



Ângela Maria Ferreira Fernandes

**QUALIDADE DO SISTEMA PLANTIO DIRETO E SUA RELAÇÃO  
COM A EROSÃO DO SOLO E O MEIO AMBIENTE**

Dissertação de Mestrado

Cruz Alta -RS, 2018

Ângela Maria Ferreira Fernandes

**QUALIDADE DO SISTEMA PLANTIO DIRETO E SUA RELAÇÃO  
COM A EROSÃO DO SOLO E O MEIO AMBIENTE.**

Dissertação apresentada ao Mestrado em Desenvolvimento Rural, Área de Concentração em Desenvolvimento Rural Sustentável, na linha de pesquisa Produção Vegetal, da Universidade de Cruz Alta – Unicruz, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Rural, UNICRUZ-2018.

Orientador: Prof<sup>o</sup>. Dr. Jackson E. Fiorin

Cruz Alta, fevereiro de 2018

Universidade de Cruz Alta – UNICRUZ  
Pró-Reitoria de Pós-Graduação, Pesquisa e Extensão  
Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* - Mestrado Profissional em Desenvolvimento Rural

**QUALIDADE DO SISTEMA PLANTIO DIRETO E SUA RELAÇÃO  
COM A EROSÃO DO SOLO E O MEIO AMBIENTE.**

Elaborado por:

Ângela Maria Ferreira Fernandes

Dissertação apresentada como requisito parcial a  
obtenção do título de Mestre, pelo Programa de Pós-  
Graduação em Mestrado Profissional em  
Desenvolvimento Rural, UNICRUZ-2018.

Banca Examinadora

Profº. Dr. Jackson Ernani Fiorin \_\_\_\_\_ UNICRUZ

Profº. Dr. Vitor Cauduro Girardello \_\_\_\_\_ URI

Profº. Dr. Rafael Pivotto Bortolotto \_\_\_\_\_ UNICRUZ

Cruz Alta, fevereiro de 2018.

Dedico

Incondicionalmente e especialmente ao meu esposo Luis Zancan Pasuch pelo eterno amor que me dedicastes, por ser meu amigo, meu companheiro, por sempre me apoiar, pelo incentivo em tudo e por ser sempre meu amor. Te amarei de janeiro a janeiro. Saudades.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado sabedoria, inteligência, saúde, paciência e perseverança para não desistir.

Ao meu amado e eterno esposo pelo incentivo, apoio e por ser meu guardião sempre.

À minha mãe pelos ensinamentos, incentivo e pelo chimarrão nas manhãs de estudo.

À Cooperativa Central Gaucha Ltda., pela confiança e oportunidade na realização deste trabalho.

Ao Senhor Darci Pedro Hartmann pela confiança e apoio.

Ao Mestre José Ruedell por toda sabedoria, incentivo e ensinamentos sobre Plantio Direto e ainda pelas palavras de apoio quando tudo parecia perdido.

À Embrapa Trigo na pessoa de José Eloir Denardin e Jorge Lemainski por gentilmente disponibilizar o Simulador de chuvas para execução da prática desse trabalho e pela paciência nos momentos de aprendizado.

Aos professores do Mestrado Profissional em Desenvolvimento Rural, em especial ao professor Dr. Jackson E. Fiorin, pela orientação, amizade, confiança, dedicação, paciência, compreensão e ensinamentos transmitidos. À professora Claudia Maria Prudêncio de Mera pelo apoio no momento mais difícil dessa jornada.

Aos meus colegas de curso pelo companheirismo e amizade durante essa caminhada.

Aos colegas e amigos de trabalho Caroline Wesp Guterres, Janine Palma, Letícia Signor, Mariana Castilhos e Mario Bianchi pela amizade e apoio. Aos “meninos”, Leandro Müller e Denilson Correa Borges que auxiliaram com determinação e entusiasmo na condução das atividades de campo. Meu muito obrigada à equipe de campo que sem eles, esses resultados não seriam possíveis.

Ao meu colega e amigo Tiago Wyzykowski pelo valioso trabalho realizado no campo, pelo empenho, lealdade, por me ouvir, me apoiar, auxiliar e muitas vezes me ensinar. À colaboração na obtenção de dados e por nos abrir as portas de suas propriedades para levarmos nossos equipamentos, aos produtores rurais que contribuíram de forma ímpar, meu muito obrigada.

Aos amigos Adilson Lunkes, Daniel Rubin, Juliana Bruinsma, Gilberto Tollentino e Teresinha Roversi, pelo carinho, apoio e amizade de sempre.

À minha panda Jooh Magalhães por ser presente quando eu não me sentia presente.

Ao professor Douglas Rodrigo Kaiser do Laboratório de Pedologia e Física dos Solos da UFFS – *Campus* Cerro Largo e Augusto Gulartt Melo pela parceria e disponibilidade na realização das análises e preocupação na operacionalização dos experimentos.

Aos não citados, mas que contribuíram com a realização desse trabalho, meu muito obrigado.

“Somos seres em construção e às vezes ainda é necessário reformar  
o que já foi construído, assim é o solo”.  
.... (Liah)

## RESUMO

### QUALIDADE DO SISTEMA PLANTIO DIRETO E SUA RELAÇÃO COM A EROSÃO DO SOLO E O MEIO AMBIENTE.

Autora: Ângela Maria Ferreira Fernandes  
Orientador: Prof<sup>o</sup>. Dr. Jackson Ernani Fiorin  
Data e Local da Defesa: Cruz Alta, fevereiro de 2018.

O Sistema Plantio Direto – SPD está entre as inúmeras práticas conservacionistas de manejo do solo possível de ser utilizado para minimizar os problemas advindos da erosão hídrica. Entretanto nos últimos anos tem-se discutido com frequência falhas na implementação do SPD constatando-se, como consequência, o comprometimento do desempenho do sistema, pelo não cumprimento de suas premissas básicas, que resulta em degradação da qualidade física do solo e compactação, concentração superficial de nutrientes com raízes restritas aos primeiros centímetros do perfil do solo e ainda elevada susceptibilidade aos déficits hídricos, com presença de erosão e contaminação dos recursos hídricos por sedimentos e agroquímicos. Diante disso, o objetivo desse estudo foi avaliar a qualidade do SPD e o impacto da qualidade física do solo sobre a capacidade de infiltração de água em áreas de lavouras manejadas sob SPD de boa qualidade. O estudo foi desenvolvido em 16 áreas de lavouras conduzidas sob SPD na região dos COREDE's Alto Jacuí e Noroeste Colonial. Foram avaliados os atributos físicos: densidade, porosidade, macroporosidade, microporosidade, análise visual da estrutura e grau de compactação, nas profundidades 0 a 10 cm, 10 a 20 cm e 20 a 30 cm. A infiltração básica de água foi avaliada através de simulador de chuva com lâmina de 118 mm h<sup>-1</sup>. Houve diferença na qualidade física do solo com índices mais restritivos ao crescimento do sistema radicular e indicativo de compactação em 4 a 7 das 16 áreas de lavoura. Houve diferença na infiltração básica de água, sendo 4 áreas qualificadas como muito alta (IB > 100 mm h<sup>-1</sup>), 4 áreas como alta (IB entre 70 a 100 mm h<sup>-1</sup>) e 7 áreas como média (IB entre 50 a 70 mm h<sup>-1</sup>). Nas áreas que apresentaram qualidade física e infiltração de água superior, associa-se ao excelente manejo com rotação, com cultivo de milho no verão e nabo, capim sudão entre outras espécies, isoladas ou em consórcio, no inverno e na entressafra pós soja ou milho, que de forma planejada garante alta e permanente cobertura vegetal do solo. Considerando a ocorrência de um evento com precipitação de intensidade de 55 mm h<sup>-1</sup>, observado no período de 2007 e 2017, quando relacionado com a taxa de infiltração básica medida com chuva simulada, conclui-se que ter-se-á problema de erosão em 4 das 16 áreas de lavouras avaliadas. O impacto da retirada da palha da superfície do solo resultou na redução da infiltração de



água em 13%. O impacto da semeadura da soja em nível, realizado em linhas dispostas transversalmente ao sentido do declive, comparado ao sentido “*morro abaixo*” resultou na redução da infiltração de água no solo de 33%.

**Palavras Chave:** Física do solo, infiltração básica de água, simulador de chuva, Plantio direto.

## ABSTRACT

### QUALITY OF THE DIRECT PLANTIO SYSTEM AND ITS RELATION TO THE EROSION OF THE SOIL AND THE ENVIRONMENT.

Author: Ângela Maria Ferreira Fernandes

Advisor: Prof<sup>o</sup>. Dr. Jackson Ernani Fiorin

Date and Place of Defense: Cruz Alta, February 2018.

The SPD is among the many conservationist practices of soil management that can be used to minimize problems arising from water erosion. However, in the last few years there have been frequent failures in the implementation of the SPD, with the result that the performance of the system is compromised by failure to comply with its basic assumptions, resulting in degradation of soil physical quality and compaction, concentration surface of nutrients with roots restricted to the first centimeters of the soil profile and also high susceptibility to water deficits, with erosion and contamination of water resources by sediments and agrochemicals. Therefore, the objective of this study was to evaluate the quality of SPD and the impact of soil physical quality on the water infiltration capacity in areas of crops managed under good SPD. The study was developed in 16 crop areas under SPD in the region of COREDE's Alto Jacui and Colonial Northwest. The physical attributes were: density, porosity, macroporosity, microporosity, visual analysis of the structure and degree of compaction, depths 0 to 10 cm, 10 to 20 cm and 20 to 30 cm. The basic infiltration of water was evaluated through a rain simulator with a 118 mm h<sup>-1</sup> blade. There was a difference in soil physical quality with rates more restrictive to root system growth and indicative of compaction in 4 to 7 of the 16 cropping areas. There was a difference in the basic infiltration of water, with 4 areas classified as very high (IB > 100 mm h<sup>-1</sup>), 4 areas as high (IB between 70 and 100 mm h<sup>-1</sup>) and 7 areas as mean (IB between 50 and 70 mm h<sup>-1</sup>). In the areas that presented physical quality and superior water infiltration, it is associated to excellent management with rotation, with maize cultivation in the summer and turnip, sudan grass among other species, isolated or in consortium, in the winter and post-soybean or maize, which in a planned way guarantees high and permanent plant cover of the soil. Considering the occurrence of an event with precipitation of 55 mm h<sup>-1</sup> intensity, observed in the period of 2007 and 2017, when related to the basic infiltration rate measured with simulated rainfall, it is concluded that there will be a problem of erosion in 4 of the 16 crop areas evaluated. The impact of straw removal from the soil surface resulted in the reduction of water infiltration by 13%. The impact of level sowing of soybean on lines arranged transversely to the direction of the slope compared to the "down hill" direction resulted in the reduction of soil water infiltration of 33%.

**Keywords:** Soil physical quality, basic water infiltration, rainfall simulator, Direct planting.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Evolução do Sistema Plantio Direto - SPD no Brasil de 1973 a 2012.....	24
Figura 2. Amostragem de Solo: a) Determinação da profundidade de amostragem; b) Amostragem com anel volumétrico.....	53
Figura 3. coleta de solo para aplicação de metodologia vess (a) coleta de fatia do solo; b) amostra do solo na bandeja; c) aplicação de metodologia vess, com auxílio de cartilha explicativa.....	54
Quadro 1. Avaliação visual da estrutura do solo (vess –visual evaluation of soil structure)....	61
Figura 4. Processo de saturação das amostras. ....	56
Figura 5. Determinação em mesa de tensão. ....	56
Figura 6. Simulador de chuvas. ....	61
Figura 7. Parcela demonstrativa. ....	62
Figura 8. Medidor graduado. ....	63
Figura 9. Taxa de infiltração de água no solo nas áreas de lavouras 1, 2, 3, 4, 6, 7 e 8. Cruz Alta. CCGL/UNICRUZ. 2018.....	74
Figura 10. Taxa de infiltração de água no solo nas áreas de lavouras 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 e 16. Cruz Alta. CCGL/UNICRUZ. 2018. ....	75
Figura 11. Taxa de infiltração básica das áreas de lavoura manejadas em SPD, lâmina de chuva aplicada pelo simulador e intensidade máxima da precipitação pluviométrica observada no período de 2007 a 2017. CCGL/UNICRUZ. 2018.....	81
Figura 12. Taxa de infiltração de água no solo em áreas de lavouras em condição com e sem resíduos culturais na superfície e semeadura em nível comparado a morro acima/morro/abaixo. CCGL/UNICRUZ. Cruz Alta. 2018 .....	85

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Caracterização das áreas das propriedades selecionadas, histórico de uso e os sistemas de cultivos utilizados nos últimos cinco anos. CCGL/UNICRUZ, Cruz Alta, RS. UNICRUZ/CCGL. Cruz Alta, RS. 2017.....57
- Tabela 2.** Resultados de densidade, porosidade e macroporosidade do solo nas camadas de 0 a 10 cm, 10 a 20 cm e 20 a 30 cm de profundidade nas áreas das propriedades selecionadas. UNICRUZ/CCGL. Cruz Alta, RS. 2017.....74
- Tabela 3.** Resultados de microporosidade, grau de compactação e qualidade estrutural do solo nas camadas de 0 a 10 cm, 10 a 20 cm e 20 a 30 cm de profundidade nas áreas das propriedades selecionadas. UNICRUZ/CCGL. Cruz Alta, RS. 2017.....75
- Tabela 4.** Número de evento com intensidade de chuvas entre 15 e 55 mm h<sup>-1</sup>, calculados com base na precipitação pluviométrica observada no período de 2007 a 2017 na Estação Meteorológica do INMET. CCGL TEC. Cruz Alta, RS. 2017.....86

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAT	Clube Amigos da Terra
CCGL TEC	Cooperativa Central Gaucha Ltda.
CNPT	Centro Nacional de Pesquisa de Trigo da Embrapa
COOPERSUL	Cooperativa Central dos Campos Gerais
COREDE Alto Jacuí	Conselhos Regionais de Desenvolvimento do Rio Grande do Sul
COREDE Noroeste	Conselhos Regionais de Desenvolvimento do Rio Grande do Sul
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FEBRAPDP	Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha
FUNDACEP	Fundação Centro de Experimentação e Pesquisa FECOTRIGO
Fundação ABC	Fundação ABC – Pesquisa e Desenvolvimento Agropecuário
Fundação MS	Fundação MS para Pesquisa e Difusão de Tecnologias Agropecuárias
Fundação MT	Fundação de Apoio à Pesquisa Agropecuária de Mato Grosso
GTZ	Gesellschaft fuer Technische Zusammenarbeit – Cooperação técnica alemã
IAPAR	Instituto Agrônômico do Paraná
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICI	Imperial Chemical Industries
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.
PIUCS	Projeto Integrado de Uso e Conservação do Solo
PMISA	Programa de Manejo Integrado de Solos e Água
PSA	Pagamento de Serviços Ambientais
SPD	Sistema Plantio Direto

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
1.1 Objetivos.....	17
1.1.1 Objetivo Geral .....	17
1.1.2 Objetivos Específicos .....	17
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>19</b>
2.1 Plantio Direto no Brasil – contexto histórico .....	19
2.2 Qualidade Física do Solo no Sistema Plantio Direto.....	25
2.2.1 A importância da estrutura do solo para atividade agrícola sustentável.....	25
2.2 Indicadores biológicos da qualidade do solo .....	30
2.3 Erosão hídrica pluvial do solo .....	33
2.3.1 Potencial de erosão hídrica e o impacto da gota da chuva .....	33
2.3.2 escoamento superficial.....	36
2.3.3 Efeitos do manejo sobre as perdas de água e solo por erosão hídrica .....	38
2.3.4 Consequências das perdas por erosão no sistema de produção .....	41
2.3.5 Manejo e conservação dos recursos naturais: desafios atuais .....	43
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>50</b>
3.1 Aspectos gerais .....	50
3.2 Caracterização das áreas de lavouras sob Sistema Plantio Direto.....	50
3.3 Caracterização Física do Solo.....	52
3.3.1 Amostragem do Solo .....	52
3.3.2 Análise Visual da Estrutura e Definição da Camada Amostrada .....	53
3.3.3 Análises Físicas do Solo .....	55
3.3.3.1 Densidade (Ds) .....	57
3.3.3.2 Densidade de partículas (Dp) .....	57
3.3.3.3 Porosidade total, Microporosidade e Macroporosidade .....	58
3.3.3.4 Grau de compactação.....	60
3.4 Quantificação da biomassa seca .....	60

3.5 Taxa de infiltração básica de água no solo .....	60
3.6 Infiltração de água em lavoura com manejo de resíduos culturais na superfície e semeadura em nível comparado a morro acima-morro abaixo.....	64
3.7 Intensidade de chuvas ocorridas no período de 2007 a 2017 .....	64
3.8 Análise dos resultados .....	65
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>66</b>
4.1 Atributos físicos do solo .....	66
4.2 Taxa de infiltração básica de água no solo .....	72
4.3 Taxa de infiltração de água em lavouras sob SPD e a intensidade de chuvas ocorridas....	77
4.4 Infiltração de água em lavoura com manejo de resíduos culturais na superfície e semeadura em nível comparado a morro acima-morro abaixo.....	83
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>88</b>
<b>6 SUGESTÕES .....</b>	<b>89</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>91</b>
APÊNDICE A – Precipitação ocorrida durante o período de 1985 a 2017. Dados da Estação Meteorológica da FUNDACEP/CCGL TEC, Cruz Alta, RS. ....	117
APÊNDICE B – Características químicas nas camadas de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm nas áreas de lavoura. ....	118
APÊNDICE C – Resultados de análise granulométrica, densidade de partículas (DP) e de referencia (DS Ref) nas camadas de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm de profundidade nas áreas das propriedades. UNICRUZ/CCGL. Cruz Alta, RS. 2017. ....	120

## 1 INTRODUÇÃO

O Sistema Plantio Direto - SPD é uma forma de manejo conservacionista do solo praticado por mais de 90% dos produtores gaúchos. O SPD está alicerçado no cultivo com mínimo revolvimento do solo associado à manutenção dos resíduos das culturas anteriores na superfície do solo protegendo contra o impacto das gotas da chuva, minimizando a erosão hídrica e aumentando a infiltração de água no solo.

