados, existe faixa de diâmetro de poros (de 0,05 mm a 0,0002 mm) que é a responsável pela retenção e disponibilização de água para as plantas (OTHMER et al., 1991). A água armazenada em poros com diâmetro menor que 0,0002 mm não se encontra disponível para as plantas (OTHMER et al., 1991).

Em solos de textura arenosa há predominância de macroporos, enquanto em solos de textura argilosa predominância de microporos é maior. Nesse sentido, a origem do tamanho de poros relaciona-se ao tamanho de partículas e são considerados de natureza textural ou porosidade textural. Quando as partículas se organizam em agregados, há a criação de poros no solo, geralmente poros grandes entre agregados, sendo considerados porosidade estrutural (EMBRAPA, 2003). Portanto, em solos argilosos bem estruturados como muitos LATOSSOLOS tem-se porosidade textural dentro dos agregados e estrutural entre agregados, e nesses solos a macroporosidade é bom indicador da condição estrutural ou física do solo (EMBRAPA, 2003).

A densidade e o arranjo poroso do solo podem auxiliar na qualificação do solo agrícola. Estes foram indicadores que diferenciaram os sistemas integrados do tipo lavoura-pecuária-floresta (ILPF) da pastagem degradada (ASSIS et al., 2015).

Estudando alterações na densidade do solo e no volume total de poros em lavouras sob Sistema Plantio Direto na região de Cerrado conforme operações motomecanizadas observou-se valores médios de densidade do solo ( $D_s$ ) de 1,06 e 1,18 g cm<sup>3</sup> para 0-10 e 10-20 cm, e mediana de 1,07 e 1,19 g cm<sup>3</sup> para 0-10 e 10-20 cm, respectivamente (CANTO et al., 2018). Desta forma, os valores de volume total de poros (VTP) apresentaram média e mediana de 58% para 0-10 cm e 54% para 10-20 cm. Os mesmos autores avaliando-se solos da mesma região sob pastagem e agricultura convencional (0-20 cm), apontaram valores de  $D_s$  maiores, com média de 1,35 e 1,45 g cm<sup>3</sup> e mediana de 1,38 e 1,51 g cm<sup>3</sup>, respectivamente. Para o VTP, o valor médio apresentado foi de 45 e 48% para pastagem e agricultura convencional, respectivamente. Os autores relatam que para atingir esses valores deve-se adotar o SPD por pelo menos 20 anos.

A distribuição dos poros no solo desempenha papel fundamental nas relações entre as fases sólida, líquida e gasosa. Sendo assim pode-se caracterizar evolução espacial e temporal dos processos que interferem e envolvem o movimento da água no solo, portanto a classificação dos poros por seus tamanhos condiciona o comportamento físico-hídrico do solo, influenciando o potencial agrícola dos mesmos (CUNHA et al., 2010).

### 3.3.3 Estabilidade de agregados em água

O solo é constituído por partículas primárias classificadas quanto o tamanho em areia, silte e argila. A associação dessas partículas primárias com compostos orgânicos origina complexos organo-minerais secundários, formando agregados do solo que se comportam mecanicamente como unidade estrutural (KEMPER; ROSENAU, 1986).

A formação e a estabilidade dos agregados do solo são processos que ocorrem mediante a atuação de processos físicos, químicos e biológicos (SIX et al., 2000).

Nos processos físicos, os agregados podem formar-se por sucessivos ciclos de umedecimento e secagem, esse processo de umedecimento e secagem promove a aproximação e o afastamento das partículas constituintes do solo (BASTOS et al., 2005).

Nos processos químicos, a formação de agregados ocorre a partir da floculação das partículas primárias e secundárias.

Nos processos biológicos, as plantas e os micro-organismos atuam diretamente na agregação. O crescimento radicular das plantas causa efeito de pressão no solo, originando a aproximação das partículas. Assim, a absorção contínua de água pelas plantas promove a secagem das partículas, aproximando-as e favorecendo a formação de agregados do solo (BASTOS et al., 2005).

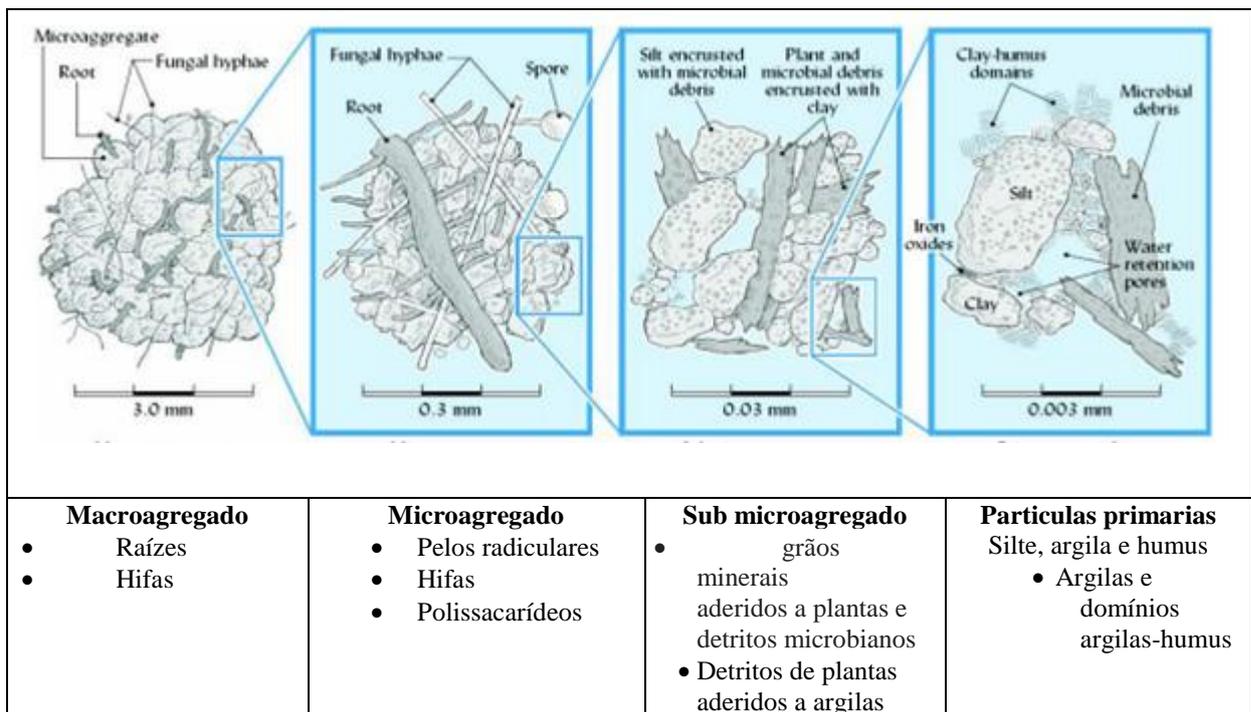
A formação de agregados no SPD está associada a taxa de macroagregação e com o fluxo contínuo de decomposição dos resíduos culturais. Com a ausência do revolvimento do solo ocorre o agrupamento de partículas dispersas em água, microagregados, macroagregados e a associação de microorganismos saprófitos. O fluxo contínuo de carbono na zona ativa de decomposição resulta em uma zona ativa de agregação ao longo do tempo (SÁ et al., 2006).

Os mecanismos que atuam na formação de agregados de diferentes tamanhos no solo foram discutidos considerando que cada estágio de agregação é uma fase independente (TISDALL; OADES, 1982). Os agregados do solo podem ser divididos em: microagregados (agregados < que 0,250 mm), formado pelas frações granulométricas entre si e destas com as moléculas orgânicas, cátions polivalentes e argila; macroagregados (agregados > que 0,250

mm), resultantes da ação mecânica de raízes finas e hifas de fungos, exsudados das raízes que entrelaçam os microagregados, formando estrutura reorganizadas (Figura 1).

Mais adiante, foi sugerido que raízes e hifas atuam como núcleos de formação de microagregados e por serem ligantes temporários, ao se decomporem, formam fragmentos recobertos por mucilagens e incrustados de argilas, dando origem a novos agregados (OADES, 1984).

Figura 1- Sequência da formação de agregados.



Fonte: Adaptado de Tisdal e Oades (1982).

O modelo de organização e hierarquia na formação de agregados sugerido por Oades (1984) tem sido a base para vários estudos sobre os compartimentos da MOS.

O aporte de matéria orgânica no solo pode ser de diversas maneiras. A rotação de culturas, combinando culturas de famílias diferentes tendem a responderem fisicamente no solo. Estudos realizados em LATOSSOLO, no cerrado, demonstraram que sistemas de manejo do solo com rotação de lavoura e pastagem/braquiária SPD, quando comparados a sistemas apenas com lavouras, favorecem a formação de agregados estáveis de maior tamanho. Mostrando a importância das poáceas na formação de macroagregados, devido aos benefícios do sistema radicular (SALTON et al., 2008).

Resultados semelhantes foram encontrados na avaliação de plantas de cobertura em duas áreas de LATOSSOLO em rotação com soja e milho. Observou-se que plantas de cobertura no sistema de rotação, além do retorno econômico, são ótimas alternativas, auxiliaram no aumento do teor de matéria orgânica do solo e na agregação, conseqüentemente na melhora a qualidade do solo (BORGES et al., 2016).

Ao contrário, sistemas convencionais de cultivo, com o uso do revolvimento do solo e ausência de rotação de culturas são considerados com maior poder de degradação do solo. Na bibliografia correlata são encontrados vários trabalhos discutindo a ação das raízes na formação e estabilização dos agregados do solo, sendo apontadas como as grandes responsáveis, principalmente as poáceas (CASTRO FILHO et al., 1998; SOUZA NETO et al., 2008; BORGES et al., 2016). Sendo assim, a estabilidade de agregados constitui fator importante na avaliação dos sistemas de manejo do solo. A forma de manejar o solo tem conseqüências diretas em seus atributos físicos, químicos e biológicos.

### 3.4 QUALIDADE ESTRUTURAL DO SOLO

#### 3.4.1 Análise visual da qualidade da estrutura (VESS)

A estrutura do solo é componente importantíssima da fertilidade do solo, por influenciar diretamente e indiretamente o comportamento físico, químico e biológico do solo, sustentando a produtividade agrícola e mantendo a qualidade do ambiente. A estrutura do solo pode ser considerada a forma como as partículas minerais, juntamente com o material orgânico, se organizam no tempo e no espaço. A estrutura do solo passa pelo processo de arranjos das partículas primárias em unidades estruturais, os agregados, os quais são separados entre si por superfícies de fraqueza ou é superposto ou sem conformação definida (SANTOS et al., 2013).

A estrutura do solo é influenciada pelos processos químicos, físicos e pela biologia do solo, esta, sendo fator determinante da qualidade e do equilíbrio da biodiversidade do solo (EMBRAPA, 2017). Por outro lado, é a estrutura do solo que aponta os principais impactos da antropização, causadas pelos processos físico-mecânicos, químicos e biológicos que prejudicam o processo de construção ou degradação, por intervir na atividade biológica e, conseqüentemente, na fertilidade e na capacidade produtiva do solo. Outros efeitos nas propriedades do solo são decorrentes das alterações ocasionadas pelo manejo na estrutura do solo (EMBRAPA, 2017).

O manejo conservacionista do solo tem como premissa preservar e/ou melhorar a estrutura natural do solo. Com objetivo de quantificar esta foram criados métodos visuais objetivos e reprodutíveis de diagnóstico. Tais métodos permitem obter informações importantes para o monitoramento das práticas agrícolas e dos sistemas produtivos (GUIMARÃES et al., 2011).

País com produção agrícola substancial e crescente, como o Brasil, necessita implementar sistemas rápidos de avaliação quantitativa do solo e da produtividade otimizando-se operações, confiabilidade e padronização nestes meios (MUELLER et al., 2010).

Entre os métodos mais recentes cita-se o VESS (Visual Evaluation of Soil Structure), proposto por Ball et al. (2007) e adaptado por Guimarães et al. (2011), é indicado para avaliar a qualidade física do solo de forma rápida, confiável e sensível aos efeitos de manejo do solo. Os mesmos autores explanam-se sobre a temática do método de avaliação VESS e as maneiras de aplicação de métodos desenvolvidas em diferentes países como Ucrânia, Austrália, Hungria e Rússia e são de grande valia para a mensuração e análise das características físicas da fração de solo e as condições que se encontram.

Foi desenvolvida uma carta visual do método VESS (Anexo1) (BALL et al., 2007; GUIMARÃES et al., 2011). Esta carta inclui fotos de amostras para diferentes tipos de solo, tipos de estruturas, tamanho de agregados em cada categoria de qualidade estrutural (Qe). Na carta desenvolvida pelos autores, cada categoria tem suas características, sendo separada em cinco qualidades estruturais (Qe), em uma escala de varia de um a cinco, sendo 1 (um) a melhor qualidade estrutural e 5 (cinco) as piores características.

As avaliações do VESS podem ser realizadas em qualquer época do ano, mas, de preferência, quando o solo estiver friável, pois a retirada da amostra se torna mais fácil e não altera sua estrutura, além de, se o solo estiver seco, pode quebrar por estar muito resistente e a, de modo que haja dificuldade e talvez imprecisão (BALL et al., 2007; GIAROLA et al., 2013).

A qualidade estrutural do solo está diretamente relacionada a conjunto de atributos e suas interações sendo que, apenas um indicador, não irá abranger todos os fatores relacionados, havendo a necessidade de escolher e estabelecer alguns critérios para seleção de indicadores que se correlacionem os processos do agroecossistema (ASKARI et al., 2015).

Os principais motivos para o desenvolvimento de metodologias eficientes para a avaliação da qualidade do solo através da estrutura é trazer maior consciência sobre os solos e estimular os agricultores a observarem resultados das suas práticas de manejo adotadas

(DORAN, 2001). A percepção sobre o que constitui um solo de boa qualidade, varia e depende das necessidades individuais com relação à função do solo, uso pretendido e interesse dos agricultores (YAO et al., 2013).

Para os produtores pode significar a habilidade do solo em sustentar a produtividade vegetal e animal, conservando os recursos do solo. Para os ambientalistas, pode significar a conservação ou avanço da biodiversidade. Para os consumidores, pode significar capacidade de manter as necessidades humanas (YAO et al., 2013).

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O presente estudo foi realizado junto a experimento em execução na Estação Experimental da Fazenda Modelo - IAPAR (Instituto Agrônômico do Paraná), localizada no município de Ponta Grossa, estado do Paraná - Brasil, situada geograficamente a 25°07' 30'' de latitude sul e 50°03'33'' de longitude oeste, com altitude aproximada de 975 m (Figura 2).

O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é Cfb, subtropical úmido, com temperatura média anual de 18°C e precipitação média anual de aproximadamente 1550 mm (IAPAR, 2013).

O solo da área experimental, foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico, textura média conforme sistema brasileiro de classificação de solo (EMBRAPA, 1999). A textura apresenta 58% de areia, 14% de silte e 28% de argila, textura franco argilo arenosa, em encosta com relevo suave ondulado, derivado de material retrabalhado da formação arenito furnas.

Anteriormente à implantação do experimento (inverno de 2014) a área vinha sendo utilizada em sistema de integração lavoura-pecuária em Plantio Direto desde 2000, sempre com cultivo de azevém e aveia no inverno para pastejo e, de forma alternada, no verão com milho e soja para produção de grãos.

Adotou-se como delineamento experimental, blocos casualizados com seis tratamentos e quatro repetições, sendo as parcelas constituídas por 300 m<sup>2</sup>, 10 m de largura por 30 m de comprimento (Figura 2).

Todas as recomendações de sementeira, tratos culturais, fitossanitários e colheita seguiram recomendações técnicas e inspeções a campo, para cada cultura implantada.

Todas as amostragens foram realizadas após a colheita da soja que ocorreu em abril, sendo que as coletas estenderam-se até Junho, em função na necessidade do solo estar friável.

Figura 2-Experimento de rotação de culturas instalado na Estação Experimental da Fazenda Modelo do IAPAR em Ponta Grossa - PR



Fonte: O autor

Os tratamentos foram compostos por manejos representados pela rotação de culturas, com ciclos de três anos (Quadro 1), e disposição dos tratamentos na área (Figura 3) conduzido em sistema plantio direto.

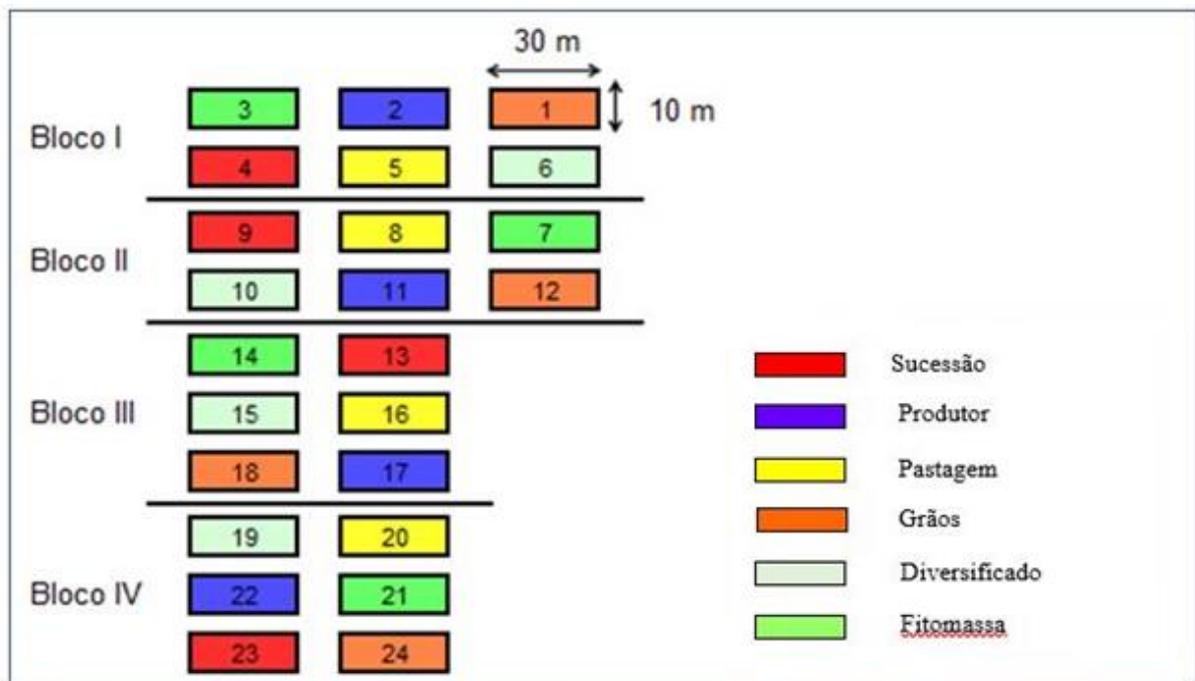
Quadro 1- Tratamentos compostos por usos e manejos com ciclos de três anos, Ponta Grossa-PR, 2018

| Tratamentos Usos e manejos | Ano 1 (14/15)                                      | Ano 2 (15/16)                          | Ano 3 (16/17)                            |
|----------------------------|--|--|--|
| Sucessão                   | Trigo e soja                                       | Trigo e soja                           | Trigo e soja                             |
| Produtor                   | Trigo e soja                                       | Aveia preta e milho                    | Trigo e soja                             |
| Grãos                      | Trigo e soja                                       | Canola e milho                         | Cevada e soja                            |
| Fitomassa                  | Tremoço azul + aveia preta e milho                 | Aveia branca e feijão + trigo mourisco | Triticale e soja                         |
| Diversificado              | Aveia preta + centeio + ervilhaca e feijão + sorgo | Aveia preta + ervilhaca + nabo e milho | Triticale + aveia preta + centeio e soja |
| Pastagem                   | Aveia preta + azevém e soja                        | Aveia preta + azevém e milho           | Aveia preta + azevém e soja              |

O tratamento Sucessão simula sempre no inverno o trigo e soja no verão, prática muito utilizada na década de 70 e 80, que ainda é utilizado por alguns produtores. O tratamento Produtor simboliza alguns produtores da região que utilizam na sua rotação a cada três anos o milho, talvez tenha sido este o primeiro desenho comercial do Sistema Plantio

Direto. O tratamento Grãos representa uma rotação que sempre exporta/extraí grãos do sistema. Pensando em construção da fertilidade física do solo sugere-se o tratamento Fitomassa. Este tem foco em culturas com alto rendimento de biomassa bem como o fechamento de "janelas". O tratamento Diversificado representa os consórcios entre fábaceas e poáceas. O tratamento Pastagem simula um produtor que no inverno semeia aveia preta e azevém para pastejo de animais, porém não houve entrada de animais na área e nem o corte das culturas simulando "pastejo". Portanto as culturas de inverno foram semeadas e manejadas no florescimento.

Figura 3. Delineamento experimental Projeto Sistemas de produção e rotação de culturas em plantio direto.



Fonte: O autor

## 4.2 PARÂMETROS ANALISADOS

### 4.2.1 Densidade do solo

Para determinação da densidade e porosidade do solo foram coletadas amostras indeformadas com anéis volumétrico. o equipamento "amostrador" utilizada para coleta de amostras, superficial e subsuperficial, indeformadas de solo. O amostrador é composto por anel de alumínio com diâmetro e altura de 50 mm, acompanhado por anel adaptador fixado a eixo em aço inox, deslizante para processar a penetração através do impacto de luva metálica

deslizante sobre o eixo. Imediatamente após a coleta da estrutura indeformada nos anéis cilíndricos, realizou-se a padronização das amostras, uniformizando-as nas dimensões do anel. Após esta, as amostras foram tampadas e envolvidas em filme de PVC e submetidas a processamento de secagem.

A coleta das amostras indeformadas foi realizada nas camadas de 0,0 – 0,05 m, 0,05 – 0,10m, 0,10 – 0,20 m de profundidade, em cinco pontos dentro da parcela. Simultaneamente realizou-se a análise de avaliação visual da qualidade estrutural do solo.

Após a realização do processo para a determinação da porosidade do solo, as amostras saturadas, foram submetidas a secagem em estufa elétrica com circulação de ar forçada 105°C por 24 horas. Determinou-se a massa das amostras utilizando-se balança eletrônica com acurácia de 0,01 gramas, marca Mettler Toledo® e modelo MS-TS. O volume de cada cilindro foi calculado através da média de três medidas de alturas e seis do diâmetro. A densidade do solo foi determinada conforme Equação 1.

$$D_s = M/V \quad (1)$$

Onde:

D<sub>s</sub>= é a densidade do solo;

M= a massa das amostras;

V= é o volume da amostra.

#### 4.2.2 Porosidade total do solo (macro e micro)

Com o solo/anéis coletados, antes do processo determinação da densidade do solo, as amostras foram preparadas para o processo de saturação retirando-se o filme de PVC, colocando proteção de tecido fino (voal).