Entretanto, a grande maioria dos produtores não têm adotado todas as premissas de qualidade do Sistema. A atenção estaria mais concentrada em obter o máximo lucro e menor preocupação em preservar o solo, assim como os demais recursos naturais. Nesse sentido nos últimos anos tem-se discutido com frequência as falhas na implementação do SPD. Já não é mais tão raro avistar ao largo das rodovias gaúchas, propriedades com lavouras sob SPD, com sulcos de erosão, constatando-se, como consequência, o comprometimento do desempenho desse sistema. Ainda tem sido apontado que essa situação está associada à ocorrência de precipitações em quantidade e intensidades maiores que normalmente vinham ocorrendo anteriormente e, que estes sulcos ocorrem somente em locais onde, pela conformação morfológica das coxilhas, concentra-se um grande volume de água das chuvas. Infelizmente esses são indicativos que algumas técnicas do sistema não estão sendo seguidas ou que se fazem necessárias algumas melhorias. Dessa forma o não cumprimento das premissas básicas, nas áreas de lavouras sob SPD se manifesta pela ocorrência da compactação do solo, concentração superficial de nutrientes com raízes restritas aos primeiros centímetros do perfil do solo, elevada susceptibilidade aos déficits hídricos, com presença de erosão e contaminação dos recursos hídricos pelos sedimentos e agroquímicos.

Não obstante, alguns produtores adeptos do SPD, que vivenciaram nas décadas passadas as consequências da degradação do solo promovido pelo processo erosivo no sistema de preparo convencional, afirmam que o plantio direto não foi uma opção, foi questão de sobrevivência. No RS, os “pioneiros” e seus seguidores afirmam que o SPD quando bem manejado seguindo suas premissas básicas, com mínima mobilização de solo, diversificação de espécies via rotação, cobertura vegetal permanente no solo e controle de tráfego é possível alcançar inúmeros benefícios, como a melhoria da qualidade do solo e aumento de produtividade dos cultivos com mínimos riscos a erosão do solo.



A contribuição da qualidade física do solo tem sido amplamente apontada como decisiva por proporcionar maior infiltração e armazenamento de água no solo, melhor aeração do solo e desenvolvimento do sistema radicular das plantas, com reflexos significativos no aproveitamento dos nutrientes do solo e na resposta das culturas. Como a sustentabilidade do SPD está além da cobertura e ou proteção da superfície do solo, mas também na melhoria da qualidade física do solo, a proposta do presente trabalho busca avaliar a qualidade do manejo no SPD e seu impacto na estrutura física do solo e sua relação com a capacidade de infiltração de água no solo em áreas de lavouras manejadas sob SPD de boa qualidade. Em vista da importância dos sistemas de manejo de solo e culturas, a Universidade de Cruz Alta (UNICRUZ) através do Curso de Mestrado Profissional em Desenvolvimento Rural, está empenhada na busca de uma agricultura verdadeiramente mais sustentável. Acredita-se que os resultados oriundos desta pesquisa possibilitará, juntamente com a análise dos trabalhos de outras instituições, conduzir um sistema que priorize os conceitos de sustentabilidade, para contribuir com a permanência do agricultor no campo, produzindo com qualidade de vida e contribuindo com preservação do meio ambiente.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Avaliar o impacto da capacidade de infiltração de água em áreas de lavouras manejadas sob SPD de boa qualidade como base orientadora à implementação nos diferentes tipos de manejo utilizados para uma agricultura conservacionista a fim de minimizar impactos negativos da erosão na lavoura e no meio ambiente.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Avaliar a qualidade do solo em áreas de lavouras manejadas sob SPD de boa qualidade;
- Quantificar a taxa de infiltração básica no solo em chuva simulada nas áreas de lavouras manejadas sob SPD de boa qualidade;
- Relacionar a qualidade física e a taxa de infiltração básica no solo com as práticas de manejo das lavouras conduzidas sob SPD de boa qualidade, como base orientadora à implementação

de uma agricultura conservacionista a fim de minimizar impactos da erosão na lavoura e no meio ambiente;

- Equiparar os resultados da taxa de infiltração básica com a intensidade de precipitação pluviométrica ocorrida no período de 2007 a 2017, para quantificar a probabilidade de erosão em lavouras conduzidas sob SPD de boa qualidade;
- Avaliar o impacto da presença ou ausência de resíduos culturais sobre o solo e do sentido da semeadura quais sejam, em nível e *morro abaixo* sobre a infiltração de água do solo.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Sistema Plantio Direto no Brasil – contexto histórico

Nos anos de 1950 e 1960, os imigrantes europeus iniciaram a abertura de áreas para produção agrícola no Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, utilizando arado de discos e grades pesadas, tracionados por tratores, para a incorporação da biomassa vegetal e controle de ervas (CASÃO JR. *et al.*, 2012). Esse era o mesmo modelo tecnológico utilizado em suas terras de origem e tais técnicas eram precedidas pelo uso de queimadas, que tinham como objetivo reduzir o volume de biomassa vegetal e facilitar o trabalho das máquinas. No entanto, pelas condições edafoclimáticas dos locais, o uso demasiado destes implementos gerou impactos ambientais indesejáveis que levaram à degradação dos solos e consequente erosão (WALL; FLORINDO, 2012, *apud* CASÃO JR. *et al.*, 2002). Com a degradação do solo e pela necessidade de novas terras para cultivo agrícola, no final da década de 1960, a fronteira agrícola do extremo Sul do Brasil expandiu-se para novas regiões como o Oeste e o Norte paranaense, porém com os mesmos problemas ambientais (CASÃO JR. *et al.*, 2012)

Assim, após 1960, o processo erosivo do solo se intensificou, principalmente, devido à desagregação do solo e à presença de uma camada subsuperficial compactada que diminuía a taxa de infiltração de água no solo (FREITAS, 2002). Em função dessa situação, agricultores e técnicos se concentraram em buscar novos sistemas de manejo com menor movimentação do solo. Duas possibilidades surgiram, como o uso de escarificadores, principalmente no Oeste do Paraná, e a implantação do plantio direto como sistema, sem revolvimento do solo (CASÃO JR. *et al.*, 2012).

A introdução do Plantio Direto no Brasil se deu no final da década de 60, principalmente pela inquietude de alguns produtores que tinham problemas de erosão em suas próprias lavouras e começaram a utilizar a técnica em pequenas áreas sob a forma de estudos acadêmicos. Os primeiros estudos foram realizados em Instituições de pesquisas e de ensino superior (RUEDELL, 1995). O Plantio Direto é um processo que revolucionou as técnicas de cultivo na agricultura brasileira e o Estado do Paraná foi pioneiro em utilizar a técnica que se transformaria posteriormente em Sistema Plantio Direto - SPD (CASÃO JR. *et al.*, 2012). Essa técnica surgiu na Inglaterra e nos Estados Unidos e as primeiras fazendas mecanizadas com o plantio direto surgiram no Estado do Kentucky, nos Estados Unidos. Foi nos Estados Unidos que agricultores paranaenses buscaram as primeiras informações para trazer essa tecnologia para o Brasil. (RUEDELL, 2017).

O termo plantio direto tem sua origem no termo “no till”, que em inglês significa a prática de cultivo inserido diretamente na terra, sem necessidade de revolver o solo. O plantio direto significa na prática realizar a semeadura sobre os resíduos de coberturas vegetais, denominado no Brasil como palha, é a técnica de semeadura na qual a semente é colocada no solo não revolvido.

O SPD envolve um planejamento detalhado da área e a implantação de algumas práticas para se conseguir os resultados desejados. Não é simplesmente colocar a semente no solo coberto com palha, é preciso atender com eficiência algumas premissas básicas como a correção da fertilidade do solo, implantação de um calendário de rotação de culturas, além ausência de revolvimento de solo e uso de culturas para a formação de palhada, para se obter o sucesso do sistema.

Os princípios da aplicação do SPD estão pautados na transformação dos restos culturais em adubo, ou seja, a palha decomposta de safras anteriores é transformada em alimento natural do solo (MOTTER *et al.*, 2015). O acúmulo de matéria orgânica (MO) e de nutrientes inicia-se na superfície e aprofunda-se no perfil do solo com o tempo de adoção do plantio direto. Devido ao acúmulo de palha no solo e ao processo lento de decomposição, cultivo após cultivo, há melhoria na retenção de água, tornando o solo menos denso e com isso, há melhoria na condução da água e melhor penetração radicular. (REICHARDT *et al.*, 2009).

Em relação à evolução histórica do Sistema, pode-se destacar que em 1969, a Faculdade de Agronomia Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS importou dos EUA uma semeadora para plantio direto por meio do convênio MEC/USAID. De maneira pioneira, o equipamento da marca Buffalo foi usado para semear um hectare de sorgo no campo agrícola do Posto Agropecuário do Ministério da Agricultura, no município de Não Me Toque, RS, tendo como o primeiro registro de plantio no Estado do Rio Grande do Sul (RUEDELL, 1995).

Em 1970, na Estação Experimental do Ministério da Agricultura de Ponta Grossa – IPEAME, com apoio de empresas como ICI - *Imperial Chemical Industries* e *Gesellschaft fuer Technische Zusammenarbeit – GTZ*, sigla em alemão, que em português quer dizer Agência Alemã de Cooperação Técnica, o SPD começou a ganhar popularidade para tornar-se referência (FEBRAPDP, 2017).

Em 1971, iniciaram as pesquisas com o plantio direto na cultura do trigo na Fundação Centro de Experimentação e Pesquisa – FUNDACEP FECOTRIGO localizada no município de Cruz Alta, RS sob a liderança do Eng<sup>o</sup>. Agrônomo José Abrão, transformada

em fundação em 1989 com o nome de FUNDACEP FECOTRIGO, que nesta época já havia estudos comparativos deste novo sistema com as práticas convencionais (RUEDELL, 1995). Também, em 1971, iniciava-se estudos nas estações experimentais de Londrina e de Ponta Grossa do Instituto de Pesquisas e Experimentação Agropecuária Meridional do MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Em 1972, o produtor Herbert Bartz de Rolândia, PR tornou-se personagem central dessa revolução na agricultura. De acordo com o depoimento de Bartz no livro *Plantio Direto: a tecnologia que revolucionou a agricultura brasileira* (2015), a data de início do Plantio Direto no Brasil é 20 de outubro de 1972, quando sua máquina importada para semear sementes chegou ao Porto de Santos.

Sobre a introdução do Plantio Direto no Brasil, o Agrônomo Udo Bublitz, em entrevista concedida ao Motter *et al.*, (2015) da Emater do Paraná é categórico ao afirmar que não é somente o solo que vai embora com as chuvas, mas o adubo e o herbicida. Quanto mais contaminantes na água, maior o custo para o tratamento dela. [...]. O SPD é um sistema fabuloso que se conseguiu multiplicar em todo o país. Além de qualificar a qualidade do produto, ele permite uma conservação dos solos e água para o produtor produzir a médio e longo prazo. De acordo com Bublitz (2003) o objetivo do SPD é manter o solo em boas condições a médio e longo prazo, não à curto prazo.

Em 1972, a Estação Experimental de Passo Fundo, atual Embrapa Trigo iniciou os estudos para avaliar a sucessão trigo/soja em solo sob SPD, em área cultivada com as técnicas convencionais (MOTTER *et al.*, 2015).

Em 1973, já havia um experimento conduzido em Ponta Grossa – PR com diferentes sistemas de preparo do solo, incluindo o cultivo sem revolvimento do solo. Os resultados desse estudo foram publicados em 1974 e constituem o primeiro registro de pesquisa sobre manejo conservacionista do solo no Brasil (CASÃO JR. *et al.*, 2012).

Em 1973 a FUNDACEP FECOTRIGO já ampliava os ensaios comparativos para áreas de lavouras, inclusive em áreas de produtores rurais interessados pelo novo sistema (RUEDELL, 1995). Em 1973 foi lançado o livro “*No-tillage Farming*” traduzido por “Plantio Direto” (PHILLIPS; YOUNG, 1973) que até hoje é referência sobre o sistema em todo o mundo.

Em 1974 em Santo Ângelo também no RS, já havia uma lavoura em plantio direto do produtor rural José Carlos da Veiga Mello (RUEDELL, 2017). Aos poucos difundiu-se a ideia de que plantio direto era uma técnica para conter a erosão através da semeadura da soja sem o preparo do solo, em cima da resteva de trigo ou até de áreas em pousio no inverno,

considerando que o objetivo principal era neutralizar a erosão através da semeadura sem remoção do solo (RUEDELL, 1995).

Por incentivo de Bartz, em 1976, outros produtores na região de campos gerais, no Paraná também iniciaram as experiências com o plantio direto, como Manoel Henrique, conhecido como Nonô Pereira e Franke Dijkstra, com resultados inéditos de conservação do solo. Naquela época, cerca de 40% das lavouras dos Campos Gerais eram replantadas devido à erosão e isso os inquietavam. E foi a partir dessa região que o SPD ganhou notoriedade (MOTTER *et al.*, 2015). Nonô e Dijkstra foram considerados pioneiros por difundir a técnica entre os produtores rurais do Paraná. O trio tornou-se muito conhecido por difundir a técnica. E a adoção pela prática, foi uma sobrevivência em virtude de que as lavouras estavam se degradando pela erosão.

Bartz (2001) relata que Nonô Pereira que também difundia o plantio direto, mas no entanto, em sua propriedade que também tinha problemas com erosão, pois era um solo com estrutura delicada mesmo com a construção de terraços. Já havia assistido várias palestras sobre o assunto, visitado a propriedade de Bartz, mas foi incentivado por Rubens Bemerguí, da ICI Brasil após assistir uma palestra em Ponta Grossa, no início do segundo semestre de 1976, na qual convenceu Nonô a comprar uma semeadora Rotacaster para iniciar o plantio direto. Nonô apostou na ideia e em outubro de 1976, semeou os primeiros 20 ha de soja sobre palha de trigo, que foi anteriormente picada, porque a semeadora não tinha um bom desempenho no corte da resteva e embuchava com facilidade. No ano seguinte, ele plantou 200 ha de soja sobre a palha de cevada e, apesar de todas as dificuldades iniciais com máquinas, com a semeadura, com o controle de plantas daninhas e outros problemas novos que se apresentavam, a produtividade foi boa. O programa estava estabelecido e seguiria num desenvolvimento permanente até a virada do milênio, como um símbolo da vitória do conhecimento humano.