Após a preparação das amostras, as mesmas foram colocadas para a saturação por 24 horas, com o nível de água até a metade da altura do anel. Em seguida, mensurou-se massa e colocou-se em mesa de tensão sob pressão de  $6.10^3$  Pa por 48 horas. Após esse processo, determinou-se as massas das amostras em balança de precisão com acurácia de 0,01 gramas, fornecendo o volume de macroporos do solo pela subtração da massa saturada comparando-se a massa após a mesa de tensão. Posteriormente levou-se para a secagem em estufa a 105°C por no mínimo 24 horas, sendo determinada a massa novamente, resultando no volume de microporos pela subtração da massa da amostra no potencial de  $6.10^3$  Pa com a massa após a secagem em estufa (EMBRAPA, 2011).

A porosidade Total do solo foi determinada pela subtração da massa saturada com a massa seca, após estufa (EMBRAPA, 2011).

#### 4.2.3 Estabilidade de Agregados em Água

Para determinação da estabilidade de agregados foram retiradas amostras deformadas nas profundidades de 0,0-0,05 m, 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m. Ainda à campo foram submetidas à peneira de 19 mm para estabelecer diâmetro máximo para os agregados (Madari, 2005). As amostras foram levadas ao laboratório para a determinação das classes de agregados por meio do método do tamisamento a úmido (EMBRAPA, 2011), utilizando agitador Yoder, modelo SL 93-16.

Portanto, foram obtidos agregados retidos nas peneiras 8-4-2-1-0,5mm e o que ultrapassou a última peneira (< 0,5 mm), obtendo-se seis classes de agregados. Os resultados obtidos foram utilizados para o cálculo do diâmetro médio ponderado (DMP)(Equação 2), diâmetro médio geométrico (DMG)(Equação 3) e índice de estabilidade de agregados (IEA)(Equação 4).

$$DMP = \sum_{i=1}^n (x_i \cdot w_i) \quad (2)$$

$$DMG = EXP \sum_{i=1}^n = 1 \frac{w_i \cdot \log x_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (3)$$

$$IEA = \left( \frac{\text{Peso da amostra seca} - w_{p50} - \text{areia}}{\text{Peso da amostra seca} - \text{areia}} \right) 100 \quad (4)$$

Onde:

$w_i$  = proporção (%) de cada classe de agregados em relação ao total de classes;

$x_i$  = diâmetro médio das classes de agregados (mm);

$w_p$  = peso dos agregados de cada classe (g).

Onde:

$w_i$  = proporção (%) de cada classe de agregados em relação ao total de classes;

$x_i$  = diâmetro médio das classes de agregados (mm);

$w_p$  = peso dos agregados de cada classe (g).

#### 4.2.4 Carbono orgânico total do solo (COT)

As parcelas experimentais foram amostradas para avaliação do teor de carbono orgânico do solo, com auxílio de uma pá com demarcações de profundidade. Foram coletadas amostras estratificadas nas profundidades: 0,0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 m. Para coleta das amostras compostas, realizou-se a amostragem nas linhas e entrelinhas da cultura. Cada amostra foi composta por doze (12) sub amostras. Essas foram utilizadas para determinação do carbono orgânico pela oxidação ácida Walkley-Black (PAVAN ET AL., 1992).

#### 4.2.5 Avaliação visual da qualidade da estrutura do solo

A análise da qualidade visual realizou-se com o auxílio de pá reta para não haver interferência de compactação pelo movimento da pá, primeiramente foram retiradas as laterais e depois aberta trincheira com 0,30 m de largura x 0,40 m de comprimento x 0,30 m de profundidade. Desta retira-se amostra indeformada (bloco) de solo com 0,15 m de largura x 0,25 m de profundidade x 0,10 m de espessura da camada superficial da fração de solo, sendo cinco repetições por parcela.

Os blocos foram colocados sobre a superfície do solo (plana), para não haver desagregação das amostras fora das linhas de ruptura naturais do solo (Figura 4a). Após isso foi medido o comprimento de cada camada para posterior cálculo da média ponderada. Os blocos foram manuseados com apenas uma mão realizando o mínimo de esforço, após desagregação foram atribuídos os escores (notas) (Figura 4b). Por tratar-se de análise visual foram tiradas fotografias de cada amostra para comparação entre os tratamentos com a carta de avaliação visual do método VESS sugerido por Ball et al. (2007) e adaptado por Guimarães et al. (2011) (Anexo A).



Os resultados foram obtidos através de coletas realizadas quando as culturas estavam em pleno florescimento (fase que a cultura apresenta maior acúmulo de biomassa). Foi recortado toda parte aérea das culturas no equivalente a 0,25m<sup>2</sup> em cinco pontos ao acaso de cada parcela. Estas foram secas estufa a 60°C por 72 horas (MIYAZAWA ET AL., 1992).

Posteriormente determinou-se a massa das amostras, e calculou-se a produção de biomassa seca em Mg ha<sup>-1</sup> de cada cultura implantada nos tratamentos. Após três anos do estudo foram somadas a produção, chegando-se à biomassa total gerada pelos tratamentos no período.

#### 4.2.7 Rendimento de grãos de soja

A semeadura da soja foi realizada na quarta de novembro de 2016, com espaçamento de 0,45 m entre linha e 14 sementes por metro, buscando população de 280.000 plantas por hectare. Utilizou-se a cultivar SYN 1163 RR. Todas as recomendações de semeadura, adubação, tratos culturais, fitossanitários e colheita foram iguais para todos os tratamentos seguindo as recomendações técnicas e inspeções a campo.

Os rendimentos da cultura da soja foram obtidos através da colheita de área útil das parcelas experimentais, descartando-se 1 m das extremidades. Dessa forma, foram colhidos 224 m<sup>2</sup> de cada parcela (8x28m).

A colheita da soja foi realizada mecanicamente, com colhedora de parcelas da marca Wintersteiger®, modelo Cibus F. Após a colheita, os grãos passaram por processo de limpeza em peneiras manuais. Concomitantemente com a determinação da massa, determinou-se o teor de água da soja com determinador portátil marca Gehaka®, modelo G 650 i. A massa final dos grãos foi corrigida para conteúdo de água de 140 g kg<sup>-1</sup>, valor comercialmente estipulado. A partir do qual se realizou o cálculo de rendimento em Kg ha<sup>-1</sup>.

#### 4.3 ANÁLISE EXPERIMENTAL

Os valores obtidos nas avaliações foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos foram comparadas através do teste de Tukey à 5 % de probabilidade de erro, utilizando programa estatístico SISVAR 5.6 (FERREIRA, 2014).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 ATRIBUTOS FÍSICOS E TEOR CARBONO ORGÂNICO DO SOLO

Verificou-se que os atributos físicos, densidade, teor de carbono orgânico do solo, porosidade total, microporosidade e macroporosidade não foram influenciados significativamente pelo sistema de rotação de cultura (Tabela 1). Esse resultado pode estar relacionado ao curto período avaliado após o tempo de implantação da rotação (três anos). Exemplo é trabalho de Carvalho et al. (2014), que avaliaram culturas de coberturas, e verificaram aumento significativo nos teores de carbono orgânico somente em rotações que o milho estava incluído, após cinco anos de cultivos.

Tabela 1 - Atributos físicos do solo e carbono orgânico obtidos em função do uso e manejo do solo em profundidades. Ponta Grossa - PR, 2018

| Tratamentos   | Ds <sup>1</sup><br>g cm <sup>-3</sup> | C org <sup>2</sup><br>g dm <sup>-3</sup> | Pt <sup>3</sup><br>% | Mip <sup>4</sup><br>% | Map <sup>5</sup><br>% |
|---------------|---------------------------------------|--|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Sucessão      | 1,35 <sup>ns</sup>                    | 17,84 <sup>ns</sup>                      | 46,09 <sup>ns</sup>  | 35,68 <sup>ns</sup>   | 10,40 <sup>ns</sup>   |
| Pastagem      | 1,34                                  | 16,80                                    | 45,35                | 35,76                 | 9,58                  |
| Produtor      | 1,34                                  | 16,41                                    | 46,37                | 36,55                 | 10,02                 |
| Diversificado | 1,35                                  | 17,06                                    | 45,28                | 34,92                 | 10,36                 |
| Grãos         | 1,34                                  | 17,70                                    | 46,92                | 35,70                 | 11,21                 |
| Fitomassa     | 1,34                                  | 17,43                                    | 46,52                | 37,12                 | 9,40                  |
| C.V.(%)       | 5,91                                  | 15,81                                    | 14,32                | 15,68                 | 46,46                 |
| Profundidades |                                       |  |                      |                       |                       |
| 0 - 0,05 m    | 1,35 b*                               | 19,23a                                   | 48,16a               | 38,17a                | 9,98 <sup>ns</sup>    |
| 0,05 - 0,1 m  | 1,37 b                                | 17,59ab                                  | 44,86 b              | 34,64 b               | 10,22                 |
| 0,1 - 0,2 m   | 1,36 b                                | 16,00 b                                  | 44,69 b              | 34,05 b               | 10,64                 |
| 0,2 - 0,4 m   | 1,30a                                 | 16,00 b                                  | 46,79a               | 36,97a                | 9,80                  |
| CV(%)         | 5,95                                  | 15,81                                    | 10,11                | 12,17                 | 40,79                 |

<sup>1</sup> Densidade do Solo; <sup>2</sup> Carbono orgânico do solo; <sup>3</sup> Porosidade Total; <sup>4</sup> Microporosidade; <sup>5</sup> Macroporosidade.

\*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%, ns = não significativo entre si pelo teste de Tukey a 5%. CV = Coeficiente de variação.

Porém para fator profundidade houve diferenças significativas para densidade, carbono, porosidade total e microporosidade. As menores densidades foram observadas na profundidade de 0,20 - 0,40 m, independente dos tratamentos. Esses valores de densidade podem estar relacionados com menor interferência do manejo e tráfego de máquinas. Marchão et al.(2007) e Andrade et al. (2009) encontraram resultados semelhantes em experimentos sobre LATOSSOLO VERMELHO, destacando maiores valores de macroporos. Trabalhos de

Tormena et al. (2002); Assis e Lanças (2005) e Neves et al. (2007) verificaram que a porosidade do solo tem ação inversamente proporcional a densidade do solo, a porosidade será menor quanto maior for a densidade do solo.

Como esperado, o maior teor de carbono ocorreu em superfície, na camada 0, 05 m diferindo das demais camadas. Este fato corrobora com os primeiros trabalhos com plantio direto (MUZILLI, 1983; SIDIRAS; PAVAN, 1985). Fica claro nestes trabalhos que o maior teor de carbono ocorrer nas primeiras camadas do solo, ocasionado pela contribuição de matéria orgânica disponível na superfície do solo, mesmo após vários anos de implantação do Sistema Plantio Direto, devido ao sistema ser baseado no aporte de biomassa e de não revolvimento do o solo (BAYER et al., 2000; CARVALHO et al. 2014).

Os maiores valores de porosidade do total solo e microporosidade ocorreram na camada de 0- 0,05 e 0,2- 0,4 m, estatisticamente significativos. Corroborando com os resultados de Reinert et al. (2008), que observaram que plantas de cobertura, aportam matéria orgânica, conferindo ao solo maior porosidade, diferindo das demais camadas avaliadas, abaixo de 0,2 m ocorre pouca interferência do uso, manejo e tráfego de máquinas (MARCHÃO et al., 2007). Segundo Fernandes et al. (2007) sistemas sem mobilização, como Plantio Direto, concentram biomassa e raízes na camada superficial do solo, além do não revolvimento de solo, incrementando assim matéria orgânica em subsuperfície, levando o aumento da microporosidade abaixo da primeira camada. Já a macroporosidade manteve os valores semelhantes ao longo do perfil não diferindo estatisticamente.

Os valores obtidos de densidade, entre 1,30 a 1,37 g cm<sup>-3</sup>, são compatíveis como uso agrícola. Klein (2008) aponta densidade de 0,9 a 1,8 cm<sup>-3</sup> como valores de referência para solos de uso agrícola. Em trabalhos mais específicos, Reichert et al. (2003), propuseram, para solos francos argilosos, a densidade entre 1,4 a 1,5 g cm<sup>-3</sup> como crítica. Seguindo esta linha de raciocínio, os usos e manejos empregados não apresentaram limitações. O mesmo se aplica aos valores de porosidade, independentemente da rotação adotada, que é variável com relação direta com a densidade.

## 5.2 AGREGADOS ESTÁVEIS EM ÁGUA

Verificou-se que os sistemas de rotação de culturas não influenciaram significativamente o tamanho médio dos agregados (Tabela 2). Esta pode ser em função do curto período de avaliação, visto que em estudos conduzidos por quatro anos, também avaliando a influência de plantas de cobertura, manejadas em pré-florescimento sob

LATOSSOLO VERMELHO distrófico, textura argilosa corroboram com esses resultados (SOUSA NETO et al. 2008). Em seus estudos Castro Filho et al. (1998), avaliando as relações entre o teor de C-orgânico e o tamanho e estabilidade dos agregados do solo em dois sistemas de plantio (convencional e direto) com três rotações de culturas após 14 anos, não foi constatado efeito significativo das diferentes culturas em relação a agregação do solo. Além disso, Wendling et al. (2005) concluíram que a matéria orgânica é o principal agente de formação e estabilização dos agregados do solo, razão pela qual avaliar a matéria orgânica nos agregados é de suma importância. Isso pode ter influenciado a não ocorrência de diferença, pois não se observou diferença no teor de carbono dos agregados entre os usos e manejos (Tabela 4).

Tabela 2 - Classificação das classes de tamanho de agregados em função de usos e manejos conforme em profundidade - Ponta Grossa - PR, 2018

| Tratamentos             | Classe de tamanho dos agregados (mm) |                     |                     |                     |                     |                     |
|-------------------------|--------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                         | 8,0 - 19                             | 4,0 - 8,0           | 2,0 - 4,0           | 1,0 - 2,0           | 0,5 - 1,0           | < 0,5               |
| -----agregados (%)----- |                                      |                     |                     |                     |                     |                     |
| 0 - 5 cm                |                                      |                     |                     |                     |                     |                     |
| Sucessão                | 24,03 <sup>ns</sup>                  | 15,72 <sup>ns</sup> | 11,04 <sup>ns</sup> | 8,15 <sup>ns</sup>  | 11,80 <sup>ns</sup> | 29,23 <sup>ns</sup> |
| Pastagem                | 23,36                                | 19,24               | 13,21               | 9,02                | 11,11               | 24,02               |
| Produtor                | 23,78                                | 16,83               | 11,62               | 8,81                | 11,92               | 27,01               |
| Diversificado           | 23,62                                | 20,19               | 12,08               | 7,96                | 10,35               | 25,78               |
| Grãos                   | 22,82                                | 18,24               | 12,14               | 8,72                | 11,16               | 26,88               |
| Fitomassa               | 21,96                                | 18,41               | 12,98               | 8,83                | 11,37               | 26,43               |
| C. V. (%)               | 22,67                                | 12,65               | 12,83               | 13,12               | 17,37               | 9,56                |
| 5 - 10 cm               |                                      |                     |                     |                     |                     |                     |
| Sucessão                | 18,02 <sup>ns</sup>                  | 13,44 <sup>ns</sup> | 12,34 <sup>ns</sup> | 9,40 <sup>ns</sup>  | 13,05 <sup>ns</sup> | 33,72 <sup>ns</sup> |
| Pastagem                | 23,64                                | 13,01               | 10,84               | 9,00                | 11,69               | 31,78               |
| Produtor                | 24,58                                | 11,40               | 9,78                | 9,15                | 12,74               | 32,32               |
| Diversificado           | 23,04                                | 14,56               | 10,83               | 8,35                | 11,04               | 32,15               |
| Grãos                   | 25,28                                | 13,56               | 10,01               | 7,51                | 11,22               | 32,40               |
| Fitomassa               | 22,26                                | 15,46               | 10,54               | 8,02                | 10,93               | 32,76               |
| C. V. (%)               | 25,03                                | 15,27               | 13,85               | 16,49               | 16,41               | 9,59                |
| 10 - 20 cm              |                                      |                     |                     |                     |                     |                     |
| Sucessão                | 8,24 <sup>ns</sup>                   | 10,34 <sup>ns</sup> | 11,63 <sup>ns</sup> | 13,40 <sup>ns</sup> | 17,79 <sup>ns</sup> | 38,58 <sup>ns</sup> |
| Pastagem                | 15,61                                | 8,36                | 10,59               | 11,60               | 16,28               | 37,52               |
| Produtor                | 13,91                                | 6,18                | 9,75                | 13,08               | 15,65               | 41,40               |
| Diversificado           | 16,75                                | 10,17               | 11,39               | 12,52               | 14,87               | 34,26               |
| Grãos                   | 16,50                                | 8,78                | 10,83               | 11,20               | 15,83               | 36,83               |
| Fitomassa               | 18,37                                | 11,48               | 10,22               | 10,95               | 13,58               | 35,39               |
| CV (%)                  | 25,62                                | 13,39               | 17,94               | 14,66               | 12,53               | 10,49               |

\*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey à 5%; ns = não significativo entre si pelo teste de Tukey à 5%; C.V. = Coeficiente de variação.

Não foram observadas diferenças entre carbono orgânico do solo e estabilidade de agregados, para as rotações adotadas, o que também foi observado por Castro Filho et al. (1998). Borges et al. (2016), avaliando dois LATOSSOLOS no cerrado, observaram aumento na agregação do solo, sem diferir na estabilidade de agregados.

Em relação ao diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e o índice de estabilidade de agregados (IEA), não se observaram diferenças significativas entre os manejos e usos e profundidade (Tabela 3).

Tabela 3- Diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de estabilidade de agregados (IEA) em função usos e manejos do solo conforme profundidade- Ponta Grossa-PR, 2018

| Tratamentos       | DMP                | DMG                | IEA                 |
|-------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
|                   | -----mm-----       |                    | ---- % ----         |
| <b>0 - 5 cm</b>   |                    |                    |                     |
| Sucessão          | 4,87 <sup>ns</sup> | 1,17 <sup>ns</sup> | 70,76 <sup>ns</sup> |
| Pastagem          | 5,04               | 1,20               | 75,97               |
| Produtor          | 4,92               | 1,18               | 72,98               |
| Diversificado     | 5,08               | 1,19               | 74,21               |
| Grãos             | 4,88               | 1,18               | 73,11               |
| Fitomassa         | 4,80               | 1,18               | 73,56               |
| CV (%)            | 11,58              | 2,31               | 3,88                |
| <b>5 - 10 cm</b>  |                    |                    |                     |
| Sucessão          | 3,97 <sup>ns</sup> | 2,34 <sup>ns</sup> | 66,27 <sup>ns</sup> |
| Pastagem          | 4,64               | 2,35               | 68,21               |
| Produtor          | 4,65               | 2,38               | 67,67               |
| Diversificado     | 4,63               | 2,33               | 67,84               |
| Grãos             | 4,84               | 2,29               | 67,59               |
| Fitomassa         | 4,57               | 2,31               | 67,23               |
| CV (%)            | 14,84              | 1,47               | 1,49                |
| <b>10 - 20 cm</b> |                    |                    |                     |
| Sucessão          | 2,56 <sup>ns</sup> | 2,35 <sup>ns</sup> | 61,41 <sup>ns</sup> |
| Pastagem          | 3,36               | 2,34               | 62,47               |
| Produtor          | 2,85               | 2,36               | 58,16               |
| Diversificado     | 3,64               | 2,36               | 65,73               |
| Grãos             | 3,50               | 2,36               | 63,16               |
| Fitomassa         | 3,87               | 2,34               | 64,60               |
| CV (%)            | 15,84              | 1,96               | 3,01                |

\*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey à 5%; ns= não significativo entre si pelo teste de Tukey à 5%; CV = Coeficiente de variação.

Outro fator que corrobora para a formação de agregados estáveis é o Sistema de Plantio Direto que devido o aporte de resíduos vegetais na superfície do solo, pode contribuir com agregados estáveis por períodos maiores (SANTOS et al., 2012).

A avaliação de acúmulo de carbono orgânico observado no solo, pela análise do carbono total nas classes de agregados não diferiram significativamente entre os sistemas de uso e manejo e profundidade (Tabela 4).

Tabela 4-Carbono nas classes de agregados em função dos usos e manejos do solo conforme profundidade - Ponta Grossa - PR, 2018

| Tratamentos              | Classe de tamanho dos agregados (mm) |                     |                     |                     |                     |
|--------------------------|--------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                          | 8,0 - 19                             | 4,0 - 8,0           | 2,0 - 4,0           | 1,0 - 2,0           | 0,5 - 1,0           |
| ----- agregados (%)----- |                                      |                     |                     |                     |                     |
| <b>0 - 5 cm</b>          |                                      |                     |                     |                     |                     |
| Sucessão                 | 21,03 <sup>ns</sup>                  | 23,76 <sup>ns</sup> | 25,71 <sup>ns</sup> | 22,40 <sup>ns</sup> | 21,33 <sup>ns</sup> |
| Pastagem                 | 21,81                                | 28,92               | 21,33               | 20,91               | 21,91               |
| Produtor                 | 21,33                                | 27,52               | 24,44               | 25,22               | 23,47               |
| Diversificado            | 22,59                                | 31,12               | 23,30               | 23,57               | 22,79               |
| Grãos                    | 22,20                                | 25,81               | 23,27               | 22,49               | 22,88               |
| Fitomassa                | 21,72                                | 26,20               | 24,35               | 26,10               | 24,05               |
| CV (%)                   | 13,78                                | 19,59               | 17,83               | 14,1                | 12,36               |
| <b>5 - 10 cm</b>         |                                      |                     |                     |                     |                     |
| Sucessão                 | 18,70 <sup>ns</sup>                  | 23,30 <sup>ns</sup> | 18,31 <sup>ns</sup> | 15,68 <sup>ns</sup> | 17,14 <sup>ns</sup> |
| Pastagem                 | 19,77                                | 19,96               | 17,53               | 18,50               | 16,26               |
| Produtor                 | 21,13                                | 27,32               | 19,38               | 16,75               | 17,82               |
| Diversificado            | 18,70                                | 22,32               | 18,50               | 17,92               | 18,50               |
| Grãos                    | 18,21                                | 19,61               | 22,40               | 16,55               | 18,31               |
| Fitomassa                | 16,46                                | 19,79               | 16,94               | 16,31               | 15,68               |
| CV (%)                   | 12,14                                | 23,13               | 17,35               | 9,53                | 9,63                |
| <b>10 - 20 cm</b>        |                                      |                     |                     |                     |                     |
| Sucessão                 | 14,70 <sup>ns</sup>                  | 19,38 <sup>ns</sup> | 16,55 <sup>ns</sup> | 16,16 <sup>ns</sup> | 15,48 <sup>ns</sup> |
| Pastagem                 | 17,33                                | 19,09               | 19,38               | 17,92               | 15,77               |
| Produtor                 | 15,97                                | 21,25               | 18,21               | 15,38               | 17,04               |
| Diversificado            | 15,48                                | 18,65               | 21,52               | 15,29               | 15,87               |
| Grãos                    | 15,19                                | 17,33               | 18,21               | 16,16               | 15,97               |
| Fitomassa                | 14,12                                | 17,72               | 19,48               | 16,16               | 15,77               |
| C.V. (%)                 | 14,27                                | 18,29               | 16,14               | 11,92               | 11,15               |

\*Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey à 5% de significância; ns = não significativo. C.V.= Coeficiente de variação.