Três meses após retornarem da viagem aos Estados Unidos, em outubro de 1979 surgiu efetivamente o Clube da Minhoca, uma organização informal, que nunca teve sede física, estatuto registrado ou qualquer tipo de organização fiscal ou registro contábil, mas que foi de uma importância histórica fundamental na evolução do plantio direto na região dos Campos Gerais do Paraná e, por extensão, no Brasil e em outros países da América do Sul. O clube tinha como objetivo difundir a tecnologia e buscar soluções para a agricultura. Desta forma, reuniões informais principalmente a campo, com demonstrações práticas e debates entre os produtores e técnicos foram acontecendo cada vez mais com maior número de entusiastas (FEBRAPDP, 2007). As ações praticadas pelo Clube da Minhoca ganhou

repercussão nacional e isso fez aumentar o interesse dos Produtores rurais pelo Sistema. Eram realizados palestras e dias de campo com produtores.

Casão Jr. (2012) explica que a primeira fase do desenvolvimento do plantio direto foi em busca do conhecimento e as experiências iniciais foram até o ano de 1979. Entre 1980 e 1991, as pesquisas agrícolas comprovaram a eficiência do plantio direto no controle da erosão hídrica e na redução das perdas de solo. Nessa época os principais fundamentos do plantio direto foram consolidados, abrangendo o mínimo revolvimento do solo, a manutenção permanente da cobertura com palha ou plantas vivas e a rotação de culturas.

A cobertura permanente do solo com palha passou a ser considerada um componente importante no controle de ervas daninhas e o aumento da quantidade de palha cobrindo o solo também começou a ser um objetivo importante no plantio direto.

O Clube da Minhoca inspirou a formação de várias outras entidades similares em todo o País, com destaque para os Clubes Amigos da Terra (CATs) no Rio Grande do Sul, tendo-se num determinado período 54 espalhados pelo Estado. Além de reuniões com palestras, a maioria dos Clubes desenvolviam experimentos e validações, em terras cedidas por produtores com a finalidade de promover dias de campo e troca de informações chamadas de “áreas polos”. Os Clubes também tinham como objetivo participar da difusão do Sistema. A criação dos CATs foi incentivada pela empresa ICI que participava com entusiasmo na difusão do sistema (RUEDELL, 2017).

O SPD foi amplamente difundido e isso resultou em uma demanda por maquinários apropriados para a nova tecnologia. No RS foram grandes os esforços no desenvolvimento de componentes rompedores de solo e na década de 1980, iniciaram-se, na Embrapa Trigo, trabalhos de desenvolvimento de semeadoras experimentais para plantio direto pelo CNPT/EMBRAPA, servindo de modelo para as indústrias iniciarem a fabricação das primeiras máquinas (EMBRAPA, 1993)

Diversos trabalhos apontavam que a eficácia dos preparos conservacionistas no controle da erosão estavam presente em todos os Estados do Sul. Havia uma redução de 50% a 95% nas perdas de solo em relação ao preparo convencional (ELTZ *et al.*, 1984).

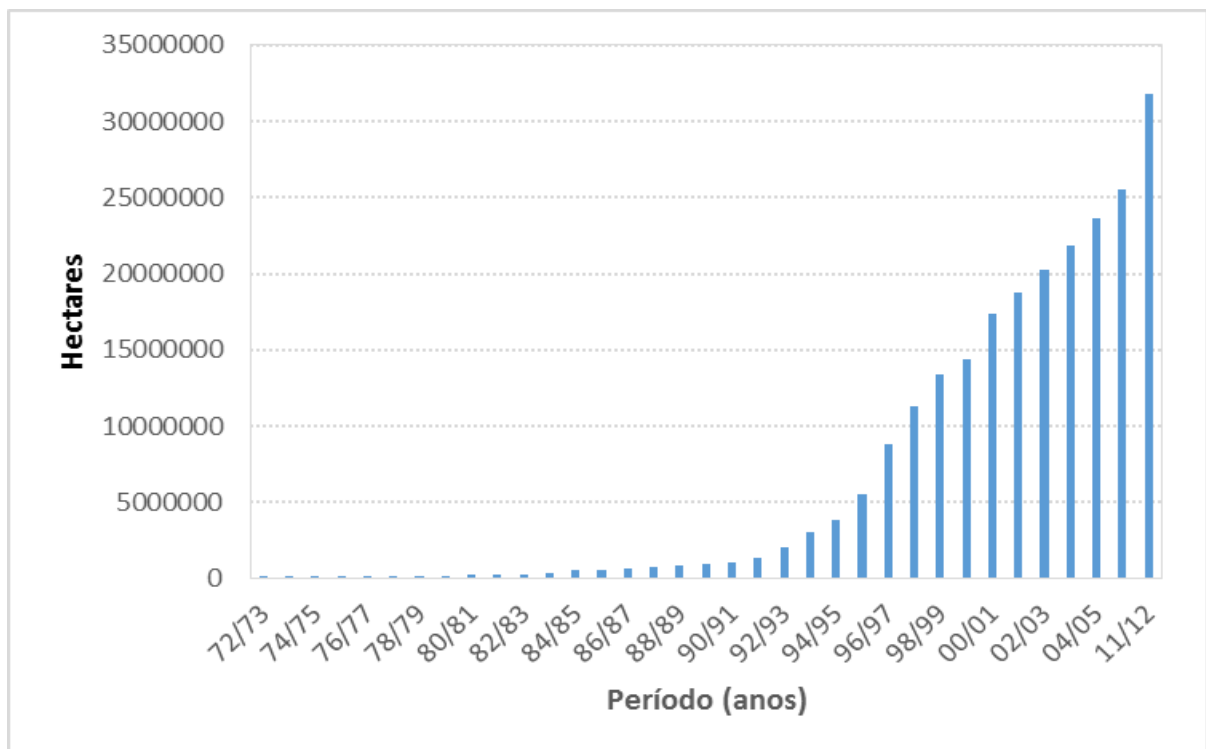
Em 1985, a FUNDACEP FECOTRIGO iniciou um Projeto de pesquisa abrangente com demonstração comparativa do SPD com o Sistema Convencional, ensaio conduzido em Cruz Alta, RS, denominado de ensaio que é conduzido até o presente ano (RUEDELL, 2017). As pesquisas demonstraram que o manejo praticado sem revolvimento do solo e da prática da rotação de culturas tem influência sobre o controle das plantas daninhas, melhoria na qualidade do solo e aumento na produção de grãos (RUEDELL, 1995).

A expressão inicial do termo Plantio Direto mudou para SPD, pois a técnica tornou-se mais avançada e englobava vários processos tecnológicos e premissas a serem cumpridas a fim de se buscar por uma agricultura conservacionista, portanto o SPD é uma técnica made in Brazil (MOTTER *et al.*, 2015).

No Rio Grande do Sul, no ano de 1993, havia apenas 300 mil hectares de SPD e entidades públicas e privadas decidiram incentivar a expansão desse sistema com ênfase na capacitação de produtores e técnicos. Pensando nisso, a Embrapa organizou cursos de três dias com os temas: calagem, adubação fosfatada, máquinas para pequenas propriedades, micronutrientes e inoculantes. Esse projeto foi denominado METAS - "Viabilização e Difusão do SPD no Rio Grande do Sul", de 1992 a 1998, além da Embrapa, contou com a participação da Emater e outras instituições e empresas privadas para difundir o sistema. Quatro anos após o início do projeto, a área com SPD no Estado já atingia 850 mil hectares (CASÃO JR. *et al.*, 2012).

Com isso o SPD foi se expandindo e sua consolidação se deu a partir de 1992, conforme Figura 1, não somente no Sul do Brasil, mas também em outros estados, tendo a Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha - FEBRAPDP e os CATs um papel importante nessa expansão.

**FIGURA 1.** EVOLUÇÃO DO SPD NO BRASIL DE 1973 A 2012.



Fonte: FEBRAPDP, 2017.



SPD é uma prática amplamente utilizada para manejar o solo com vistas à minimizar o potencial erosivo. Sistemas de manejo conservacionistas que promovam pequena ou nenhuma movimentação mecânica do solo e que mantenham a maior parte dos resíduos culturais sobre a superfície e elevação da rugosidade superficial são mais eficazes no controle das perdas de solo e água por erosão hídrica do que os não conservacionistas (COGO *et al.*, 1984; BEUTLER *et al.*, 2003). Diversos estudos tem sido realizado com o objetivo de avaliar como as diferentes formas de manejo têm influenciado no processo de perda de solo e de água (CASSOL *et al.*, 2003).

As premissas do Sistema inclui também os requerimentos de movimentação mínima do solo que se limita a colocação das sementes e fertilizantes no sulco, manutenção do solo coberto permanentemente com palha e a adoção da rotação de culturas com adubação verde (CALEGARI, 2006; MUZILLI, 2006).

Franke Dijkstra afirmava que o plantio direto no Brasil não foi uma opção, foi questão de sobrevivência (MOTTER *et al.*, 2015).

## **2.2 Qualidade Física do Solo no Sistema Plantio Direto**

### **2.2.1 A importância da estrutura do solo para atividade agrícola sustentável**

A qualidade do solo está relacionada com sua funcionalidade dentro dos ecossistemas naturais ou manejados e significa a capacidade deste em sustentar a atividade biológica, promover o crescimento e a saúde das plantas e animais, e manter a qualidade ambiental (DORAN; PARKIN, 1994). Esta capacidade resulta de interações entre inúmeros processos químicos, físicos e biológicos de natureza complexa (TÓTOLA *et al.*, 2002) e sofre alterações com o manejo (REICHERT *et al.*, 2003). As práticas utilizadas para manejar o solo podem provocar alterações nos seus atributos físicos, químicos e biológicos (NIERO *et al.*, 2010). Os indicadores de qualidade do solo podem ser classificados como físicos, químicos e biológicos (ARAÚJO *et al.*, 2007). E apresentam um conjunto de informações que poderão ser utilizadas para avaliar o comportamento e o desempenho das principais funções do solo.

No solo, existem diversas inter-relações entre os atributos físicos, químicos e biológicos que variam de acordo com os diferentes sistemas de manejo adotados que vão alterar diretamente sua estrutura e atividade biológica e, em consequência, a fertilidade, com reflexos na sua qualidade e na produtividade das culturas (CARNEIRO *et al.*, 2009).

A qualidade do solo pode sofrer interferências e se modificar com o passar do tempo, em decorrência de eventos naturais ou ações do homem.

De forma geral a qualidade do solo vai depender da extensão em que o solo funcionará para o benefício humano, de acordo com sua composição natural, e está fortemente relacionada com as práticas intervencionistas do homem (ARAÚJO *et al.*, 2012).

A determinação de indicadores de qualidade de solo possibilita identificar possíveis problemas nas áreas de lavoura ou fazer estimativas de produtividade além de monitorar mudanças na qualidade ambiental. Indicadores são atributos que medem ou refletem o status ambiental ou a condição de sustentabilidade do ecossistema.

A utilização de indicadores de qualidade do solo, constitui uma maneira indireta de mensurar a qualidade dos solos, e são úteis para o monitoramento de mudanças no ambiente (ARAÚJO *et al.*, 2012). É importante destacar alguns deles. Considerando os indicadores químicos, eles podem apresentar informações sobre o equilíbrio entre a água e os nutrientes do solo. Podem ser disponibilizadas informações sobre ciclagem de nutrientes, fertilidade do solo como a presença de nitrogênio, nitratos, potássio, cálcio e outros componentes, além da quantidade de MO que vai indicar a razão entre nitrogênio e carbono no solo, índice de pH e indicadores de toxina.

A estrutura do solo é um dos indicadores mais importantes para o desenvolvimento das plantas, pois influencia nas condições de encrostamento, compactação, adensamento, infiltração de água e suscetibilidade do solo à erosão (CAMPOS *et al.*, 1995; AGUIAR, 2008). A estrutura pode ser avaliada por meio da densidade do solo, resistência à penetração, macro e microporosidade, estabilidade de agregados e infiltração da água no solo (CAMARGO, 2016). Essas propriedades podem ser influenciadas pelo uso e manejo do solo. O aumento da erosão hídrica ocorre em virtude da degradação das propriedades físicas do solo que é um dos principais processos responsáveis pela perda da qualidade estrutural (BERTOL, 2000). Esses indicadores da qualidade física do solo são essenciais para entender o processo erosivo, pois são sensíveis aos efeitos do manejo do solo. O emprego de práticas não sustentáveis pode causar a degradação de sua qualidade física, química e biológica, diminuindo a qualidade do solo (COSTA *et al.*, 2003; REICHERT *et al.*, 2003).

A qualidade física do solo descreve como o solo permite a infiltração, retenção e disponibilidade de água às plantas (REICHERT *et al.*, 2003). Se o solo está bem estruturado, vai influenciar no crescimento de raízes, que promove o crescimento vegetal resultando em maiores rendimentos (WOHLENBERG *et al.*, 2004).

A estrutura do solo é representada pelo arranjo das partículas minerais e orgânicas em agregados e pela rede de poros do solo (REINERT; REICHERT, 2006), sendo esta alterada pelo uso agrícola do solo (KAISER, 2010). O agrupamento dos agregados do solo, organizados numa forma geométrica definida, constitui a estrutura do solo (REINERT; REICHERT, 2006)

Os principais indicadores físicos recomendados por outros autores são textura; espessura (horizonte A; solum); densidade do solo; resistência à penetração; porosidade; capacidade de retenção d'água; condutividade hidráulica; e estabilidade de agregados (ARAÚJO *et al.*, 2012).

Uma boa estrutura é a que tem poros e espaços porosos bastante volumosos para aeração, infiltração e desenvolvimento radicular das plantas, e agregados bastante densos e coesos (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990).

Um grande número de propriedades físicas, processos biológicos e químicos são afetados pelo tipo, tamanho e grau de desenvolvimento dos agregados do solo, tais como maior ou menor permeabilidade à água (LEPSCH, 2002).

A textura é a proporção relativa das partículas sólidas na massa do solo, ou seja, é a proporção relativa entre areia, silte e argila em um material de solo.

A espessura do solo está relacionada à sua profundidade, aos tipos de horizontes presentes no perfil. A medida que a espessura dessa camada aumenta, ela se organiza em horizontes e o *solum* (LEPSCH, 2010).

A densidade representa a relação entre a massa de solo seco e o volume total ocupado, ou seja o volume incluindo os espaços ocupados pela água e pelo ar (FERREIRA, 2010). Sob condições de estrutura comparáveis, quanto mais argiloso o solo, menor a densidade.

Pelo senso comum, os solos arenosos são mais densos e, portanto, menos porosos que os solos argilosos. Embora os solos arenosos tenham muitos poros de diâmetro maior, que permitem a infiltração da água, estes apresentam poucos poros pequenos, que permitem a retenção da água no solo. Os solos argilosos, de regiões tropicais úmidas, como ocorre na maior parte do Brasil, apresentam adequada distribuição entre poros maiores (macroporos) e menores (microporos), de modo que possuem maior porosidade total, que é expressa pela menor densidade em comparação aos solos arenosos. (SCHELEDER, [20?])

A densidade pode ser afetada por uso e manejo do solo, por isso é importante o monitoramento. Qualquer intervenção nas partículas afeta a densidade e, conseqüentemente, o desenvolvimento de raízes será afetado (FERREIRA, 2010). As principais alterações na

densidade do solo estão geralmente associadas com as operações de preparo do solo para o cultivo, notadamente no Sistema Plantio Convencional (MEURER, 2007). Quando a densidade é alterada há reflexo direto na expansão do sistema radicular das plantas.

A densidade do solo é um importante atributo físico, por fornecer indicações a respeito do estado de sua conservação, sendo uma das primeiras propriedades a ser alterada pelos diferentes usos (GUARIZ, 2009). Inclusive pelo cultivo, pressão de máquinas agrícolas, animais e condições ambientais. A densidade também exerce influência em propriedades como infiltração e retenção de água no solo, no desenvolvimento de raízes e torna o solo suscetível aos processos erosivos, e também sendo largamente utilizada na avaliação da compactação e/ou adensamento dos solos (GUARIZ, 2009).

A densidade é muito utilizada como indicativo da capacidade de armazenamento, da qualidade do solo e da disponibilidade de água e nutrientes para as plantas, pois reflete o comportamento dos solos quanto à porosidade, permeabilidade, compacidade, taxa de infiltração, desenvolvimento de raízes e ainda indica presença de material vulcânico no solo e grau de intemperização (IBGE, 2007).