Conforme resultados do conteúdo de carbono (Tabela 4) a não significância estatística pode ter relação com o tempo de implantação do experimento. Wendling et al.

(2005) e Salton et al. (2008) relatam que quanto maior o tempo de rotação com uso de plantas de cobertura em sistema plantio direto, maior o acúmulo de matéria orgânica e existência de relação da quantidade de matéria orgânica no DMP, IEA e DMG. Em LATOSSOLO VERMELHO, testando coberturas vegetais, observaram-se diferenças significativas nos teores de carbono somente após cinco anos de implantação (CARVALHO et al., 2014). Neste trabalho, em áreas de vegetação nativa em conversão para pastagem, seguindo recomendações técnicas, os mesmos autores, também apontam aumento de carbono no solo em função do tempo de implantação do manejo.

Essas informações sugerem que resultados significativos dependem do tempo de implantação e das culturas do sistema de rotação. No caso das rotações simuladas neste trabalho este tempo seria acima de três anos.

### 5.3 ANÁLISE VISUAL DA QUALIDADE ESTRUTURAL DO SOLO (VESS)

Os efeitos das rotações na qualidade visual da estrutura do solo (VESS) foram analisados conforme média ponderada das notas (escores visuais) atribuídas as camadas identificadas.

Com referência a variações de espessura de camadas, em todos os tratamentos, identificaram-se somente duas camadas (Tabela 5). Não se observou diferença significativa para estrutura visual na espessura das camadas identificadas nos usos e manejos.

Tabela 5- Espessura média das camadas do VESS em função de usos e manejos do solo - Ponta Grossa- PR, 2018

| Tratamento    | Camada (cm)        |                     |
|---------------|--------------------|---------------------|
|               | 1                  | 2                   |
| Sucessão      | 9,06 <sup>ns</sup> | 15,13 <sup>ns</sup> |
| Pastagem      | 10,83              | 13,25               |
| Produtor      | 11,08              | 12,75               |
| Diversificado | 8,78               | 15,35               |
| Grãos         | 8,83               | 15,00               |
| Fitomassa     | 8,25               | 16,08               |
| CV(%)         | 33,65              | 24,4                |

\*Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey à 5% de significância; ns = não significativo entre si pelo teste de Tukey à 5%. CV = Coeficiente de variação.

A não significância entre as camadas, pode ser devido ao fato da área ser cultivada desde o ano 2000 em Sistema Plantio Direto, portanto a contribuição de matéria orgânica

disponível na superfície, aliado ao não revolvimento do solo, faz com que ocorra a formação de camadas (BAYER et al., 2000; CARVALHO et al. 2014).

Os resultados dos valores médios de escores visuais e a média das duas camadas de cada tratamento apontam para condição de igualdade na camada 1 e pequena alteração na camada 2 (Tabela 6).

Quando se avalia os resultados com foco nos escores finais (nota final), observa-se que o tratamento produtor apresentou resultado significativamente superior a pastagem. Este resultado contraria os descritos por Costa et al. (2009), que citam a rotação de inverno com poáceas (aveia e azevém), para a produção de pastagem, como boas agregadoras de solo. Contrários também a o descrito por Costa et. al. (2015), que citam que os resíduos de poáceas tendem a melhorar as propriedades físicas do solo, pelo aumento da agregação e redução da compactação pelo incremento da matéria orgânica. No entanto, o solo em estudo (LATOSSOLO Distrófico), conforme EMBRAPA (2013) favorece o desenvolvimento das raízes na camada superficial do solo.

Por outro lado a não significância observada pode novamente, estar ligada ao curto período da implantação do experimento, além disso, sistemas de rotação de culturas que não revolvem o solo e resíduos vegetais sob a superfície tendem a melhorar a condição estrutural (FERNANDES et al., 2007). Em experimento com Sistema Plantio Direto de Giarola et al. (2013), visualiza-se nota 1 na camada superficial, enquanto que em subsuperfície as notas variaram entre 3 e 4. Os autores atribuíram esse fator a compactação em subsuperfície devido ao fluxo de máquinas praticado na agricultura contemporânea e a entrada de máquinas com conteúdo de água próximo ao ponto ideal de compactação. Este último fato é permitido, operacionalmente, pelo quantitativo de restos culturais em superfície.

Tabela 6 - Média das notas da qualidade estrutural do solo obtidas pelo método VESS em função de usos e manejo do solo - Ponta Grossa - PR, 2018

| Tratamentos   | Camada 1           | Camada 2 | Escore Final |
|---------------|--------------------|----------|--------------|
| Sucessão      | 1,50 <sup>ns</sup> | 1,98 a*  | 1,80a b*     |
| Pastagem      | 1,52               | 2,45 b   | 2,05 b       |
| Produtor      | 1,48               | 1,96 a   | 1,66a        |
| Diversificado | 1,49               | 1,85 a   | 1,72a b      |
| Grãos         | 1,45               | 1,95 a   | 1,76a b      |
| Fitomassa     | 1,57               | 2,05 a b | 1,92a b      |
| CV(%)         | 21,24              | 16,58    | 16,35        |

\*Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey à 5%; ns = não significativo entre si pelo teste de Tukey à 5%. CV = Coeficiente de variação.

Nesta mesma linha, Cherubin et al. (2017) observaram em áreas de pastagem notas médias de 1,5 na superfície e 2,3 em subsuperfície, enquanto que em cana de açúcar os valores foram de 1,1 na primeira camada e 3,2 na segunda camada, com média ponderada de 2 e 2,5 respectivamente. Os resultados obtidos por Cherubin et al. (2017), são semelhantes aos obtidos por Giarola et al. (2013), ambos destacam a pressão do manejo, o que não ocorreu no presente estudo.

Autores como: Guimarães et al. (2013); Buss (2015) e Cherubin et al. (2017) concluíram que a atribuição de notas em camadas individuais quando se avalia separadamente as camadas; isso fornece informações mais detalhadas, a qual permite melhor tomada de decisão, ao contrário de quando se utiliza apenas a média ponderada da proposição inicial Ball et al.(2007).

O VESS avaliado por camada, mostra que na camada 1 não houve diferença significativa, sugere tratar-se da maior presença de raízes. Na camada 2, observou-se que o tratamento Fitomassa apresentou valor semelhante aos demais, e somente a pastagem mostrou-se inferior (Tabela 6). Apesar da diferença estatística na pastagem, todos obtiveram escores menores que 2,05, considerado como de boa qualidade estrutural (BALL et al., 2007; GUIMARÃES et al., 2011). Portanto, os valores obtidos nas duas camadas são aceitáveis agronomicamente.

Destaca-se que esse trabalho corrobora com os resultados obtidos por Abdollahi et al. (2015) e Buss (2015), os quais obtiveram resultados de VESS semelhantes em áreas de cultivo em Sistema Plantio Direto.

#### 5.4 PRODUÇÃO DE BIOMASSA TOTAL E RENDIMENTO DE SOJA

O tratamento com a rotação Fitomassa como previsto, apresentou maior produção de biomassa seca, decorrente das culturas implantadas durante o período de avaliação mostrando-se estatisticamente superior aos demais. O tratamento Sucessão foi semelhante a Pastagem e Produtor os quais produziram biomassa seca significativamente menor (Tabela 7).

Com relação ao rendimento de grãos da cultura da soja, cultura de verão do ano três do experimento, o tratamento Produtor foi inferior, porém diferindo apenas do Diversificado (Tabela 7). Na safra 16/17, a produção média brasileira de soja foi de 3.364 kg ha<sup>-1</sup> enquanto a produção média do Paraná foi 3.731 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2017). Os rendimentos da cultura da soja ficaram acima da média nacional e semelhantes a média Paraná.

Tabela 7- Produção de biomassa total dos tratamentos no período de três anos e produtividade da cultura de grãos da soja na safra 2016/17 em função usos e manejos - Ponta Grossa-PR, 2018

| Tratamento    | MS <sup>1</sup> Total (Mg ha <sup>-1</sup> ) | Produtividade de soja (kg ha <sup>-1</sup> ) |
|---------------|--|--|
| Sucessão      | 48 d*  | 3753 ab                                      |
| Pastagem      | 49 cd  | 3875 ab                                      |
| Produtor      | 51 cd  | 3496 b                                       |
| Diversificado | 54 bc  | 3977 a                                       |
| Grãos         | 58 b   | 3554 ab                                      |
| Fitomassa     | 65 a   | 3899 ab                                      |

<sup>1</sup> Massa Seca. \*Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey à 5% de significância.

Dentre os efeitos do manejo no rendimento da soja apenas o tratamento Diversificado diferiu do Produtor, isso pode ser devido ao uso de culturas que melhoram a fertilidade do solo, com a do consorciação de espécies fabáceas e poáceas ou o uso isolado, sobre a fertilidade: pode-se elencar; maior quantidade de nutrientes; aumento na capacidade de troca de cátions efetiva do solo; desenvolvimento de ácidos orgânicos aumentando sua presença e quantidade, sendo de fundamental importância para a solubilização de minerais que estarão dispostos às plantas; a diminuição dos teores de Al trocável pela sua complexação; o aumento da capacidade de ciclagem e reciclagem de nutrientes, mobilizando-os dentro do perfil do solo, lixiviados ou pouco solúveis que se encontrem nas camadas mais profundas ou subsuperficiais onde as raízes tem maior dificuldade de absorvê-los (KIEHL, 1985; CALEGARI, 1990; CALEGARI et al., 1993; PERIN et al., 2004).

## 6 CONCLUSÕES

Os atributos físicos, densidade, teor de carbono orgânico do solo, porosidade total, microporosidade e macroporosidade não foram influenciados pelas rotações após três anos de implantação.

Em todos os tratamentos os maiores valores de densidade do solo foram encontrados na profundidade de 0 - 0,2m.

A maior porosidade total e microporosidade, foi na camada 0 - 0,05 m e de 0,2 - 0,4m, não houve diferença da macroporosidade em profundidade.

Não houve diferença na estabilidades de agregados.

O carbono orgânico apresentou maiores quantidades até a profundidade de 0 - 0,1 m.

Na análise do VESS com relação ao escore final tratamento Pastagem diferiu apenas do produtor e foi semelhante aos demais tratamentos. Com relação aos escores das camadas do VESS a primeira foram semelhantes, e camada 2 o tratamento pastagem foi semelhante ao fitomassa e diferente dos demais.

O tratamento fitomassa apresentou maior produção de biomassa seca na soma dos três anos de experimento.

O tratamento Produtor apenas diferiu do diversificado com relação a produtividade de soja após três anos de utilização das rotações.