As diferenças existentes entre densidade nos solos é reflexo, de maneira geral, da diferença de porosidade, variando com a textura e a estrutura (COSTA, 2004).

A resistência à penetração serve para descrever a resistência física que o solo oferece a algo que tenta se mover através dele. Ela está diretamente correlacionada com vários atributos e condição do solo, como textura, densidade, MO e, principalmente a umidade (PEDROTTI *et al.*, 2001). O equipamento utilizado para medir resistência à penetração vertical foi o penetrômetro de impacto modelo comercial IAA/PLANALSUCAR, segundo método descrito por Stolf *et al.*, (1983). O penetrômetro de cone, também denominado de penetrômetro dinâmico, é um equipamento largamente utilizado em aplicações agrícolas para detectar camadas compactadas de solo.

A porosidade do solo é um dos principais atributos físicos que deve ser analisado por exercer grande influência em outros fenômenos físicos, como a infiltração e a condutividade hidráulica do solo (COSTA *et al.*, 2015). A porosidade do solo corresponde ao volume do solo não ocupado por partículas sólidas, incluindo todo o espaço poroso ocupado pelo ar e pela água, é reflexo direto da estrutura e textura do solo, sendo os poros determinados pelo arranjo e geometria das partículas, diferindo quanto à forma, comprimento, largura e tortuosidade. O estudo dos poros é usualmente realizado baseando-se no diâmetro dos poros, distinguindo-se macro e microporos do solo (AGUIAR, 2008.) O espaço poroso do solo é de

grande importância na movimentação da água, do ar e no crescimento das raízes, mas sofre grande alteração com o preparo do solo (DAVALO, 2013).

A porosidade total inclui a macroporosidade e microporosidade, aos quais são associados os ambientes onde ocorrerão os processos de aeração e drenagem e de retenção de água para a microporosidade. Os macroporos são os espaços maiores, onde a água transita e percola pela ação da gravidade. A porosidade está diretamente relacionada à textura e estrutura dos solos. Solos mais arenosos tem menor capacidade de retenção de água e enquanto solos mais argilosos tem maior capacidade e absorção de grandes quantidades de água devido a sua maior microporosidade. A porosidade do solo interfere na aeração, condução e retenção de água, resistência à penetração e à ramificação das raízes no solo e, conseqüentemente, no aproveitamento de água e nutrientes disponíveis (TOGNON, 1991). Os macroporos são os espaços maiores, onde a água transita e percola pela ação da gravidade.

Quando o solo é utilizado de forma intensificada, há diminuição da sua porosidade, ocasionando menor permeabilidade, isso ocorre pois há redução da proporção dos poros maiores que restringe o fluxo de água (RIBEIRO *et al.*, 2007) que também observou que a condutividade hidráulica do solo varia conforme o tamanho e a distribuição dos poros dos solos.

A retenção de água é a capacidade do solo em manter a água fornecida por precipitação ou irrigação. Já a disponibilidade de água às plantas é o volume contido entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente. Os dois processos estão intimamente ligados à distribuição dos poros do solo, a constar os microporos, que são os poros responsáveis pelo armazenamento da água que será aproveitada pelas plantas (KLEIN, 2015).

Há vários fatores que interferem na capacidade de retenção de água de um solo, como a estrutura, textura e a qualidade mineralógica do solo (SILVA; CABEDA; LIMA 2005).

De todos esses fatores a estrutura do solo é o componente manipulável do sistema e que deve favorecer a entrada e o armazenamento de água para as plantas (KAISER, 2010).

A capacidade que o solo tem em reter e disponibilizar a água depende das características pedogenéticas do solo e ainda da profundidade efetiva do sistema radicular e, também, da quantidade e geometria do sistema poroso.

Condutividade hidráulica do solo é a propriedade que expressa a facilidade com que a água nele se movimenta, sendo de extrema importância ao manejo do solo e da água e conseqüentemente à saúde do ambiente, conhecida como condutividade hidráulica do solo saturado  $K_0$  (PARAHYBA *et al.*, 2016). A primeira equação utilizada para quantificar o

movimento da água no solo foi introduzida por Henry Darcy, em 1856, o qual trabalhou com colunas de areia saturada com água. Essa equação, conhecida como equação de Darcy, estabelece que a quantidade de água que passa por unidade de tempo e de área pelo meio poroso saturado é proporcional ao gradiente de potencial total da água nesse meio. A constante de proporcionalidade foi denominada por Darcy de condutividade hidráulica, hoje conhecida como condutividade hidráulica do solo saturado  $K_0$  (GONÇALVES *et al.*, 2013).

Quanto à estabilidade dos agregados, o termo “agregados do solo” descreve o resultado de diversos processos biológicos, físicos e químicos que, juntos, promovem a união de partículas. Assim, a presença de agregados do solo é, hoje em dia, considerada um excelente indicador da qualidade e da saúde de um substrato. O revolvimento, prática relacionada ao plantio convencional, rompe os agregados do solo e expõe ao ar a MO antes “protegida” pela partícula.

Por outro lado, um solo com agregados estáveis comprovadamente oferece maior resistência às forças de desagregação promovidas pela água e pela utilização de maquinário agrícola pesado.

De acordo com Stefanoski *et al.* (2013), as práticas de manejo do solo exercem influência em sua estrutura, no tamanho e na quantidade de poros.

## **2.2 Indicadores biológicos da qualidade do solo**

Qualquer alteração no solo pode alterar diretamente sua estrutura e atividade biológica e, conseqüentemente, sua fertilidade, podendo causar prejuízos à sua qualidade e à produtividade das culturas (CARNEIRO *et al.*, 2009).

Nas camadas superficiais um fator muito importante que afeta o tamanho da estrutura é o tipo de manejo que se emprega no solo. O sistema tradicional de preparo do solo, através de aração e gradagem causa a quebra dos agregados e, conseqüentemente, das unidades estruturais, reduzindo seu tamanho (CAPECHE, 2008).

Os sistemas de preparo do solo vão diferir quanto ao grau de mobilização e à forma de disposição dos resíduos vegetais no solo. As formas de manejo e o sistema de plantio implantado afeta diretamente a atividade microbiana.

Alexander (1977) relata que os micro-organismos que compõem a microbiota presentes no solo são representados por bactérias, incluindo as actinobactérias (actinomicetos), os fungos, algas e protozoários, que desempenham papel fundamental na

formação, estrutura e qualidade do solo porque são responsáveis por inúmeras reações bioquímicas que ali ocorrem.

A biomassa microbiana do solo está diretamente relacionada com a decomposição de materiais orgânicos do solo e ciclagem de nutrientes, é a parte viva da MO, estudada como um indicador capaz de detectar de maneira mais precoce as alterações no solo decorrentes de seu uso e manejo, antecedendo as detecções de mudanças provocadas nas propriedades químicas e físicas do solo nos agrossistemas (BALOTA, 1998; MATSUOKA *et al.*, 2003).

A biomassa é um dos componentes que controlam funções-chaves no solo, como a decomposição e o acúmulo de MO, ou transformações envolvendo os nutrientes minerais.

Em estudos realizados em solo no estado do Paraná, há evidências que a prática do Plantio Direto propicia aumento na biomassa microbiana nas variadas condições de manejo das culturas (BALOTA, 1997). Balota (1998) ainda afirma que a atividade microbiana é uma boa indicadora das alterações ocorridas no solo, de acordo com o manejo praticado.

Consequentemente, de acordo com Mercante *et al.*, (2004), os sistemas de manejo atuam diretamente na persistência dos resíduos e no tamanho da biomassa microbiana e na sustentabilidade dos agroecossistemas. O preparo excessivo e superficial do solo têm causado erosão e degradação da estrutura do solo (WOHLENBERG, 2004).

Fernandes *et al.*, (1983) afirma que o cultivo sem revolvimento do solo permite a manutenção da continuidade de poros e canais deixados por raízes mortas no perfil do solo que favorece a taxa de infiltração de água por esses canais. . Esses poros ou canais têm uma distribuição mais uniforme em profundidade no SPD. Costa *et al.*, (2014) afirma que uso e manejo inadequado do solo podem trazer inúmeros problemas relacionados à sua sustentabilidade em razão da degradação da matéria orgânica do solo (MOS), alterando negativamente a biodiversidade do solo.

A adoção de sistemas de manejo que mantenham a proteção do solo pelo contínuo aporte de resíduos orgânicos é essencial para manutenção e/ou melhoria da estrutura do solo (STEFANOSKI *et al.*, 2013). Ayres (1960) relaciona a presença de cobertura vegetal com a diminuição da velocidade da água do escoamento superficial e das águas de enxurradas.

Como indicador biológico da qualidade do solo, está a macrofauna edáfica que compreende uma grande quantidade e variedade de animais invertebrados que vivem na serapilheira e no solo, sendo representados por organismos. Os indivíduos dessa macrofauna, contribuem para a movimentação do solo e a fragmentação da MO e contribui para as mudanças nas características físicas e químicas do solo (LAVELLE *et al.*, 1997) e favorecendo a ciclagem de nutrientes no solo.

Para manutenção da qualidade do solo e da sustentabilidade de seu uso, é fundamental que a abundância e diversidade de espécies da macrofauna edáfica seja promovida (SILVA R. *et al.*, 2006) sendo indicadores da biodiversidade do solo e da intensidade das atividades biológicas (VELÁSQUEZ; LAVELLE; ANDRADE, 2007).

Os microrganismos são sensíveis às modificações do solo, o que os tornam adequados como indicadores biológicos da qualidade ambiental. A população microbiana é grandemente influenciada pelo manejo e pela cobertura vegetal do solo (GARCIA, 2007).

Os organismos da fauna do solo também são utilizados como indicadores da qualidade do solo.

O manejo da MOS em SPD deixa de constituir um aspecto meramente pontual e adquire conotação sistêmica, proporcionando a melhoria dos atributos edáficos pela racionalização das estratégias de manejo do sistema solo-planta ao longo do tempo (MUZILLI, 2002).

A MO é considerada como eficiente indicador para determinar a qualidade do solo modificada por sistemas de manejo (CONCEIÇÃO *et al.*, 2005). Está diretamente relacionada aos atributos físicos, químicos e biológicos do solo.

O contínuo fornecimento de material orgânico serve como fonte de energia para a atividade microbiana, que atua como agente de estabilização de agregados (CAMPOS *et al.*, 1995) e a reestruturação dos solos depende da adoção de sistemas conservacionistas de manejo como o plantio direto que mantem a proteção do solo tem-se apresentado como uma alternativa para contribuir com a sustentabilidade, pois melhora o estado de agregação devido ao incremento do teor do carbono orgânico, sobretudo na camada de 0 a 10cm (SILVA *et al.*, 2000a). Carpenedo e Mielniczuk (1990) verificou que há melhoria significativa da estrutura do solo após a implantação e manutenção do SPD.

Quando a cobertura é realizada com resíduos vegetais que possuem alta relação C/N, observa-se decréscimo na mineralização da MO e aumento na imobilização dos nutrientes nela contidos (N, P, S), sobretudo na camada superficial do solo, devido à maior oferta de C-orgânico que estimula a atividade microbiana responsável pela imobilização do N no sistema solo-planta (MUZILLI, 2002).

Para manutenção da qualidade do solo e da sustentabilidade de seu uso, é fundamental que haja diversidade e abundância de espécies da macrofauna edáfica (MERLIM *et al.*, 2005) pois são indicadores da biodiversidade do solo e da intensidade das atividades biológicas.



É de suma importância, portanto, um processo contínuo de aporte de resíduos vegetais de qualidade e em quantidade, preferencialmente, depositado na superfície do solo, para que sejam mantidas de forma estável e até aumentadas as produtividades agrícolas (STRECK; FERREIRA; SCHWARZ, 2000). Porém, uma das principais falhas do Sistema é que os produtores tendem à não utilizar plantas com potencial de ciclagem de nutrientes e de descompactação do solo, considerando apenas retorno financeiro (GIRARDELLO (2010).

## **2.3 Erosão hídrica pluvial do solo**

### **2.3.1 Potencial de erosão hídrica e o impacto da gota da chuva**

A preocupação ambiental tem levado estudiosos, pesquisadores e profissionais da área agrícola a buscar e incentivar manejos que visam a manutenção ou melhoria da qualidade dos solos agrícolas e conseqüentemente que tragam melhores resultados sejam eles financeiros, estruturais e ambientais.

A erosão hídrica pluvial do solo é um fenômeno que ocorre naturalmente. No entanto, a ação humana pode intensificá-lo, situação presente na maioria das vezes (CECATTO, 2014). Toda erosão de solo está relacionado à água.

Quando se trata de erosão, a chuva é o fator climático mais importante, cuja ação maléfica ocorre quando é rompida a estabilidade adquirida ao longo do tempo entre o solo, a vegetação e os organismos do solo, em geral pela intervenção do homem (MEHL, 2000). A precipitação é a principal fonte de entrada de água e energia constituinte do ciclo hidrológico e a água da chuva exerce sua ação erosiva sobre o solo pelo impacto das gotas, que caem com velocidade e energia variáveis, dependendo do seu diâmetro, e pelo escorrimento da enxurrada. Quando há ocorrência de chuvas de elevada intensidade em situações que o solo não está devidamente protegido por cobertura vegetal ou morta, há compressão pelo impacto das gotas de chuva, e a infiltração torna-se reduzida havendo perdas significativas de solo e água (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990). A tendência é que se aumenta a erosão na mesma frequência que se aumenta a quantidade de chuvas, considerando que a prática de manejo não é ideal.

A distribuição, duração e intensidade da chuva vai influenciar as perdas de solo e conseqüentemente causar erosão. A erosão vai estar diretamente relacionada com a presença de água no local.

Para Ayres (1960), a vegetação é uma proteção natural do solo e auxilia contra o impacto da gota da chuva e as raízes das plantas vão contribuir com a infiltração da água da chuva pelas raízes e dessa forma a cobertura vegetal está relacionada ainda com diminuição da velocidade da água e do escoamento superficial (PANACHUCKI *et al.*, 2011),

O volume e a velocidade da enxurrada variam de acordo com a chuva, com a declividade e comprimento do declive do terreno e a capacidade que o solo tem de reter a água. A inclinação do declive do terreno vai influenciar as perdas de solo e água por erosão hídrica, pois, à medida que ela aumenta, aumentam o volume do escoamento da água e diminuir a infiltração de água no solo. As gotas da chuva contribuiram para o processo erosivo, principalmente, quando o solo não está coberto com palhada. Com isso, aumenta a capacidade de transporte das partículas de solo pela enxurrada, assim como a própria capacidade desta de desagregar solo, por ação de cisalhamento, principalmente quando concentrada nos sulcos direcionados no sentido da pendente do terreno (COGO; LEVIEN; SCHWARZ, 2003).

A erosão hídrica do solo é efetivamente, o trabalho mecânico resultante da energia incidente sobre o solo. A erosão é constituída pelos processos de desagregação do material solo, transporte de partículas de solo e sedimentação do material transportado. A redução de qualquer um dos processos, desagregação ou transporte, pode reduzir perdas de solo por erosão. Ela é a resultante da interação de alguns fatores como a chuva, o solo, comprimento e inclinação do declive, cobertura, manejo do solo e práticas conservacionistas (DENARDIN *et al.*, 2005).

Denardin *et al.* (2005) separou esses fatores em dois grupos: o primeiro é o componente energético capaz de produção erosão que compreende o potencial erosivo da chuva e as características topográficas da área e o segundo é o componente dissipador dessa energia, composto pela erodibilidade do solo, cobertura e manejo do solo e práticas conservacionistas.

Esse fatores passam pelas condições do terreno, que determinam a intensidade do processo erosivo, que é determinada por fatores como declividade, capacidade de infiltração de água no solo, rugosidade superficial e porcentagem de cobertura do solo (PRUSKI, 2006).

O manejo adequado, como o uso da cobertura ideal tem efeitos sobre as condições de infiltração da água no solo e exercem importante influência na interceptação da água (PRUSKI *et al.*, 2003). A presença de alta taxa de cobertura do solo por resíduo cultural e a consolidação da superfície do solo propiciada pela ausência de preparo foram importantes para conter a erosão, de acordo com Volk e Cogo (2008).

O conhecimento da taxa de infiltração da água no solo é de fundamental importância para a definição de técnicas de conservação do solo, de planejamento de sistemas de irrigação e drenagem, bem como para auxiliar no entendimento da retenção da água e aeração no solo (RIBEIRO *et al.*, 2013).