## REFERÊNCIAS

- ABDOLLAHI, L.; HANSEN, E. M.; RICKSON, R. J.; MUNKHOLM, L. J. Overall assessment of soil quality on humid sandy loams: Effects of location, rotation and tillage. **Soil & Tillage Research**, v.145, p.29–36, 2015.
- ALBUQUERQUE, J.A.; SANGOI, L.; ENDER M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25 p.717-723, 2001.
- ANDRADE, R. S.; STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Culturas de cobertura e qualidade físicas de um Latossolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, , v. 13, n. 4, p. 411–418, 2009.
- ANDREOLA, F.; COSTA, L.M.; OLSZEWSKI, N. Influenciada cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e,ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma Terra Roxa Estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24 p.857-865, 2000.
- ASKARI, M. S.; CUI, J.; O’ROURKE, S. M.; HOLDEN, N. M. Evaluation of soil structural quality using VIS–NIR spectra. **Soil & Tillage Research**, v.146, p.108–117, 2015.
- ASSIS, P. C. R, STONE, L. F.; MEDEIROS, J. C.; MADARI, B. E.; OLIVEIRA, J. M.; WRUCK, F.J. Atributos físicos do solo em sistemas de integração lavoura pecuária- floresta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n.4, p. 309-316, 2015.
- ASSIS, R.L.; LANÇAS, K.P. Avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo Vermelho distroférico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, V.29 p.515-522, 2005.
- BAYER, C.; MIELNICZUCK, J.; AMADO, T. J. C.; MARTIN-NETO, L.; FERNANDES, S. V. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 54, p. 101-109, 2000.
- BALBINO, L.C.; BRUAND, A.; COUSIN, I.; BROSSARD, M.; QUÉTIN, P.; GRIMALDI, M. Change in the hydraulic properties of a Brazilian clay Ferralsol on clearing for pasture. **Geoderma**, v.120, p.297-307, 2004.
- BALDESSERA, I. T.; VEIGA, M.; TESTA, V. M.; JUCKSCH, I.; BACIO I. L. Z. Características físicas em solos de Santa Catarina sob diferentes sistemas de manejo. **In: Revista Brasileira de manejo e conservação do solo e da água**, 10, 1994, Resumos. Florianópolis, SBCS, 1994, p. 416- 417.
- BALL, B.; GUIMARÃES, R. M. L; BATEY, T.; MUNKHOLM, L. Avaliação Visual da Estrutura do Solo. University of Arhus, 2007.
- BASTOS, R. S.; MENDONÇA, V. H.; CORRÊA M. M.; COSTA, L. M. Formação e estabilização de agregados do solo influenciados por ciclos de umedecimento e secagem após adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 21-31, 2005.

BAVEL, V.C.H.M.; SCHALLER, F.W. Soil aggregation, organic matter, and yield in a long-time experiment as affected by management. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 14 p.399-404, 1950.

BENGHOUCHE, A.G. ; MULLINS, C.E. Mechanical impedance to root growth: A review of experimental techniques and root growth responses. **Soil Science**, v. 41 p.341-358, 1990.

BILIBIO, W.D. CORREA, G.F. BORGES, E.N. Atributos físicos e químicos de um latossolo sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Ciência e Agrotecnologia**. Editora UFLA, Vol.34,n.4,p.817-822. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=400004&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=400004&script=sci_abstract&tlng=pt) Acessado em: 22/03/2019.

BORGES, W.L.B.; FREITAS, R.S.; SÁ, M.E.; ALVES, M.C. Estabilidade de agregados em Latossolos sob plantas de cobertura em rotação com soja e milho. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.11, n.3, p.156-162, 2016. Disponível em: <[http://agraria.pro.br/ojs2.4.6/index.php?journal=agraria&page=article&op=view&path%5B%5D=agraria\\_v11i3a5378&path%5B%5D=4904](http://agraria.pro.br/ojs2.4.6/index.php?journal=agraria&page=article&op=view&path%5B%5D=agraria_v11i3a5378&path%5B%5D=4904)>. Acesso em: 11 jun. 2018.

BOTTA, G. F. et al. Continuous application of direct sowing: Traffic effect on subsoil compaction and maize (*Zea mays* L.) yields in Argentinean Pampas. **Soil & Tillage Research**, v. 134, p. 111–120, nov. 2013.

BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 704p.

BRAIDA, J.A.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; VEIGA, M. Teor de carbono orgânico e a susceptibilidade à compactação de um Nitossolo e Argissolo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.131-139, 2010.

BUSS, S.R. **Avaliação visual da estrutura do solo: aplicabilidade em um latossolo Bruno sob diferentes usos e manejos**. Dissertação de mestrado Silvana do Rocio Buss. Guarapuava, 2015.

BUSSCHER, W. J. Adjustment of flat-tipped Penetrometer resistance data to a common water content. **Transactions of the ASAE**, v. 3, n. 2. p. 519-524, 1990. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_nlinks&ref=000070&pid=S01006762201400040000700003&lng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000070&pid=S01006762201400040000700003&lng=pt)> Acesso em: 10 fev. 2019.

CAIRES, E. F.; BANZATTO, D. A.; FONSECA, A. D. Calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p.161-169, 2000.

CALEGARI, A. **Plantas para adubação verde de inverno no sudoeste do Paraná**. Iapar, Londrina, 1990. p. 37.

CALEGARI, A. et al. Adubação verde no Brasil. 2. ed. **Rio de Janeiro: Assessoria de Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa- AS-PTA**, Rio de Janeiro, p. 206-319, 1993.

CALEGARI, A. Plantas de Cobertura. **In: Sistema Plantio Direto com Qualidade**. In: CASÃO JUNIOR, R; SIQUEIRA, R; METHA, Y. R.; PASSINI, J. J. Londrina: IAPAR; Foz do Iguaçu: ITAIPU Binacional, 2006. p.212

CALEGARI, A.; HARGROVE, W.L.; RHEINHEIMER, D.S.; RALISCH, R.; DANIEL TESSIER, D.; TOURDONNET, S.; GUIMARÃES, M.F. Impacto flong-term no-tillage and cropping system management on soil organic carbon in an Oxisol: a model for sustainability. **Agronomy Journal**, V.100 p.1013-1019, 2008.

CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E.A.; WILDNER, L.P.; COSTA, M.B.B.; ALCÂNTARA, P. B.; MIYASAKA, S.; AMADO, T. J. C. **Adubação verde no sul do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: Assessoria e Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa (AS-PTA), RJ, 1993. p.343,

CÂMARA, R.K.; KLEIN, V.A. Propriedades físico-hídricas do solo sob plantio direto escarificado e rendimento da soja. **Ciências Rural**, V.35 p.813-819, 2005.

CANTO, B. C. A.; CORDEIRO, F. R.; FONTANA, A. **Densidade do solo e volume total de poros do solo em plantio direto na região Sudoeste Goiano**. (Documento 194). Embrapa solos- ISSN: 1517-2627, 2018.

CARMEIS FILHO, A. C. A; CUNHA, T.P.L; MINGOTTE, F.L.C; AMARAL, C.B; LEMOS, L.B; FORNASIERI FILHO, D. Adubação nitrogenada no feijoeiro após palhada de milho e braquiária no plantio direto. **Revista Caatinga**, V.27 n.2 p.66-75, 2014.

CARVALHO, A. M. de; MARCHÃO, R. L.; SOUZA, K. W.; BUSTAMANTE, M. M. da C. Soil fertility status, carbono and nitrogen stocks under cover crops and tillage regimes. **Revista Ciência Agronômica**, V.45 n.5 p.914-921, 2014. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rca/v45n5spe/07.pdf>> Acesso em 10 mai. 2018.

CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; MELLO, C. R.; CERRI, C. E. P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, V.34 n.2 p.277-289, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v34n2/v34n2a01.pdf>> Acesso em: 13 jan. 2018.

CASTRO FILHO, C. **Effects of liming on characteristics of a Brazilian Oxisol at three levels of organic matter as related to erosion**. 1988. 261p. (Tese PhD in Soil Science) - Ohio State University, Columbus, Ohio, USA.

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

CASTRO, G.S.A. ; CRUSCIOL, C.A.C. Effects of superficial liming and silicate application on soil fertility and crop yield under rotation. **Geoderma**, V.195–196, p.234–242, 2013.

CHERUBIN, M. R.; FRANCO, A.L.C; GUIMARÃES, R.M.L.; TORMENA. C.A.; CERRI, C.E.P.; KARLEN, D.L.; CERRI, C.C. Assessing soil structural quality under Brazilian sugarcane expansion areas using Visual Evaluation of Soil Structure (VESS). **Soil & Tilage Research**, V.173p.64-74, 2017

COLLARES, G.L.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; KAISER, D.R. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, V.41 p.1663-1674, 2006.

COLOZZI-FILHO, A.; BALOTA, E.L.; ANDRADE, D.S. **Microorganismos e processos biológicos no sistema plantio direto**. In: SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A.E.; CARVALHO, J.C. (EDS.). Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas. Lavras, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras, 1999, p.487-508.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento Soja Safra 2016/2017. 9 ° levantamento - Safra 2016/17. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos?start=20>, acesso em 20 de março 2018.

COSTA, A.; ALBUQUERQUE, J.A.; MAFRA, A.L.; SILVA, F.R. Propriedades físicas do solo em sistemas de manejo na integração agricultura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.2, p.235-244, 2009.

COSTA, N.R; ANDREOTTI, M; LOPES, K.S.M; YOKO BATAK, K.L; FERREIRA, J.P; PARIZ, C.M; BONINI, C.S.B; LONGUINI, V.Z. Atributos do solo e acúmulo de carbono na integração lavoura-pecuária em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 3, p.852-863, 2015. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010006832015000300852&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010006832015000300852&script=sci_abstract&tlng=pt)>. Acesso em: 10 out. 2018.

CUNHA, E.Q. STONE, L.F. MOREIRA, J.A.A. FERREIRA, E.P.B.F. DIDONET, A.D. Atributos físicos do solo sob diferentes preparos e coberturas influenciados pela distribuição de poros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. V.14 n°11, 2010. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-4366201001100005](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-4366201001100005). Acessado em 15/03/2019.

DE MARIA, I.C. ; CASTRO, O.M. Fósforo, potássio e matéria orgânica em um Latossolo Roxo, sob sistemas de manejo com milho e soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, V.17p.471-477, 1993.

DENARDIN, J.E.; KOCHHANN, R.A. & DENARDIN, N.D. Calagem compacta solos? Fatos e Hipóteses. In: Simpósio rotação soja milho no plantio direto, 2. Piracicaba, 2001, Anais Piracicaba. FEALQ.

DORAN, J.W. ; PARKIN, T.B. 1994. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W., COLEMAN, D.C., BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (Eds.). Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, **Soil Science Society of America**. V.1 p.3-21, 1994.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análises de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, DF: Embrapa Solos, 230 p. 2011.

EMBRAPA. - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação do solo** 5ªEd. Brasília DF. Cap10 p 136-149, 2018.

EMBRAPA. **Cultivo de Algodão Irrigado**. 2003. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Algodao/AlgodaoIrrigado/solos.htm&gt>. Acesso em: 22 de fev, 2019.

FERNANDES, F. C. S.; ALVES, M. C.; SILVA, M. M. da. Produtividade de culturas e atributos físicos de um Latossolo afetados pelo sistema de manejo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, V.6, n.3, p.297-308, 2007.

FERREIRA, D.F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, V.6, p.36-41, 2008. Disponível em: < <http://www.dex.ufla.br/~danielff/programas/sisvar.html>> Acesso em: 20 abr. 2018.

GIAROLA, N. F. B.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. da; 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, 2009.

GIAROLA, N. F. B.; SILVA, A. P. da; TORMENA, C. A.; GUIMARÃES, R. M. L.; BALL, B. C. On the Visual Evaluation of Soil Structure: The Brazilian experience in Oxisols under no tillage. **Soil & Tillage Research**, V.127, p.60–64, 2013.

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 Agrícola**, V.67, p.479- 482, 2010.

GOMES, M.A.F.; FILIZOLA, H.F. Indicadores Físicos e Químicos de Qualidade de Solo de interesse Agrícola. EMBRAPA - Meio Ambiente. Jaguariúna, 2006.

GRANDY, A.S.; PORTER, G.A.; ERICH, M.S. Organic amendment and rotation crop effects on the recovery of soil organic matter and aggregation in potato cropping systems. **Soil Scienc. Soc. Am.** V. 66 p.1311-1319, 2002.

GREGORICH, E.G. In: LAL, R. (ed.). **Encyclopedia of Soil Science**. New York: Marcel Dekker, p.1058-1061, 2002.

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

GUIMARÃES, R. M. L.; BALL, B. C.; TORMENA, C. A.; GIAROLA, N. F. B.; SILVA, A. P. da. Relating visual evaluation of soil structure to other physical properties in soils of contrasting texture and management. **Soil & Tillage Research**, V.127, p.92–99, 2013.

HENRICH, R.; AITA, C.; AMADO, T.J.C. & FANCELLI, A.L. Cultivo consorciado de aveia e ervilhaca: relação C/N da fitomassa e produtividade do milho em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, V.25 p.331-340, 2001.

IMHOFF, S.; SILVA, A.P.; TORMENA, C.A. Applications of the resistance curve in the control of the physical quality of soils under grass. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.1493-1500, 2000.

MARCHÃO, R. L.; BALBINO, L. C.; SILVA, E. M. da; SANTOS JUNIOR, J. de D. G. dos; SÁ, M. A. C. de; VILELA, L.; BECQUER, T. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, V. 42, n. 6, p. 873-882, 2007.

KARLEN, D. L.; ANDREWS, S. S.; DORAN, J. W. Soil quality: current concept and applications. **Advances in Agronomy**, V.74, p.1-40, 2001.

KARLEN, D.L. & STOTT, D.E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BZEDICEK, D.F.; STEWART, B.A., eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, **Soil Science Society of America**, v.35 p.53-72, 1994.

KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy. pt 1: Physical and mineralogical methods, p. 425-443, 1986.

KIEHL, E. J. Manual de edafologia: relações solo-planta. **Agronômica Ceres**, p.262, 1979.

KIEHL, E. J. Fertilizantes orgânicos. **Agronômica Ceres**, p.492, 1985.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Condutividade hidráulica de um Latossolo Roxo, não saturado, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Ciência Rural**, v.32, n.6, p.945-953, 2002.

KLEIN, V.A. **Física do solo**. Passo Fundo, Universidade de Passo Fundo, p.240, 2008.

KLIEMANN, H. J.; BRAZ, A. J.P.B.; SILVEIRA, P.M. da. Taxas de decomposição de resíduos de espécies de cobertura em Latossolo Vermelho Distróférrico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.36, n1, p.21-28,2006.

LARSON, W.E.; PEIRCE, F.J. Conservation and enhancement for soil quality. In: **Avaliation for Sustainable land Management in Developing Word**. v., 2: Technical Papers. Bangkok, Thailand: International Board for Soil Research and Management, 1991.

LEÃO, T.P.; SILVA, A.P.; MACEDO, M.C.M.; IMHOFF, S.; EUCLIDES, V.P.B. Least limiting water range: a potential indicator of changes in near-surface soil physical quality after the conversion of Brazilian Savanna into pasture. **Soil & Tillage Research**, v.88, p.279-285, 2006.

LUXMOORE, R. J. Micro, meso and macroporosity of soil. **Soil Science Society American Journal**. v. 45, p. 671-672, 1981.

MADARI, B.; MACHADO, P.L.O.A.; TORRES, E.; ANDRADE, A.G. ; VALENCIA, L.I.O. No tillage and crop rotation effects on soil aggregation and organic carbon in a Rhodic Ferralsol from southern Brazil. **Soil & Tillage Research**.v. 80 p. 185-200, 2005.

MARCHÃO, R. L; BALBINO, L. C; SILVA, E. M. da; SANTOS JUNIOR, J. de D. G. dos; SÁ, M. A. C. de; VILELA, L.; BECQUER, T. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 6, p. 873-882, 2007.

MIAO, Y.; MULLA, D. J.; ROBERT, P. C. Spatial Variability of Soil Properties, Corn Quality and Yield in Two Illinois, USA Fields: Implications for Precision Corn Management. **Precision Agriculture**, v. 7, n. 1, p. 5–20, mar. 2006.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; BLOCH, M. F. M. Análise química de tecido vegetal. Londrina: IAPAR, 1992. (**Circular, 74**).

MUELLER, L.; SCHINDLER, U.; MIRSCHEL, W.; SHEPHERD, T. G.; BALL, B. C.; HELMING, K.; ROGASIK, J.; EULENSTEIN, F.; WIGGERING, H. Assessing the

productivity function soils. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 30, p. 601-614, 2010.

MUELLER, L.; SHEPHERD, G.; SCHINDLER, U.; BALL, B. C.; MUNKHOLM, L. J.; HENNINGS, V.; SMOLENTSEVA, E.; RUKHOVIC, O.; LUKIN, S.; HUI, C. Evaluation of soil structure in the framework of an overall soil quality rating. **Soil & Tillage Research**, v.127, p. 74–84, 2013.

MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.7, p. 95-102, 1983.

NEVES, C. M. N. das; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; CARDOSO, E. L.; MACEDO, R. L. G.; FERREIRA, M. M.; SOUZA, F. S. de. Atributos indicadores da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril no noroeste do estado de Minas Gerais. **Scientia Forestalis**, v.74, p.45-53, 2007.

OLIVEIRA, T.K. de; CARVALHO, G.J. de; MORAES, R.N. de S. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.1079-1087, 2002

OLIVEIRA, G.C.; DIAS JUNIOR, M.S.; RESCK, D.V.S.; CURI, N. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.327-336, 2004.

OTHMER, H.; DIEKKRUGER, B.; KUTILEK, M. Bimodal porosity and unsaturated hydraulic conductivity. **Soil Science**, Baltimore, v. 152, n. 3, p. 139-150, 1991.

PAVAN, M.A.; BLOCH, M.F.; ZEMPULSKI, H.C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D.C. Manual de análise química do solo e controle de qualidade. Londrina: **Instituto Agronômico da Paraná**, 1992. 38p. (**Circular, 76**).

PERIN, A. et al. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, V. 39, p. 35-40, 2004.

PEDROTTI, A.; PAULETTO, E.A.; CRESTANA, S.; FERREIRA, M.M.; DIAS JUNIOR, M.S.; GOMES, A.S. ; TURATTI, A.L. Resistência mecânica à penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, V.25 p.521-529, 2001.

POWER, J.F.; MAYERS, R.J.K. The main tenanceor improviment of farming systems in north América and Austrália. In: International Conference Sponsored, Saskatoon, Canadá. **Proceeding**. Soil quality in semi árid agriculture. Saskatoon: Canadian int. Development Agency/Univ. of Sasktchewan – Saskatchewan inst. Of Pedology, 1989. P.273-292.

RALISSCH, R.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; TOMAZI, M.; HERNANI, L. C.; MELO, A. S.; MARTINS, A. L. S.; BONA, F. D. **Diagnostico rápido da estrutura do solo- DRESS**. Londrina: Embrapa soja, 2017. 64 p. (Documento/Embrapa soja, INSS 1516-781X; 390).

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. ; BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciências Ambiental**, 27:29-48, 2003.

REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADA, M. M. C. Limites Críticos de Densidade do Solo para o Crescimento de Raízes de Plantas de Cobertura em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1805-1816, 2008.

REYNOLDS, W.D.; BOWMAN, B.T.; DRURY, C.F.; TAN, C.S.; LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, v.110, p.131-146, 2002.

RIBEIRO, K. D.; MENEZES, S. M.; MESQUITA, M.F.G. B. F.; SAMPAIO, F. M. T. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras-MG. **Revista Ciências Agrotecnológica**, v. 31, n. 4, p. 1167-1175, 2007.

RICHARDS, L. A. **Physical conditions of water in soil**. In: BLACK, C. A. (Ed.). Methods of soil analysis. Madison: American Society for Testing and Materials, 1965. p. 128-152.

SÁ, J. M.; SANTOS, J. B.; CARDOSO, E. G.; JUNIOR, D. S.; FERREIRA, C. F.; OLIVEIRA, A.; SÁ, M. F. M.; SEGUY, L.; BOUZINAC, S. **Uso alternativos da palhada residual da produção de sementes de pastagens**. In: Perspectivas do uso da palhada no sistema plantio direto. Embrapa, 2006. Cap. 10. p. 193-221.

SÁ, J.C.M ; R. LAL. Stratification ratio of soil organic matter pools as an indicator of carbon sequestration in a tillage chrono sequence on a Brazilian Oxisol. **Soil & Tillage Research**. v., 103:46-56, 2009.

SÁ, J.C.M. **Nitrogênio**: Influência da rotação de culturas e resposta da cultura de milho em solos sob plantio direto. In: Curso sobre manejo do solo no sistema plantio direto. ed. SÁ, J.M.C., Fundação ABC, 04 à 08 de Dezembro de 1995, Anais p.213-228. 1996. 334p.

SÁ, J.C.M.; CERRI, C.C.; LAL, R.; DICK, W.A.; VENZKE FILHO, S.P.; PICCOLO, M. ; FEIGL, B. Organic matter dynamics and sequestration rates for a tillage chrono sequence in a Brazilian Oxisol. **Soil Sciencia.**, 65:1486-1499, 2001.

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.C.; FABRÍCIO, A.C.; MACEDO, M.C.M; BROCH, D.L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.1, p.11-21, 2008.

SANTOS, H.P.; TOMM, G.O. Rotação de culturas para trigo, após quatro anos: efeitos na fertilidade do solo em plantio direto. **Revista Ciência Rural**, V.29 p.259-265, 1999.

SANTOS, H.P.; TULIOSPERA, S.; TOMM, G.O.; KOCHANN, R.A.; ÁVILA, A. Efeito de sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas na fertilidade do solo após 20 anos. **Bragantia**, V.67, n.2, p.441-454, 2008.

SANTOS, G.G.; SILVEIRA, P.M.; MARCHÃO, R.L.; PETTER, F.A.; BECQUER, T. Atributos químicos e estabilidade de agregados sob diferentes culturas de cobertura em Latossolo do cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.11, p.1171-1178, 2012.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C. de.; SANTOS, H. G. dos.; KER, J. C.; ANJOS, L. H.; SHIMIZU, S. H. dos. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 6. ed. Viçosa:

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/ Editora da UFV. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 100 p.

SHIN, Y.; MOHANTY, B. P.; INES, A. V. M. Estimating Effective Soil Hydraulic Properties Using Spatially Distributed Soil Moisture and Evapotranspiration. **Vadose Zone Journal**, v. 12, n. 3, p.552-569, 2013.

SIDIRAS, N; PAVAN, M. A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.9, p. 249- 254,1985.

SILVA, P., IMHOFF, S., KAY, B. Plant response to mechanical resistance and air-filled porosity of soils under conventional and no-tillage system. **Scientia Agricola**, V.61, n.4, p.451-456, 2004.

SILVA, R.R.; SILVA, M.L.N.; FERREIRA, M.M. Atributos físicos indicadores da qualidade do solo sob sistemas de manejo na bacia do Alto do Rio Grande-MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v.29, n.4, p.719-730, jul./ago. 2005.

SILVA, R. F.; ALBUQUERQUE, J. A.; COSTA, A. Crescimento Inicial da Cultura da Soja em Latossolo Bruno com Diferentes Graus de Compactação. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, V.38, p.1731- 1739, 2014.

SILVA, F.R.; ALBUQUERQUE, J. A.; BORTOLINI, D.; DA COSTA, A.; FONTOURA S.M. Semeadura direta com diferentes mecanismos sulcadores: Aterações em propriedades em Latossolo Bruno e produtividades das culturas. **Revista Agroveterinária**, V.3, p.17, 2018.