Quanto maior o volume de cobertura vegetal, a rugosidade da superfície do solo e a evapotranspiração da cultura, quando ocorrer uma chuva, maiores serão as taxas de infiltração de água no solo e, conseqüentemente, menores serão as perdas por escoamento superficial (COGO *et al.*, 2003).

O fator mais importante na dissipação da energia de impacto das gotas da chuva na superfície do solo é a presença da cobertura do solo por resíduos vegetais, visto que ela pode evitar a desagregação de suas partículas (BERTOL *et al.*, 2007).

Santi *et al.* (2013) afirma que a quantidade de palha no solo reflete na melhoria das qualidades físicas, químicas e biológicas do solo.

O impacto direto das gotas de chuva sobre o solo descoberto é responsável por até 95% da erosão hídrica (ELLISON, 1946). O impacto das gotas da chuva sobre o solo descoberto e o escoamento superficial, são os principais agentes erosivos envolvidos na erosão hídrica pluvial (FOSTER, 1982). A chuva modifica as condições físicas da superfície do solo e esta quando combinada com a enxurrada, reduz a rugosidade superficial e, conseqüentemente, a retenção e a infiltração superficiais de água no solo, favorecendo o selamento superficial, refletindo-se em maiores perdas de água e solo por erosão hídrica, principalmente nos solos com pouca ou nenhuma cobertura vegetal (COGO, 1981).

As propriedades físicas do solo influenciam diretamente sobre o processo erosivo, principalmente aquelas que afetam a taxa de infiltração e permeabilidade e aquelas que influenciam sobre a resistência do solo às forças de dispersão, salpico e transporte.

Quando a energia que une as partículas e agregados menores é menor do que a energia imposta pelas gotas e pelo escoamento superficial o impacto da gota de chuva promove desagregação e salpicamento das partículas mediante a destruição de agregados. O impacto da gota de chuva tem energia cinética 256 vezes maior que a energia do escoamento superficial (HUDSON, 1995) e promove desagregação, transporte, deposição das partículas mediante a destruição de agregados, quando a energia que une as partículas e agregados menores é menor do que a energia imposta pelas gotas e pelo escoamento superficial .

A desagregação do solo pelo impacto das gotas de chuva, seguida do salpicamento (*splash erosion*), é responsável pela maior parte do processo erosivo.

A desagregação das partículas do solo é a primeira e mais importante etapa do processo erosivo, consiste na separação das partículas da massa do solo, as quais ficam susceptíveis ao transporte pela enxurrada (MARIOTI, 2012). Tanto a gota de chuva quanto a enxurrada tem potencial para desagregar o solo, mas o transporte de partículas, em longa distancia é, predominantemente, promovido pela enxurrada (DENARDIN *et al.*, 2005). A energia da enxurrada no solo será influenciada pelo seu volume, velocidade e caminhos preferenciais do fluxo que vai definir a magnitude da erosão hídrica (HUDSON, 1995).

Quando há ocorrência de chuvas de elevada intensidade em situações que o solo não está devidamente protegido por cobertura vegetal ou morta, há compressão pelo impacto das gotas de chuva, e a infiltração torna-se reduzida havendo perdas significativas de solo e água (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990).

A erosão ocasionada nos entressulcos ou erosão de salpicamento é promovida exclusivamente pela energia cinética de impacto causada pelas gotas de chuva, a qual é dependente do tamanho das gotas e está diretamente proporcional à intensidade da chuva (MARIOTI, 2012).

Para fins de controle de erosão, nos últimos 10 a 15 anos, em algumas regiões do Brasil, tem-se adotado a semeadura direta como um sistema de manejo (DENARDIN *et al.*, 2005), porém não adotar outras práticas complementares como o cultivo em contorno e terraços quando necessários como ferramentas de suporte tem levado ao insucesso do sistema.

Atividades humanas que são exercidas com fins econômicos influenciam de forma direta no processo de infiltração de água no solo e quanto menor processo agressivo sofrer o solo, deixando-o mais próximo de suas condições naturais, maiores serão as taxas de infiltração apresentadas (SILVA I., 2012).

### 2.3.2 Escoamento superficial

Pruski *et al.*, (2011) define o escoamento superficial como o deslocamento das águas sobre a superfície do solo. Inicia-se quando a taxa de infiltração de água de um solo, e posteriormente ao acúmulo de água na superfície do solo, desde que, ultrapassada a capacidade de acúmulo de água na superfície.

É necessário compreender que anteriormente ao armazenamento e retenção de água pelo solo é necessário que a água chegue até o mesmo, evento conhecido como infiltração, portanto para que ocorra potencialização de tais fenômenos no solo, a infiltração (movimento

descendente de água no solo atravessando a superfície) deve ser em quantidade adequada (KLEIN; KLEIN, 2015).

Escoamento superficial estuda o movimento das águas na superfície da terra, considerando a menor porção da chuva que cai sobre um solo saturado de umidade ou impermeável que escoar pela superfície causando enxurradas. O escoamento superficial começa após o início da precipitação depois de um tempo ( $T_0$ ).

Villela e Mattos (1975) já enfatizavam que a capacidade de infiltração de água só é atingida, durante uma chuva, se a intensidade desta ultrapassar a taxa máxima de infiltração de água no solo, pois, caso contrário, a taxa instantânea de infiltração não é máxima e não atingirá o valor correspondente à capacidade de infiltração.

A maior perda de água na forma de enxurrada em chuvas de maior intensidade pode ser explicada pelo fato de que chuvas intensas produzem grande volume de água em curto espaço de tempo, no qual a taxa de infiltração de água no solo é excedida, particularmente quando tais chuvas incidem sobre o solo já úmido (BERTOL *et al.*, 2007).

Em trabalho realizado para avaliar perdas de solo e água associadas a diferentes métodos de preparo do solo, Cogo, Levien, Schwarz (2003), consideraram que a cobertura do solo proporcionada pelos resíduos culturais deixados na superfície tem ação efetiva e direta na redução da erosão hídrica, em virtude de que a energia cinética das gotas de chuva se dissipa, a qual diminui a desagregação das partículas de solo e o selamento superficial, com isso aumenta a infiltração de água e ainda atua na redução da velocidade do escoamento superficial e, conseqüentemente, na capacidade erosiva da enxurrada.

Prática importante no controle do escoamento superficial é a adoção do plantio em contorno, simples de ser executada, tem custo baixo e geralmente fácil de ser implantada. Essa prática deve ser adotada complementar à adoção de rotação de culturas e o terraceamento (MARIOTI, 2012).

Pesquisadores têm utilizado simuladores de chuva em estudos de diversas magnitudes como, por exemplo, perdas de solo, água e nutrientes, formação do encrostamento, infiltração de água e lixiviação de compostos ou metais em solos. Sua principal vantagem é a utilização em qualquer época, o controle das características da chuva, além do tempo de uso, tempo de duração da chuva e intensidade, o que não é possível em condições de chuvas naturais (JÚNIOR *et al.*, 2013).

É preciso adotar sistemas de manejo que possibilitem a manutenção de maior volume de água disponível para as culturas e que contribuam para a diminuição do estresse hídrico (CAMARA, 2004).

### 2.3.3 Efeitos do manejo sobre as perdas de água e solo por erosão hídrica

Quando o solo é bem manejado mais agregado ele é, e maior será a porosidade total e a porosidade de aeração do sistema e menor será a densidade e a resistência do solo à penetração. As propriedades de agregação do solo, responsáveis pela porosidade, que favorece a infiltração de água, a aeração e a penetração de raízes, também está relacionada à MO que, mesmo sendo importante para um bom cultivo, tem sido reduzida de forma gradativa no solo, principalmente porque o seu teor no solo é resultado do equilíbrio entre permanência de resíduos orgânicos e perdas por decomposição (CRUZ *et al.*, 2002).

Klein (2008) afirma que a porosidade do solo é um parâmetro que reflete a qualidade estrutural do solo, e conseqüentemente, do ambiente radicular. É imprescindível que no espaço poroso do solo exista uma proporção mínima de poros livres de água de 10%, para evitar deficiência na aeração do sistema radicular das plantas.

Para melhorar a estrutura do solo, o SPD tem se mostrado promissor, pois aumenta a infiltração e retenção de água (FRANCHINI *et al.*, 2009).

O SPD foi adotado em mais de 75% da área agrícola da região de clima subtropical úmido do Brasil, da qual 40%, aproximadamente, denotam presença de erosão hídrica em conseqüência do abandono de práticas conservacionistas de manejo de enxurrada, assim é necessário adotar práticas que minimizem o processo erosivo dos solos (DENARDIN, 2005).

A erosão é o efeito de uma série de agressões e de erros nas atividades agrícolas. É uma das muitas conseqüências da degradação do solo (NOLLA, 1982).

A avaliação do estado de conservação do solo possibilitando a gestão segura dos recursos naturais; (STEFANOSKI *et al.*, 2013). A má utilização dos recursos naturais conduz à destruição do meio ambiente, focando na área do uso e ocupação do solo, essa má utilização pode muitas vezes acelerar os processos erosivos, ocasionando a degradação do mesmo (PEREIRA, 2010).

O manejo tem influência direta na conservação dos recursos, Santos e Pereira (2013) evidenciam que a textura e a estrutura são propriedades determinantes na movimentação de água no perfil do solo, uma vez que determinam a quantidade e disposição dos poros. O relevo também pode influenciar esta dinâmica, uma vez que áreas planas tendem a absorver a maior parte da água, e áreas inclinadas tendem a propiciar maior escoamento e baixas taxas de infiltração. A presença de restos culturais, cobertura vegetal é fundamental no processo de

percepção da precipitação, evitando o processo de escoamento, pois o manejo do solo também tem forte influência na infiltração (KLEIN; KLEIN, 2014).

Denardin *et al.*, (2008) já explicava que o SPD era complexo de preceitos da agricultura conservacionista destinado à exploração de sistemas agrícolas produtivos, que compreende a mobilização de solo apenas na linha ou cova de semeadura ou plantio, a manutenção de resíduos culturais na superfície do solo, diversificação de espécies via rotação, sucessão e consorciação de culturas, redução ou supressão do intervalo de tempo entre a colheita e a semeadura subsequente, aporte de material orgânico ao solo em quantidade, qualidade e frequência compatíveis com a demanda biológica do solo.

É esperado que os sistemas conservacionistas quando adotados, resultem em menores quantidades totais perdidas de MO e nutrientes (SCHWARZ, 1997).

O sistema de semeadura direta envolve necessariamente, rotação de culturas, mobilização apenas na linha de semeadura e cobertura permanente do solo (CASSOL *et al.*, 2007).

Algumas lavouras são cultivadas em continuidade com as mesmas espécies, como acontece em áreas irrigadas por pivô central, o que podem ocasionar, com o passar dos anos, queda na produtividade, cujo fato ocorre porque se alteram as características do solo e as condições do ambiente se tornam propícias à multiplicação de pragas e doenças. A prática de rotação de culturas atenua esses problemas. O ideal é a inclusão de espécies com sistema radicular vigoroso e pelos aportes diferenciados de matéria seca, podem alterar as propriedades físicas e químicas do solo. A intensidade da alteração depende do período de cultivo, do número de cultivos por ano e das espécies cultivadas, além das demais práticas utilizadas nas lavouras (SILVEIRA, 2003).

Para o controle da erosão, uma das medidas mais importantes é a cobertura do solo, com vegetação viva ou seus resíduos, de forma a impedir o impacto direto das gotas de chuva sobre as partículas do solo. O controle da erosão significa a manutenção e a possibilidade de melhoria das condições de fertilidade do solo, com repercussão em melhores produções agrícolas. Por isso a importância do uso de sistemas de cultivo que priorizem a cobertura do solo e o seu mínimo revolvimento, como é o caso do SPD (STRECK *et al.*, 2000).

A cobertura de solo, com plantas vivas ou com resíduos de plantas, possui potencial para reduzir em até 100% a energia erosiva das gotas de chuva, contudo, não apresenta essa mesma eficácia para dissipar a energia erosiva da enxurrada que flui na superfície do solo Segundo Denardin (2005) o uso inadequado do SPD, com a rotação apenas da soja e do milho não é ideal, pois o solo acaba dividido em duas partes a superficial com nutrientes e materiais

orgânicos e o subsuperficial compactado, que não retém e nem disponibiliza água para a planta. Essa cobertura tem ação direta e efetiva na redução da erosão hídrica, em virtude da dissipação de energia cinética das gotas da chuva, a qual diminui a desagregação das partículas de solo e o selamento superficial e aumenta a infiltração de água (COGO *et al.*, 2003).

Para se manter um solo agrícola bem estruturado é preciso fazer o manejo de forma adequada, utilizando as práticas conservacionistas como plantio direto, terraceamento, bacias de retenção, rotação de culturas, cobertura morta, análise de fertilidade do solo, plantio em nível, entre outras práticas (CAPECHE, 2008).

Portanto há que ter cuidado com a adoção do manejo semeadura direta sem outras práticas auxiliares, pois o manejo apenas não assegura condição suficiente para disciplinar os fluxos de energia e de matéria e conseqüentemente não conferem ao sistema total proteção do solo contra a erosão (MARIOTI, 2012). E lavouras em terrenos inclinados sem outras práticas adicionais podem proporcionar elevadas perdas de solo e água na forma de enxurrada (COGO *et al.*, 1996).

Dalmago *et al.*, (2009) observaram que a retenção de água em solo do tipo Argissolo Vermelho sob sistema de plantio direto é maior do que no preparo convencional, especialmente nas camadas superficiais, bem como a disponibilidade de água às plantas.

Lisboa *et al.*, (2012) afirma que os sistemas de culturas podem influenciar o solo no que se refere à disponibilidade de nutrientes, profundidade de exploração radicular, quantidade e qualidade dos resíduos vegetais aportados. Além do teor da MO como indicador de qualidade do solo, os indicadores microbianos merecem especial atenção (LISBOA *et al.*, 2012).

O aumento na porcentagem de cobertura de solo é proporcional ao aumento na quantidade de massa de resíduos sólidos. As perdas de água também são reduzidas pela cobertura do solo, devido à redução da energia das gotas da chuva (COGO *et al.*, 1981).

Mais recentemente foram elaborados estudos de sistemas de rotação de culturas mesmo que de curta duração, onde avalia o efeito dos atributos físicos do solo e na produtividade de algumas culturas. Há trabalhos realizados na cultura de trigo que indica que a produção do grão foi maior quando usou-se rotação de culturas do que sob monocultura (GENRO JUNIOR *et al.*, 2009, Santos *et al.*, 2006).

A rotação de culturas também influencia de forma positiva no controle de danos causados por pragas, conforme afirma Silva (1996). Em estudo específico realizado, a rotação de culturas com milho e soja propiciou a diminuição da infestação e dos danos às plantas de



soja, enquanto que o monocultivo de soja aumenta a infestação e os danos causados, nesse estudo em específico pelo tamanduá-da-soja, refletindo diretamente na produtividade.

A cobertura vegetal tem papel fundamental para o solo e apresenta benefícios de ordem físico-química e biológica, protege o solo contra erosão e melhora a reciclagem de nutrientes, Prado *et al.*, (2002), e Alvarenga *et al.*, (2001) sustentam que a quantidade de 6 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos pode ser considerada adequada para uma boa cobertura do solo.

Bayer *et al.*, (2000) ao estudar diferentes sistemas de cultivo perceberam que uma sucessão, envolvendo gramíneas e leguminosas, favoreceu o aumento de MO e nitrogênio ao solo e o acúmulo de fitomassa na superfície e deve-se atentar para a qualidade das plantas de cobertura que precisa trazer benefícios ao sistema. A adoção de um sistema agrícola economicamente mais sustentável deverá modificar profundamente as condições em que as plantas passarão a ser cultivadas (FIORIN, 2007).

A rotação de culturas é uma das premissas essenciais para a qualidade do SPD e o seu uso é recomendado por aumentar a estabilidade dos agregados do solo, além de fixar nitrogênio atmosférico quando é cultivada uma leguminosa ou de disponibilizar mais carbono ao solo quando é cultivada uma gramínea (VENZKE FILHO *et al.*, 2008).