SINGER, M.; Ewing, S. Soil quality. In: Sumner, M. E. (ed.). **Handbook of soil science**. Boca Raton: CRC Press, 2000. p. 271-298.

SIX, J., CONANT, R.T., PAUL, E.A., PAUSTIAN, K. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. **Plant Soil**, V.241, p.55-176, 2002.

SOUSA NETO, E.L.; ANDRIOLI, I.; BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F. Atributos físicos do solo e produtividade de milho em resposta a culturas de pré-safra. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, V.43, n.2, p.255-260, 2008. Disponível em:<<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2008000200015>> Acesso em: 13 mar. 2018.

STEVENSON, F.J. **Humus chemistry; Genesis, composition, reactions**. 2ed. John Wiley & Sons, p.243, 1994.

STIRZAKER, R.J.; PASSIOURA. The water relations of the root-soil interface. **Plant Cell environment**.V.19, p. 201-208 1996.

STRECK, E.V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.S.C SCHNEIDER,P. **Solos do Rio Grande do Sul**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p.130, 2002.

SUZUKI, L.E.A.S.; REICHERT, J.M.; REINERT, D. J.; LIMA, C.L.R de. Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 1159-1167, 2007.

TARDIEU, F. Growth and functioning of roots and to root systems subjected to soil compaction. Towards a system with multiple signaling. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.30, p.217-243, 1994.

TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T. R.; TOLEDO, M.; Motta de. C.; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra** – 2ed. Companhia Editora Nacional. 2009.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, V.33, n.1, p.141-163,1982.

TOPP, G.C.; GALGANOV, Y.T.; WIRES, K.C.; CULLEY, J.L.B. Non-limiting water range (NLWR): An approach for assessing soil structure. Ottawa, **Soil Quality Evaluation Program**, Agriculture and Agr-Food Canada, p.36, 1994.

TORMENA C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A.C.S.; GONÇALVES, C.A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Revista Scientia Agrícola**. V.59, n.4, p.795-801 2002.

TORMENA, C. A. Atributos Físicos e qualidade física do solo que afetam a produtividade da cultura do milho safrinha – X Seminário Nacional do Milho Safrinha – Rio Verde- GO, 2009. Acesso em: 22 de fev,2019.

TORMENA, C.A.; FIDALSKI, J.; ROSSI JÚNIOR, W. Resistência tênsil e friabilidade de um Latossolo sob diferentes sistemas de uso. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 32, 33-42, 2008.

TORMENA, C.A.; SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. Caracterização do intervalo hídrico de um Latossolo roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, V. 22: 573-581, 1998.

TRANNIN, I.C. de B.; SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M. de S. Atributos químicos e físicos de um solo tratado com biossólido industrial e cultivado com milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, p.223-230, 2008.

UNGER, W.P. ; KASPAR, T.C. Compaction and root growth: areview. **Agronomy Journal**, V.86 p.759-766, 1994.

VEZZANI, F, M.; MIELNICZUK, J. Uma revisão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, V.33, p.743-755, 2009.

WENDLING, B.; KUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. De S.; NEVES, J. C. L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.5, p.487- 494, 2005. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/pab/v40n5/24431.pdf>> Acesso em: 18 mar. 2018.

YAO, R.; YANG, J.; GAO, P.; ZHANG, J.; JIN, W. Determining minimum data set for soil quality assessment of typical salt-affected farmland in the coastal reclamation area. **Soil & Tillage Research**, V. 128, p. 137-148, 2013.

ZUFFO, A. M.; GONZÁLEZ, J.A. **Solos nos Biomas Brasileiros 2** V. 2 ,C.12 p.115-124.

## ANEXO A: Chave utilizada para a análise visual da estrutura do solo

### Avaliação Visual da Estrutura do Solo

A estrutura do solo afeta a penetração das raízes, água disponível às plantas e aeração do solo. Este teste simples e rápido de avaliar a estrutura do solo baseia-se na aparência e tato de um bloco de solo retirado com uma pá. A escala do teste varia de Qe1, estrutura boa, a Qe5, estrutura pobre.



**Equipamentos:**  
Pá reta de aprox. 20 cm de larg., 22-25 cm de comp. Opcional: folha plástica de cor clara, saco ou bandeja 50 x 80 cm, faca pequena, câmera digital.

**Quando amostrar:**  
Qualquer época do ano, mas preferencialmente quando o solo estiver úmido. Se o solo estiver muito seco ou muito úmido será difícil de ser obtida uma amostra representativa. Raízes são melhores vistas em uma área com cultura estabelecida ou logo após a colheita.

**Onde amostrar:**  
Selecione uma área de cultura ou padrão de solo uniforme ou uma área onde há suspeita de restrições físicas. Dentro desta área, planeje uma malha de amostragem para avaliar o solo em 10 pontos, no mínimo. Em áreas experimentais pequenas pode ser necessário a redução deste número para 3 a 5.

**Método de avaliação:**

| Passo  | Opção  | Procedimento   |
|--|--|--|
| <b>Extração da fatia de solo</b>   |  |  |
| 1. Extraia uma fatia de solo   | Solo solto                                   | Remova a fatia de solo de ~15 cm de espessura diretamente da profundidade total da pá e coloque a pá com o solo em uma folha, bandeja ou no chão.  |
|  | Solo firme                                   | Cave um buraco de acesso um pouco mais largo e profundo que a pá deixando um lado do buraco intacto. No lado intacto, corte cada lado do bloco com a pá e remova o bloco como mostrado abaixo.   |
| 2. Examine a fatia de solo amostrado                                       | Estrutura uniforme                           | Remova qualquer solo compactado ou resíduo ao redor do bloco.  |
|  | Duas ou mais camadas com estrutura diferente | Estime a profundidade de cada camada e prepare para atribuir uma nota de qualidade estrutural (Qe) para cada uma separadamente.  |
| <b>Fragmentação da fatia de solo</b>                                       |  |  |
| 3. Fragmenta a fatia (tire uma foto – opcional)                            |  | Meça o comprimento da fatia e procure camadas. Delicadamente manipule a fatia utilizando as duas mãos para revelar qualquer camada coesiva ou torrões de agregados. Se possível separe o solo em seus agregados naturais e torrões manipulados. Torrões são agregados grandes, duros, coesos e arredondados. |
| 4. Reduza agregados maiores para confirmar a nota                          |  | Quebre os agregados e fragmentos até obter um agregado de 1,5 – 2,0 cm. Obte sua forma, porosidade, raízes e facilidade de quebra. Torrões podem ser quebrados em agregados não porosos, angulosos e são indicativos de estrutura pobre e nota alta.   |
| <b>Atribuição da nota</b>  |  |  |
| 5. Atribua a nota  |  | Compare o solo com as fotos, categoria por categoria, e determine o que mais se assemelhe.   |
| 6. Confirme a nota com:  |  | Fatores que aumentam a nota:   |
|  | Extração da fatia                            | Dificuldade em extrair a fatia de solo.  |
|  | Forma e tamanho dos agregados                | Maiores, mais angulosos, menos poros, presença de orifícios (buracos) devido a presença de raízes ou minhocas.   |
|  | Raízes                                       | Agrupamento, engrossamento e achatamento.  |
|  | Anaerobismo                                  | Regiões ou camadas de solo cinza, que cheira enxofre e apresentam tons de ferro.   |
|  | Fragmentação de agregados                    | Reduza agregados para ~ 1,5 – 2,0 cm de diâmetro para revelar seu tipo.  |
| 7. Calcule a nota da fatia com duas ou mais camadas de estrutura diferente |  | Multiplique a nota de cada camada pela sua espessura e divida o produto pela profundidade total, e.g. para uma fatia de 25 cm com 10 cm de profundidade de solo solto (Qe1) sobre uma camada mais compacta (Qe3) de 10-25 cm de profundidade, a nota será [(1 x 10)/25] + [(3 x 15)/25] = Qe 2,2             |

**Notas:** A nota pode ser atribuída entre categorias se a camada apresentar características das duas. Notas entre 1-3 são geralmente aceitáveis enquanto notas de 4 a 5 requerem mudanças no manejo do solo.

Bruce Ball, SAC ([bruce.ball@sac.ac.uk](mailto:bruce.ball@sac.ac.uk)), Rachel M. L. Guimarães, University of Maringá, Brazil ([rachellocks@gmail.com](mailto:rachellocks@gmail.com)), Tom Batey, Independent Consultant ([2022@tombatey.co.uk](mailto:2022@tombatey.co.uk)) and Lars Munkholm, University of Aarhus, Denmark ([Lars.Munkholm@agrsci.dk](mailto:Lars.Munkholm@agrsci.dk)) – Tradução: Rachel M. L. Guimarães e Cássio A. Tormena, Universidade Estadual de Maringá, Brasil

| Qualidade Estrutural   | Tamanho e aparência dos agregados   | Porosidade visível e raízes  | Aparência depois do manuseio: vários solos  | Aparência depois do manuseio: mesmo solo diferentes maneios                         | Característica distintiva  | Aparência e descrição de agregados naturais ou fragmento reduzido de ~ 1,5 cm de diâmetro  | 0<br>2<br>3<br>4<br>5<br>10<br>15<br>20<br>25<br>cm |
|--|---|--|---|---|--|--|---|
| <b>Qe1 Friável</b><br>Agregados quebram facilmente com os dedos                  | Maioria < 6 mm após a quebra  | Alta porosidade<br>Raízes por todo solo  |  |  | <br>Agregados pequenos             | <br>A ação de quebrar o bloco é suficiente para revelá-los. Agregados grandes são compostos por agregados menores, presos pelas raízes.                                     |   |
| <b>Qe2 Intacto</b><br>Agregados quebram facilmente com uma mão                   | Uma mistura de agregados porosos e redondos entre 2 mm – 7 cm<br>Sem presença de torrões  | Maioria dos agregados são porosos<br>Raízes por todo solo  |  |  | <br>Agregados altamente porosos    | <br>Agregados quando obtidos são redondos, muito frágeis, despedaçam muito facilmente e são altamente porosos.  |   |
| <b>Qe3 Firme</b><br>Maioria dos agregados quebram com uma mão                    | Uma mistura de agregados porosos entre 2mm -10 cm; menos de 30% são <1 cm. Alguns torrões angulares não porosos podem estar presentes | Macroporos e fissuras presentes<br>Porosidade e raízes: ambas dentro dos agregados   |  |  | <br>Agregados com baixa porosidade | <br>Fragmentos de agregados são razoavelmente fáceis de serem obtidos. Apresentam poucos poros e são arredondados. Raízes geralmente crescem através dos agregados.         |   |
| <b>Qe4 Compacto</b><br>Quebrar agregados com uma mão requer esforço considerável | Maioria > 10 cm e são sub-angulares não porosos; possibilidade de horizontalização; menos que 30% são <7 cm                           | Poucos macroporos e fissuras<br>Raízes agrupadas em macroporos e ao redor dos agregados  |  |  | <br>Macroporos bem distintos       | <br>Fragmentos de agregados são fáceis de serem obtidos quando o solo está úmido, em forma de cubo muito angulosos e pontudos e apresentam fissuras internamente.           |   |
| <b>Qe5 Muito compacto</b><br>Difícil quebra                                      | Maioria são maiores que > 10 cm, muito poucos < 7 cm, angular e não poroso  | Porosidade muito baixa.<br>Macroporos podem estar presentes. Pode conter zonas anaeróbicas<br>Poucas raízes e restritas a fissuras |  |  | <br>Cor azul-acinzentada           | <br>Fragmentos de agregados são fáceis de serem obtidos quando o solo está úmido, no entanto, considerável força é necessária. Geralmente não apresentam poros ou fissuras. |   |