#### 2.3.4 Consequências das perdas por erosão no sistema de produção

A preocupação com o combate à erosão do solo no Brasil iniciou-se na década de 30, como resultado do esforço conjunto de pessoas e instituições de várias partes do país. O Instituto Agrônomo, localizado em Campinas, no estado de São Paulo, é a instituição brasileira com maior tradição e experiência em pesquisa nessa área. Desde 1943 realiza estudos em erosão do solo de forma contínua, sempre alertando sobre a necessidade de utilização dos manejos conservacionistas (TELLES, 2010).

Segundo Denardin *et al.*, (2008c) e Streck *et al.*, (2014), no Rio Grande do Sul, a erosão do solo sob plantio direto é frequente e pode comprometer a estabilidade da produção agrícola. Para estes autores, este problema decorre, além do abandono das técnicas de conservação do solo, como o plantio em contorno, construção e manutenção de terraços, rotação de culturas, manutenção permanente da cobertura do solo, da degradação física do solo nestas áreas. A redução parcialmente da erosão com o uso do SPD, porém, tem induzido, erroneamente, os produtores a eliminarem, das áreas de cultivo, os terraços e outras práticas conservacionistas de suporte, como a semeadura em contorno (DE MARIA, 1999; COGO *et al.*, 2007; DENARDIN *et al.*, 2008). Atualmente estima-se que apenas 3% da área cultivada

no RS possui terraços (STRECK, 2014). A sua retirada, talvez tenha sido muito mais pela facilidade ao trabalho do que por outros motivos.

Tal procedimento baseia-se na idéia de que, com o SPD, a erosão e o escoamento superficial serão totalmente controlados nas lavouras agrícolas, dispensando qualquer outra prática adicional (COGO *et al.*, 2007).

O descaso com práticas mecânicas para manejo de enxurrada tem propiciado ocorrência de erosão hídrica, com arraste de nutrientes, fertilizantes e corretivos pela enxurrada, perdas econômicas e poluição ambiental. Os sedimentos gerados pela erosão hídrica em lavouras manejadas sob SPD são quimicamente enriquecidos por nutrientes e MO demonstrando, nitidamente, que na água e no solo perdidos por erosão há adubos e calcário que foram aplicados na lavoura (DENARDIN; FAGANELLO; SANTI, 2010).

O solo quando em processo erosivo demanda cada vez mais uso de corretivos e fertilizantes, reduzem o rendimento operacional das máquinas gerando gastos com as práticas para seu controle e as perdas de solo por erosão tendem a aumentar, no médio e longo prazo e conseqüentemente os custos de produção (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008)

Os efeitos erosivos têm conseqüências econômicas relevantes para os produtores e para a sociedade. O custo da erosão não depende apenas da quantidade física de terra perdida, mas dos efeitos econômicos dessas perdas. O processo de erosão não gera, somente, perdas físicas, químicas e biológicas, mas também, financeiras. De certa forma, os dados físicos dão a grandeza qualitativa do processo erosivo, mas não são suficientes para indicar as medidas econômicas de seus impactos (TELLES; GUIMARÃES; DECHEN, 2010).

Adotar práticas conservacionistas auxiliam na redução, a médio e longo prazo, dos custos da erosão do solo, sendo de interesse público e privado, a manutenção da sustentabilidade da atividade agrícola.

Os impactos da erosão se iniciam com a alteração de características físicas, químicas e biológicas do solo, reduzindo sua produtividade potencial e o produtor na tentativa de solucionar o problema investe em tecnologias seja por meio de práticas de manejo ou aplicação de nutrientes e tudo isso vai ampliar os custos de produção (CROSSON, 1997).

As perdas por erosão hídrica, o impacto ambiental causado por ela e os prejuízos econômicos, nem sempre são medidos de forma precisa.

No Paraná a erosão hídrica do solo constitui-se no principal problema relativo a recursos naturais e, apesar de todo o esforço já realizado para controlá-la, ainda alcança proporções alarmantes. Pesquisas realizadas evidenciaram que 15 a 20 t/ha de solo eram perdidos, por ano, em áreas intensivamente mecanizadas (PARANÁ, 1989). Derpsch *et al.*,

(1990) afirmaram que o valor dos principais nutrientes perdidos por erosão era de 121 milhões de dólares por ano somente no Estado do Paraná. Há várias consequências internas e externas às propriedades agrícolas e um dos impactos diretos da aceleração dos processos erosivos é o aumento da produção de sedimentos.

O Instituto Agronômico de Campinas (IAC) apontam que, no Brasil, a razão principal do processo de erosão do solo em lavouras geram custos da ordem de US\$ 1,3 bilhão ao ano e perdas que chegam a 616,5 milhões de toneladas de solo ao ano (2015).

Dessa forma, pode-se concluir que os sedimentos produzidos pelo processo erosivo e transportados pelo escoamento superficial acabam afetando o uso, a conservação e a gestão dos recursos hídricos (TUCCI, 1993). Pruski (1997), também afirmou que a erosão causa problemas à qualidade e disponibilidade de água, decorrentes da poluição e do assoreamento dos mananciais, favorecendo a ocorrência de enchentes no período chuvoso e aumentando a escassez de água no período de estiagem.

A conservação do solo quando adotada de forma correta, ao longo do tempo, se torna economicamente vantajosa para o solo, conseqüentemente para o produtor e para o meio ambiente. Portanto, alguns produtores apresentam resistência em adotar determinadas práticas (TELLES, 2010) e muitos estudos tem sido realizados nessa área na tentativa de alertar o produtor para mudança de postura.

O emprego de práticas não sustentáveis pode causar a degradação de sua qualidade física, química e biológica, diminuindo a qualidade do solo (COSTA *et al.*, 2003; NUNES, 2003), o que muitas vezes é de difícil reversão.

### 2.3.5 Manejo e conservação dos recursos naturais: desafios atuais

No que se refere à utilização agrícola do solo, no Brasil, lamentavelmente, são poucos os produtores rurais que aplicam, em sua plenitude, os fundamentos apreçados pela Conservação do Solo ou que implementam integralmente o complexo de tecnologias preconizadas pela Agricultura Conservacionista.

Quando se predominava o preparo convencional do solo, a preocupação conservacionista resumia-se à prevenção da erosão provocada pela enxurrada, adotando-se, isoladamente e em larga escala, o terraceamento agrícola e muitos foram construídos. Portanto com a adoção do Plantio Direto essa prática foi aos poucos sendo abandonada pelos agricultores (LONDERO, 2015).

Muitos são os desafios para o controle erosivo dos solos e há necessidade urgente de adotar práticas sustentáveis e que apresentem resultados positivos. Na tentativa de reverter o mau uso do solo, o IAPAR que nas décadas de 1980 a 1990, foi referência mundial por apresentar modelos de conservação de solos e por adotar práticas para o manejo conservacionista, em 2010, recomendou por nota técnica a manutenção do terraceamento em SPD, visto que atualmente a erosão tem sido um problema constante no estado. No entanto, a ocorrência de chuvas intensas e erosivas nos últimos anos expôs novamente a agricultura paranaense a perdas de solo incompatíveis com a produção sustentável.

O processo erosivo promove o assoreamento dos corpos d'água e pode contaminar em larga escala os recursos hídricos. Estudos são constatemente realizados sobre a aplicação de sistemas de manejo alternativos que apontam soluções para minimizar o problema da erosão, indicando sistemas que conciliem a preservação dos recursos naturais e a produção agrícola sustentável em longo prazo (AYER *et al.*, 2015).

A deposição de sedimento no fundo dos rios e lagos provoca uma diminuição da área para escoamento da água, causando alagamentos e redução da oferta de água à jusante dos pontos de assoreamento dos rios. O combate à erosão promove o controle do assoreamento e em conjunto com as demais políticas de manejo sustentável, reduz as enchentes às várzeas, que são domínios dos rios (ZULAUF, 2000).

Com a adoção em larga escala do “Plantio Direto”, embora as preocupações conservacionistas tenham sido ampliada, mediante ações de prevenção da erosão causada pelo impacto da gota de chuva sobre o solo, de ampliação da biodiversidade, de controle do tráfego de máquinas, de racionalização do uso de agroquímicos, é evidente o descomprometimento e preocupação para com a erosão provocada pela enxurrada que continua a fluir em algumas áreas de lavoura para os sistemas do entorno, transportando solo, material orgânico, agroquímicos, e, conseqüentemente, promovendo relevantes perdas econômicas, poluição e degradação ambiental (DENARDIN; FAGANELLO; SANTI, 2010). As enxurradas podem causar também a poluição dos mananciais por agroquímicos.

Barroso e Silva (1992) acrescentam que a erosão, além de causar a redução na capacidade de armazenamento de água pelos reservatórios, causa, ainda, aumento no custo do tratamento de água, o desequilíbrio do balanço de oxigênio, o comprometimento do desenvolvimento de espécies aquáticas e a necessidade da construção de obras de combate a cheias.

Há que se atentar para o uso desenfreado dos agrotóxicos que são lançados sobre o solo e que nem sempre se tem o entendimento de que o passo seguinte é a lixiviação desses

para os rios e o mesmo ocorrendo com os fertilizantes químicos. Lixiviação refere-se ao movimento do produto químico com a água do solo ou aplicado ao solo, intimamente relacionado com o conteúdo de MO ou argila, solubilidade do herbicida e a quantidade de água que se move através do perfil do solo; em geral, há maior lixiviação quando os compostos têm maior solubilidade em água (GUIMARÃES, 1987).

Ainda presenciamos o desrespeito à preservação dos ecossistemas sensíveis (margens de mananciais hídricos e de nascentes, terrenos declivosos, solos rasos e de textura arenosa). Adicionado à isso, ainda é notável, que em extensas áreas, o aporte de material orgânico ao solo em quantidade, qualidade e frequência aquém da demanda biológica do solo para a manutenção de sua fertilidade (DENARDIN; FAGANELLO; SANTI, 2010).

O transporte de corretivos, fertilizantes, partículas de solo e material orgânico pode implicar em poluição de mananciais de superfície, redução do tempo de concentração de bacias hidrográficas, redução do volume de água armazenada no solo e redução da recarga de aquíferos subterrâneos (SCHICK *et al.*, 2000; DALLA COSTA, 2004).

Em estudos realizados por Denardin *et al.*, (2008) constatou-se que em lavouras sob SPD, a erosão hídrica promove arraste de corretivos, fertilizantes e MO, presentes na camada superficial do solo, gerando sedimento enriquecido, que além de representar prejuízo econômico ao sistema agrícola produtivo, pode constituir fator de poluição. Concluindo que em lavouras sob SPD, a erosão hídrica gera sedimentos quimicamente enriquecidos o que compromete o meio ambiente, dessa forma é necessário criar medidas para minimizar os efeitos erosivos no solo.

Gassen e Gassen (1996) enfatizam que a recuperação da qualidade da água é uma das principais preocupações dos governos, decorrente da demanda da própria sociedade. O manejo sustentado do solo é uma questão estratégica do ponto de vista ambiental e econômico (ZONTA *et al.*, 2012).

O assoreamento dos corpos d'água é uma das conseqüências mais evidentes do processo erosivo, destaca Cruz (2006a).

O cultivo em contorno ou em curva de nível é uma prática indispensável para o controle da erosão, porém, só deve ser utilizada como prática isolada de controle da erosão em terrenos com declividade de até 3%. Outra prática que poderá ser adotada é a cobertura morta com palha ou resíduos vegetais, protege o solo contra o impacto direto das gotas de chuva, diminuindo o escoamento superficial (ZONTA *et al.*, 2012)

Raij *et al.*, (1993) observaram que a cobertura morta controlou, em média, 53% das perdas de solo e 57% das perdas de água. O processo de desagregação das partículas, e o

transporte de solo pela enxurrada foi evitado pela colocação da cobertura morta sob o solo (LIMA *et al.*, 2015). Outra alternativa é a alternância de culturas, denominada de rotação de culturas, esta prática traz melhor aproveitamento da fertilidade do solo pelo aprofundamento diferenciado das raízes (ZONTA *et al.*, 2012)

Portanto, segundo Streck (2014), a baixa produção de resíduos culturais, aliada a semeadura no sentido do declive, facilita o transporte do solo mobilizado pelas hastes sulcadoras das semeadoras, dos fertilizantes aplicados na linha de semeadura e dos resíduos culturais depositados entre as linhas, acentuando ainda mais estas perdas.

No Rio Grande do Sul, além de um SPD mal conduzido, grande parte dos solos cultivados está adensado, principalmente, devido a baixa produção de resíduos culturais, causando degradação da estrutura, redução na infiltração de água no solo (STRECK, 2014).

A água que não infiltra no solo por causa da erosão nas lavouras e nas estradas vai depositando sedimentos morro abaixo e assoreando rios, arrastando agroquímicos e contaminando os mananciais hídricos. É preciso conservar o solo e usá-lo de tal forma que as taxas de erosão não sejam superiores à taxa de formação do solo (STRECK, 2015). Os problemas atuais de degradação do solo decorrentes da negligência à adoção de práticas conservacionistas tem sido motivos de discussões, especialmente nos anos de variação de índice pluviométrico, isso porque em anos mais chuvosos as áreas agrícolas expressam a incapacidade de amortizar o excesso de chuva ou armazenar água no perfil do solo em anos de estiagem (LONDERO, 2015).

O SPD está alicerçado na cobertura do solo pelos resíduos culturais, protegendo a superfície do solo contra o impacto das gotas da chuva minimizando a erosão do solo e aumentando a infiltração de água no solo (FIORIN, 2007). A sustentabilidade deste sistema está ligada a esta mesma cobertura, que catalisa e sustenta toda a continuidade do sistema (RUEDELL, 1998).

Em virtude do aumento das áreas de lavoura em processo de degradação mesmo em áreas com adoção do SPD, o governo do Estado do Rio Grande do Sul lançou em 2015 o Programa Estadual de Conservação de Solo e Água “Conservar para Produzir Melhor”, que tem como objetivo desenvolver políticas de manejo e boas práticas de conservação junto aos agricultores, na tentativa de evitar o processo acentuado de erosão do solo e garantir a infiltração e as reservas de água em áreas degradadas. As ações do programa prevê uma redução da taxa de erosão média dos solos no Rio Grande do Sul de 8 para 5 toneladas por hectare ao ano em 20 anos; fornecer estrutura técnica às regiões funcionais que serão estabelecidas em 2016; implementar, até 2021, o Pagamento de Serviços Ambientais (PSA)

aos produtores que adotarem boas práticas conservacionistas; baixar as perdas de produção agropecuária devido à escassez hídrica em 20% até 2020, por meio da armazenagem de água no solo e construção de pequenas barragens e açudes para irrigação (STRECK, 2015).

O Programa prevê ainda incentivo à diminuição do uso de inseticidas e herbicidas na agricultura, além de aumentar a área plantada de milho atualmente, a cultura ocupa apenas 15% do total das terras agriculturáveis do Estado. A cultura em questão tem papel importante no processo de descompactação do solo e na rotação de culturas, prática importante na conservação do solo que tem sido abandonada por parte dos agricultores em favor do plantio contínuo da soja, segundo Streck (2015).

O Programa Estadual de Conservação de Solo e Água é coordenado pela Secretaria da Agricultura, Pecuária e Irrigação, em parceria com as secretarias de Desenvolvimento Rural, Pesca e Cooperativismo, Ambiente e Desenvolvimento Sustentável e Educação e tem o apoio de Instituições financeiras, de pesquisa e de ensino auxiliando na operacionalização das ações propostas.

Uma das ações propostas no Programa Concurso “Agricultor Conservacionista do Solo e Produtor de Água do Estado do Rio Grande do Sul” para estimular e valorizar a produção agropecuária gaúcha, premiando tanto os agricultores que mais se destacarem na adoção das práticas e na execução de serviços de conservação do solo e de água em seus estabelecimentos rurais quanto seus assistentes técnicos, premiando três agricultores e seus assistentes técnicos selecionados dentre os 36 (trinta e seis) estabelecimentos rurais selecionados nas áreas de abrangência dos escritórios regionais da Emater.

Outra causa da compactação do solo é o tráfego frequente de maquinários pesados dentro da lavoura e principalmente em dias de umidade do solo. Eliminar o tráfego é impossível, mas controlar o tráfego é uma prática que já é conhecida de alguns produtores. O conceito do sistema de tráfego controlado é descrito por Chamen *et al.*, (2003), sendo fundamentado no confinamento das linhas de tráfego de máquinas e equipamentos dentro da lavoura em locais específicos, restringindo assim a compactação em locais permanentes, mantendo a maior área possível isenta de tráfego dentro da área (GIRARDELLO *et al.*, 2014).

O peso das máquinas quando é transferido para o solo modifica a sua estrutura física, o fluxo de gases, participação da água e altera a dinâmica de absorção de nutrientes, reduzindo o desenvolvimento do sistema radicular da cultura e afetando negativamente a produtividade, especialmente em anos com déficit hídrico (GIRARDELLO *et al.*, 2014). O tráfego controlado é um método comprovado para melhoria da produção de culturas e

automaticamente ajuda a prevenir a ocorrência futura de compactação subsuperficial do solo (GOEHL, 2015).

O tráfego controlado, quer pela redução no número de operações mecanizadas durante o ciclo da cultura, quer pela fixação de linhas permanentes de tráfego ao reduzir a casualização do tráfego, constitui alternativa que pode contribuir para minimizar a compactação nas áreas agrícolas, além dos benefícios relacionados com o solo, o menor gasto de combustível e a menor necessidade de trabalho das máquinas são outros fatores favorecidos pelo tráfego controlado (REICHERT *et al.*, 2007).

Outra prática adotada no tráfego controlado implantado por alguns produtores tem sido o sentido de tráfego do pulverizador, que na cultura da soja passou a ser feito no mesmo sentido da semeadura e isto evita o amassamento de plantas de soja pela roda e há uma coincidência do local do tráfego do pulverizador com do conjunto trator-semeadora, restringindo o espaço de locomoção do maquinário (GIRARDELLO *et al.*, 2014).

Para minimizar a ocorrência de compactação do solo nas lavouras conduzidas sob plantio direto contínuo, o sistema de tráfego controlado é uma alternativa moderna. Esta ausência de tráfego vai permitir que as culturas se desenvolvam em solo isentos de compactação, de problemas gerado pelo amassamento dos pneus, influenciando de forma positiva o desenvolvimento e a produtividade final das culturas (GIRARDELLO, 2014).

Quando a compactação do solo começa a limitar o crescimento e desenvolvimento das culturas, tornam-se necessárias medidas recuperadoras com o objetivo de romper a camada compactada (PEDROTTI; DIAS JUNIOR, 1996).

Porém, a restauração das condições físicas iniciais do solo, se possível, é de alto custo e consome muito tempo, sendo necessário uma avaliação criteriosa da estrutura do solo e a melhor prática a ser implantada (REICHERT *et al.*, 2007).

Manter a produtividade do solo é fundamental para a sustentabilidade dos agroecossistemas. É preciso planejar as atividades a fim de prevenir os impactos negativos no solo, pois é melhor do que corrigi-los, tendo em vista que a correção requer custo elevado e pode não ser efetiva. Portanto, conhecer o tipo de solo avaliar as suas condições são fundamentais para o planejamento das atividades a serem realizadas na área, desde a implantação até à colheita das culturas (REICHERT *et al.*, 2007).

A compactação pode reduzir a taxa de infiltração e provocar aumento do escoamento superficial, contribuindo para a poluição da água superficial (REICHERT *et al.*, 2007). O escoamento superficial, sedimentos, pesticidas, erosão, destruição da paisagem e degradação física, química e biológica são os principais meios pelos quais a compactação do solo pode



afetar os quatro componentes ambientais como a atmosfera, água superficial, água subsuperficial e recursos do solo (SOANE; OUWERKERK, 1994).

Reichert *et al.*, 2007, confirma que a quantidade de palha sobre a superfície do solo afeta a dissipação da energia de compactação. A manutenção da cobertura viva do solo, portanto, pode ser considerada uma importante técnica para se reduzir e, até mesmo, anular a ocorrência do processo erosivo, e deve estar contemplada em qualquer conjunto de práticas conservacionistas.

O SPD é uma técnica diretamente relacionada à Conservação do Solo e da Agricultura Conservacionista capaz de caracterizar sustentabilidade à agricultura.

### **3 METODOLOGIA**

#### **3.1 Aspectos gerais**

O trabalho foi realizado no ano agrícola 2017, em áreas de lavouras conduzidas sob SPD na região centro-norte do Estado do Rio Grande do Sul. Os solos predominantes na região, são classificados como Latossolos Vermelho distrófico típico (EMBRAPA, 2013), profundos, bem drenados, de coloração avermelhada com textura superficial argilosa a muito argilosa, desenvolvido a partir de rochas eruptivas básicas (BRASIL, 1973).

O clima segundo a classificação climática de Köppen (MORENO, 1961) é subtropical úmido, tipo Cfa 2a. O mês mais quente do ano é janeiro, com a máxima normal de 30°C e em julho ocorre o maior frio, com a mínima normal de 8,6°C (MORENO, 1961). A precipitação média anual é de 1.793 mm (média do período de 1985 a 2017 – dados da Estação meteorológica de superfície automática do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET instalada na área da FUNDACEP, CCGL Tecnologia - CCGL TEC, com chuvas distribuídas uniformemente durante o ano, mas com ocorrência de períodos de estiagem em determinados anos (Apêndice A).

#### **3.2 Caracterização das áreas de lavouras sob Sistema Plantio Direto**

Além do interesse dos produtores no desenvolvimento do trabalho, foram selecionadas propriedades que apresentam tempo de implantação do SPD superior à quinze anos, com histórico de manejo do solo e culturas acima da média da região, sendo consideradas de boa qualidade em relação às práticas de manejo conservacionista.

Essas áreas de lavouras estão sendo cultivadas com culturas de grãos como milho e soja no verão e no inverno, trigo, cevada com predominância de culturas de cobertura de inverno e de entressafras. A caracterização das áreas das propriedades selecionadas, histórico de uso e os sistemas de cultivos utilizados no SPD nos últimos cinco anos estão apresentados na Tabela 1. Os resultados da caracterização química e análise granulométrica nas camadas de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm das áreas encontram-se no Apêndice B, com apresentação de todas as propriedades.

**TABELA 1. CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DAS PROPRIEDADES SELECIONADAS, HISTÓRICO DE USO E OS SISTEMAS DE CULTIVOS UTILIZADOS NOS ÚLTIMOS CINCO ANOS. CCGL/UNICRUZ. CRUZ ALTA, RS. 2017.**

Lav.	Município	Anos PD	Decliv. (%)	Resteva Manejo (2017)	MS Mg ha <sup>-1</sup>	2012/2013		2013/2014		2014/2015		2015/2016		2016/2017		2017
						Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno
1	Cruz Alta	30	1,5	Aveia dess.	9,24	Aveia + Nabo	Milho / Nabo	Trigo	Soja	Aveia + Nabo	Milho / Nabo	Trigo	Soja	Aveia	Soja	Aveia
2	Cruz Alta	30	2,0	Trigo colh.	9,36	Trigo	Soja	Aveia + Nabo	Milho / Nabo	Trigo	Soja	Aveia	Soja	Aveia + Nabo	Milho / Nabo	Trigo
3	Fortal. Valos	20	5,0	Aveia dess.	7,30	Aveia	Soja	Aveia + Nabo	Milho / Nabo	Trigo	Soja	Aveia + Nabo	Milho / Nabo	Trigo	Soja	Aveia
4	Fortal. Valos	20	4,0	Aveia colh.	4,96	Trigo	Soja	Aveia	Soja	Aveia + Nabo	Milho / Nabo	Trigo	Soja	Aveia	Soja	Aveia
5	XV Novembro	23	1,0	Aveia dess.	7,50	Trigo	Soja	Aveia	Soja	Aveia	Milho / Nabo	Trigo	Soja	Aveia	Soja	Aveia
6	XV Novembro	23	6,0	Trigo colh.	12,42	Aveia	Soja	Aveia	Milho / Nabo	Trigo	Soja	Aveia	Soja	Aveia	Milho / Nabo	Trigo
7	Colorado	15	4,0	Aveia rol.	11,78	Trigo	Soja	Nabo	Milho	Cevada	Soja	Trigo	Soja	Aveia	Milho	Aveia
8	Colorado	29	4,6	Aveia dess.	5,42	Nabo	Milho	Cevada	Soja	Trigo	Soja	Aveia	Soja	Trigo	Soja	Aveia
9	Colorado	29	6,1	Trigo colh.	8,26	Aveia	Soja	Cevada	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja	Nabo	Milho	Trigo
10	Stª Barbara	11	3,9	Aveia + Nabo+Az.	4,22	Nabo / Trigo	Soja / Sudão	Aveia + Nabo+Az	Soja / Sudão	Aveia + Nabo+Az	Milho / Sudão	Aveia + Nabo+Az	Soja / Sudão	Aveia + Nabo+Az	Soja / Sudão	Aveia + Nabo+Az
11	Stª Barbara	27	4,1	Aveia + Nabo+Az.	4,66	Aveia + Nabo+Az	Soja	Nabo / Trigo	Soja / Sudão	Aveia + Nabo+Az	Soja / Sudão	Aveia + Nabo+Az	Milho / Sudão	Aveia + Nabo+Az	Soja / Sudão	Aveia + Nabo+Az
12	Stº Augusto	21	3,2	Aveia dess.	2,76	Nabo / Trigo	Soja	Aveia	Soja	Aveia	Soja	Nabo / Trigo	Soja / Sudão	Aveia	Soja / Sudão	Aveia
13	Stº Augusto	21	4,8	Aveia dess.	3,38	Aveia	Milho / Nabo	Trigo	Soja	Aveia	Soja	Aveia	Soja	Aveia	Soja	Aveia
14	Cruz Alta	32	4,8	Trigo colh.	11,22	Aveia	Soja	Av+Er.	Milho / Nabo	Trigo	Soja	Aveia	Soja	Av+Er.	Milho / Nabo	Trigo
15	Cruz Alta	32	5,2	Aveia dess.	6,40	Av+Er.	Milho / Nabo	Trigo	Soja	Aveia	Soja	Av+Er.	Milho / Nabo	Trigo	Soja	Aveia
16	Cruz Alta	24	5,2	Aveia dess.	4,31	Trigo	Soja	Aveia	Milho / Nabo	Trigo	Soja	Trigo	Soja	Aveia	Milho	Aveia

Lav.: Lavoura; Decliv.: Declividade; MS: Massa Seca; dess.: Dessecada; colh.: Colhido; Av.: Aveia; Er.: Ervilhaca; Az.: Azevém;

### 3.3 Caracterização Física do Solo

Nas áreas de lavouras manejadas sobre PD foram retiradas amostras de solo visando a caracterização física. As análises físicas do solo tem como fim avaliar a densidade do solo (Ds), porosidade total (PT), macroporosidade, microporosidade, análise visual da estrutura e grau de compactação (GC) do solo estimado.

#### 3.3.1 Amostragem do Solo

A amostragem do solo para a caracterização física foi realizada em 3 pontos amostrais em cada área de lavoura, para repetição de campo por área, em três profundidades definidas com base na Análise Visual da Estrutura do Solo, conforme item 3.3.2, utilizando-se da abertura de uma trincheira de 35 cm de profundidade, perpendicular à linha de semeadura, totalizando 09 amostras por área.

No procedimento de amostragem foram utilizados os anéis volumétricos (Anel de Kopecky) de bordas biseladas e volume interno conhecido de aproximadamente 125 cm<sup>3</sup> (EMBRAPA, 1997; KLEIN 2008, EMBRAPA 2011).

A amostragem seguiu o seguinte procedimento:

1. Definido previamente o ponto de coleta, evitando pontos de manobra de máquinas agrícolas ou local anteriormente usado como estrada de acesso que poderá apresentar maior adensamento do solo;
2. Utilizou-se pá de corte para abertura das trincheiras;
3. A determinação da profundidade de amostragem foi feita com régua graduada de 60 cm de comprimento, para realizar confecção de patamar na profundidade desejada de coleta (Figura 2a);
4. Anotação do número de cada anel para relacionar com a área e profundidade de coleta;
5. O anel volumétrico foi posicionado verticalmente, sendo este inserido no solo com auxílio de marreta e extrator (Figura 2b);
6. O excesso de solo dos anéis foi retirado cuidadosamente, com auxílio de faca, até igualar com ambas as superfícies do anel (toalete).

As amostras foram acondicionadas em recipientes de plástico com tampa e armazenadas em caixas com estrutura de proteção para o transporte, evitando deformação e o ressecamento do solo. As amostras foram enviadas ao Laboratório de Pedologia e Física dos Solos da Universidade Federal da Fronteira Sul, *Campus* Cerro Largo, RS.

**FIGURA 2. AMOSTRAGEM DE SOLO: A) DETERMINAÇÃO DA PROFUNDIDADE DE AMOSTRAGEM; B) AMOSTRAGEM COM ANEL VOLUMÉTRICO.**



**Foto:** MELO; FERNANDES 2017.

**Fonte:** Laboratório de Pedologia e Física dos Solos da UFFS – *Campus* Cerro Largo. Elaborado pelo(a) autor(a).

### 3.3.2 Análise Visual da Estrutura e Definição da Camada Amostrada

A estrutura do solo está diretamente relacionada com a penetração das raízes, água disponível às plantas e porosidade do solo.

A utilização do método de Avaliação Visual da Estrutura do Solo (VESS – Visual Evaluation of Soil Structure), proposto inicialmente por Ball et al., (2007), se apresenta como forma de análise detalhada da estrutura do solo, bem como a delimitação de camadas modificadas pelo manejo do solo (GIAROLA et al., 2013). Este método busca definir a ocorrência de pontos de compactação, a dinâmica do sistema radicular das culturas através do perfil (engrossamento, achatamento ou agrupamento), porosidade do solo visível (bioporos e macroporos), tamanho e estabilidade dos agregados e presença de pontos com má drenagem (GUIMARÃES et al., 2011).

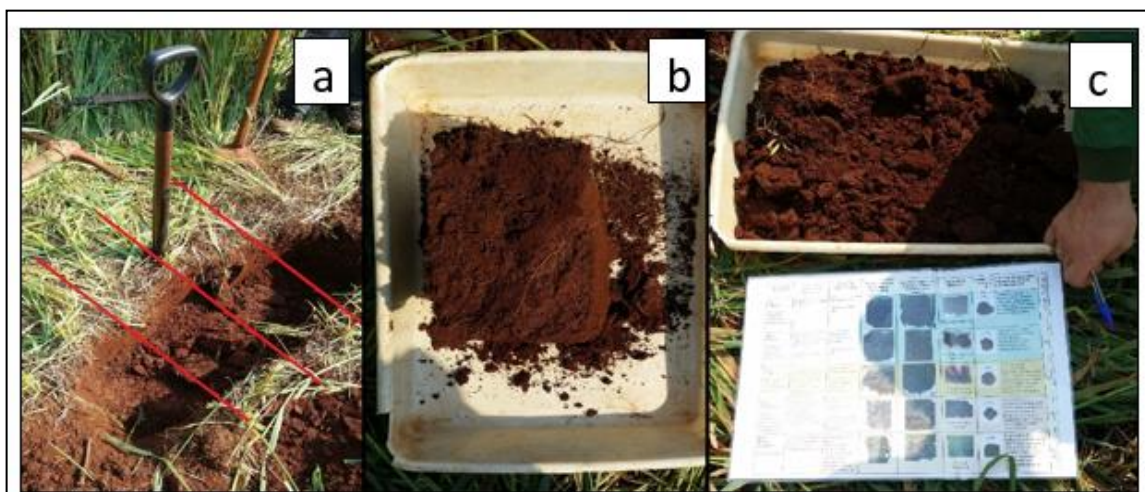
Esta abordagem mais flexível leva em conta a heterogeneidade das áreas agrícolas. Essa avaliação é rápida e baseia-se na aparência e tato de um bloco de solo que é retirado de uma área da lavoura com auxílio de uma pá. O método utilizado é a Avaliação Visual da Estrutura do Solo (VESS – Visual Evaluation of Soil Structure), proposto inicialmente por Ball *et al.*, (2007). A metodologia consiste na abertura de trincheiras, perpendiculares a linha de semeadura em área selecionada. As mini-trincheiras apresentam 30 cm de profundidade x 15cm de largura x 10 cm de espessura, onde é retirada uma fatia de solo. Com auxílio de pá de corte para extração de amostras indeformadas (blocos), da camada superficial do solo de cada área dispendo-o em uma bandeja plástica e após fotografada.

Posteriormente, a fatia de solo foi submetida a fragmentação dos seus agregados com uso das mãos, em pontos naturais de fratura, visando avaliar se há ou não adensamento do solo. A avaliação do crescimento e desenvolvimento radicular leva em conta impedimento físico que é a camada compactada ou estreitamento das raízes. O gradiente de cor leva em conta a presença de material orgânico com coloração mais escura na superfície, decorrente do SPD e/ou presença de zonas com má drenagem que apresentam coloração acinzentada.

A avaliação e interpretação leva em conta dados fornecidos por cartilha desenvolvida por Guimarães *et al.*, (2011).

Nas amostras coletadas, procedeu-se a avaliação da estrutura do solo verificando a aparência, resistência e as características das unidades estruturais dos blocos de solo conforme Figura 3.

**FIGURA 3. COLETA DE SOLO PARA APLICAÇÃO DE METODOLOGIA VESS (A) COLETA DE FATIA DO SOLO; B) AMOSTRA DO SOLO NA BANDEJA; C) APLICAÇÃO DE METODOLOGIA VESS, COM AUXÍLIO DE CARTILHA EXPLICATIVA.**



**Foto:** MELO, 2017.

**Fonte:** Laboratório de Pedologia e Física dos Solos da UFFS – *Campus* Cerro Largo. Elaborado pelo(a) autor(a).

Foram utilizados cinco qualidades visuais (Qe) para a classificação da qualidade: de Qe = 1 (melhor qualidade estrutural) a Qe = 5 (pior qualidade estrutural ou muito compactado) conforme quadro 1. (BALL *et al.*, 2007; GUIMARÃES *et al.*, 2011).

**QUADRO 1. AVALIAÇÃO VISUAL DA ESTRUTURA DO SOLO (VESS –VISUAL EVALUATION OF SOIL STRUCTURE).**

<b>Qualidade estrutural do solo</b>	<b>Tamanho e aparência dos agregados</b>	<b>Porosidade visível e raízes</b>
Qe1 - Friável	Maioria < 6 mm após a quebra	Alta porosidade; Raízes por todo solo.
Qe2 - Intacto	Uma mistura de agregado porosos e redondos entre 2 mm –7 cm; Sem presença de torrões.	Maioria dos agregados são porosos; Raízes por todo solo.
Qe3 – Firme	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; Porosidade e raízes: ambas dentro dos agregados.
Qe4 – Compacto	Maioria > 10 cm e são sub-angulares não porosos; possibilidade de horizontalização; menos que 30% são <7 cm.	Poucos macroporos e fissuras; Raízes agrupadas em macroporos e ao redor dos agregados.
Qs5 - Muito compacto	Maioria são maiores que > 10 cm, muito poucos < 7 cm, angular e não poroso.	Porosidade muito baixa. Macroporos podem estar presentes. Pode conter zonas anaeróbicas; Poucas raízes e restritas a fissuras.

**Fonte:** UTFPR, 2017 (adaptado).

O procedimento passa por destorrear a fatia do solo para gerar ruptura em pontos de fraturas naturais, não gerando compactação aos agregados e a metodologia objetiva avaliar a qualidade física de solos sob SPD atribuindo nota para cada amostra.

Com base na análise visual da estrutura do solo, as profundidades de amostragem para a caracterização física do solo foram definidas como 0 a 10 cm, 10 a 20 cm e 20 a 30 cm em todas as áreas de lavouras. Isso deve-se ao fator de que as propriedades selecionadas apresentaram boa qualidade em relação às práticas de manejo do plantio direto e, no entanto, tem semelhanças no arranjo da estrutura do solo e nas camadas de amostragem.

### 3.3.3 Análises Físicas do Solo

No laboratório, as amostras são transferidas para uma bandeja e realiza-se o toilet, que é a retirada do excesso de solo, de forma que o solo preencha apenas o volume do anel.

Posteriormente é preciso alocar a amostra em um recipiente com profundidade igual ou superior a altura do cilindro e adicionar água deionizada, vagarosamente, permitindo que os poros do solo sejam saturados por capilaridade, conforme figura 4.

**FIGURA 4. PROCESSO DE SATURAÇÃO DAS AMOSTRAS.**



**Fonte:** Laboratório de Pedologia e Física dos Solos da UFFS – *Campus Cerro Largo*.

Após a saturação, levar as amostras até uma mesa de tensão que utiliza o princípio da coluna de água, succionando a água presente no solo dos anéis, em período de 48h. A força de sucção é controlável, onde aplica-se tensão de 60 cm de coluna d'água, conforme figura 5.

**FIGURA 5. DETERMINAÇÃO EM MESA DE TENSÃO.**



**Fonte:** Laboratório de Pedologia e Física dos Solos da UFFS – *Campus Cerro Largo*.

Sendo esta tensão responsável por esvaziar a água presente nos macroporos (facilmente perdida). Depois do equilíbrio, retirar as amostras da mesa, pesá-las em balança de precisão para obtenção da massa de solo úmido (M<sub>su</sub>) e levá-las para estufa por 48h à



105°C. Após esse período, retira-se as amostras da estufa, colocando-as em um dessecador para resfriar e pesá-las para obtenção da massa constante de solo seco ( $M_{ss}$ ).

### 3.3.3.1 Densidade ( $D_s$ )

É a relação existente entre a massa de uma amostra de solo seca a 105 °C e a soma dos volumes de sólidos ocupados pelas partículas e pelos poros. Entretanto, havendo modificação do espaço poroso haverá alteração da  $D_s$ .

Para determinar densidade do solo, o de maior utilização e considerado padrão, é o método do anel volumétrico (MAV), o qual consiste na amostragem de solo com estrutura indeformada num anel (cilindro metálico) de volume conhecido (PIRES, 2011).

Conhecendo o peso da massa do solo seco do anel ( $M_{ss}$ ) e seu respectivo volume ( $V$ ), por meio da equação e obtém-se a densidade do solo ( $D_s$ ).

$$D_s = \frac{M_{ss}}{V}$$

Onde:

$D_s$ : densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ );  $M_{ss}$ : massa do solo seco (g) e  $V$ : volume do solo ( $\text{cm}^3$ ).

A densidade vai variar entre 1,1 a 1,6  $\text{g cm}^{-3}$  e quanto maior o valor da densidade do solo, maior é a compactação e restrição no crescimento do sistema radicular e desenvolvimento das raízes e das plantas (REINERT; REICHERT, 2006).

### 3.3.3.2 Densidade de partículas ( $D_p$ )

A densidade de partículas refere-se apenas à fração sólida de uma amostra de solo sem considerar a porosidade, é a relação existente entre a massa de uma amostra de solo seca a 105°C e a soma dos volumes ocupados pelas suas partículas e pelos poros, ou seja, quantas gramas (g) de solo contém em um centímetro cúbico ( $\text{cm}^3$ ), sem contabilizar água ou ar. Esse método permite quantificar a quantidade máxima de solo (material mineral e orgânico) possível de existir em um determinado volume.

Os componentes que predominam em solos minerais apresentam valores de  $D_p$  em torno de 2,65  $\text{g cm}^{-3}$  (REINERT; REICHERT, 2006).

Para determinar a densidade de partículas utilizou-se o Método do Balão Volumétrico (MBV) que consiste em determinar o volume de álcool necessário (como líquido penetrante) para completar a capacidade de um balão volumétrico, contendo solo seco em estufa (EMBRAPA, 2011).

O método do balão volumétrico consiste em inserir 20g de solo seco (a 105°C, por 48h), sob aspecto pulverizado (com auxílio de cadinho) e previamente peneirado em malha de 2 mm, em balão volumétrico aferido, de 50 ml. Esta operação é realizada vagarosamente, até a ausência de bolhas e completar o volume do balão (nível de 50 ml), deixa-se o balão em repouso por 24 horas. Se houver queda no nível do álcool, completa-se o volume com álcool, até o nível de 50 ml. Ao final, anota-se o volume do álcool gasto e aplica-se, a seguinte equação:

$D_p$  = densidade de partículas ( $\text{kg dm}^{-3}$ )

$a$  = massa de amostra seca a 105°C (kg)

$b$  = volume total de álcool gasto ( $\text{m}^{-3}$ )

$$D_p = \left\{ \frac{a}{50 - b} \right\}$$

O principal uso da  $D_p$  nesse estudo refere-se a cálculos para estimativa da porosidade de um solo quando se conhece a  $D_s$ . E dessa forma é possível conhecer o valor da porosidade total do solo amostrado, a microporosidade e a macroporosidade do solo.

### 3.3.3.3 Porosidade total, Microporosidade e Macroporosidade

Porosidade total é o volume de poros totais do solo ocupado pelo ar (macroporosidade) e ou pela água (microporosidade). A porosidade total ( $P_t$ ) é determinada pela relação entre densidade do solo ( $D_s$ ) e densidade de partículas do solo ( $D_p$ )

A determinação da porosidade total ( $P_t$ ) foi realizada por cálculo conhecendo-se os valores de densidade de partícula ( $D_p$ ) e densidade do solo ( $D_s$ ) pela seguinte equação:

$$P_T = \left\{ \frac{a - b}{a} \right\} \times 100$$

$PT$  = Porosidade total (%)

$Dp(a)$  = densidade de partícula ( $\text{kg dm}^{-3}$ )

$Ds(b)$  = volume de álcool gasto ( $\text{m}^{-3}$ )

Porosidade total = micro + macro

A microporosidade é uma classe de tamanho de poros que, após ser saturada em água, a retém contra a gravidade. A microporosidade foi determinada em mesa de tensão e correspondeu à umidade volumétrica da amostra submetida a uma tensão de 60cm, sendo esta tensão responsável por esvaziar a água presente nos macroporos, após saturação. O conteúdo de água ainda presente na amostra após a mesa de tensão (massa de solo úmido -  $M_{su}$ ), que ocupa os microporos, constitui-se base de cálculo da microporosidade do solo.

$$Mip = \left\{ \frac{a - b}{c} \right\}$$

$Mip$  = Microporosidade ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ )

$a$  = massa da amostra após ser submetida a uma tensão de 60 cm de coluna de água (kg)

$b$  = massa da amostra seca a  $105^0 \text{ C}$  (kg)

$c$  = volume do cilindro ( $\text{m}^{-3}$ )

A macroporosidade é uma classe de tamanho de poros, que após serem saturados em água não a retém, ou são esvaziados pela ação da gravidade.

A Macroporosidade foi determinada pelo cálculo da diferença entre a Porosidade total e a microporosidade. Pela seguinte equação.

$$Map = Pt - Mip$$

Onde:

$Pt$  = Porosidade total (%)

$Mip$  = Microporosidade (%)

A caracterização da frequência e distribuição de poros são importantes para o estudo do armazenamento e movimento da água no solo (percolação e ascensão capilar), desenvolvimento do sistema radicular (compactação do solo), resistência mecânica dos solos e fluxo e retenção de calor.

### 3.3.3.4 Grau de compactação

O grau de compactação do solo (GC) é calculado por uma equação em que se utiliza valores de  $D_s$  que é a densidade do solo e  $D_{sref}$  é a densidade do solo após a aplicação de determinada pressão em laboratório. Nesse estudo, a densidade referência do solo ( $D_{sref}$ ) foi gerada a partir da equação ( $D_{sref} = - 0.00033 \text{ argila} + 1.91655$ ) proposta por Reichert *et al.*, (2009), baseada no teor de argila ( $\text{g kg}^{-1}$ ) da camada amostrada.

A partir da  $D_{sref}$  calculada é possível se obter o grau de compactação do solo (GC) na camada, expresso em percentual (%) através da equação:

$$GC = \frac{D_s}{D_{s \text{ ref}}} \times 100$$

Os valores quando acima do indicado impedem o pleno desenvolvimento das plantas, devido à grande compactação do solo.

Suzuki *et al.* (2007), o grau de compactação ótimo para as culturas, considerando a produtividade, encontra-se entre 77 e 88 %. Beutler *et al.*, (2005) verificaram grau de compactação ótimo de 80% para a soja, medindo a densidade referência pelo teste de Proctor, em um Latossolo Vermelho de textura média.

## 3.4 Quantificação da biomassa seca

Em todas as áreas de lavouras foram avaliadas a quantidade de resíduos culturais na superfície do solo, amostrando uma área de 1 m<sup>2</sup> (2 sub-amostras/área). O material acondicionado em saco, foi seco em estufa com circulação de ar a temperatura entre 55°C e 60° C, permanecendo pelo tempo necessário até atingir o peso constante do material, e posteriormente determinada a massa seca. Os resultados foram transformados em Mg ha<sup>-1</sup>.

## 3.5 Taxa de infiltração básica de água no solo

As avaliações referentes à infiltração de água no solo e perdas por escoamento superficial a campo foram realizadas utilizando-se um simulador de aspersão Veejet 80100 (jato tipo leque) vista perpendicular a sua maior dimensão, posicionado a 2,45 m de altura e

submetido à pressão de 60cm ou 600 mil Pa para um total precipitado de 118 mm h<sup>-1</sup>. De acordo com Meyer (1958) estabeleceu que ao elevar o aspersor à 2,45m acima da superfície do solo, as gotas componentes das diferentes classes de tamanho, atingiram velocidade terminal ao tocarem o solo. O simulador de chuvas portátil foi desenvolvido na Embrapa Trigo de Passo Fundo, RS conforme os princípios de funcionamento dos simuladores descritos por MEYER; HARMON (1979), conforme figura 6.

A pressão do sistema de aspersão, além de determinar as características de largura efetiva do aspersor e tamanho e velocidade das gotas, determina a vazão do aspersor, a intensidade da precipitação e, conseqüentemente a energia cinética da chuva, sendo por isso uma condição essencial de operação. A altura do aspersor, em relação à superfície do solo, foi determinada para possibilitar às gotas atingirem velocidade terminal. A partir do conhecimento da velocidade inicial das gotas, na saída do aspersor. O manômetro e o aspersor foram posicionados à 2,45m acima da superfície do solo e o bico aspersor, por ser do tipo leque, deve oscilar para que torne possível simular a chuva em toda a parcela, conforme Figura 6. É oportuno mencionar que em cada área de lavoura era aferida a calibração do equipamento e a lâmina aplicada.

**FIGURA 6. SIMULADOR DE CHUVAS.**



**Foto:** FERNANDES, 2017.

**Fonte:** Elaborado pelo(a) autor(a).

Para executar o estudo, o simulador de chuva foi instalado sobre uma parcela demonstrativa de 1m<sup>2</sup> de área (1,0 m de largura, 1,0 m de comprimento e 0,2 m de altura), construído em chapas de aço galvanizado número 16, conforme figura 7. Tal dispositivo quando instalado no campo, foi cravado até a profundidade de 0,12 m, o qual apresenta um sistema de captura para permitir a obtenção do volume de água escoado superficialmente. Durante as chuvas simuladas, foram realizadas coletas do volume escoado contabilizados em intervalos de dois minutos utilizando um medidor graduado com capacidade de 1 litro conforme figura 8 até o escoamento tornar-se constante, ou seja, atingir a taxa de escoamento superficial constante expressa em mm h<sup>-1</sup>, caso contrário utilizava-se o tempo máximo de 120 minutos ou a capacidade total do reservatório de água, que era de 1.000 litros.

Para captar a vazão efluente desta calha, uma mangueira “cristal”, com comprimento de 4 m e 32 mm de diâmetro, foi conectada à sua saída permitindo, em cota mais baixa e fora do alcance da chuva simulada, o armazenamento da água do escoamento, em recipiente graduado.

**FIGURA 7. PARCELA DEMONSTRATIVA.**



**Foto:** FERNANDES, 2017.

**Fonte:** Elaborado pelo(a) autor(a).

**FIGURA 8. MEDIDOR GRADUADO.**

**Foto:** FERNANDES, 2017.

**Fonte:** Elaborado pelo(a) autor(a).

A diferença entre a lâmina de água aplicada pelo simulador ( $118 \text{ mm h}^{-1}$ ) e a lâmina de escoamento superficial medida experimentalmente com um medidor corresponde à lâmina infiltrada. A lâmina de escoamento superficial é obtida pela relação entre o volume de água escoado e a área da parcela experimental ( $1 \text{ m}^2$ ).

Com os dados de infiltração obtidos à campo, objetivando uma representação gráfica da taxa de infiltração de água no solo, foram ajustadas equações conforme modelo proposto por Kostiakov, descrito por Prevedello (1996). Constitui-se de um modelo para cálculo da infiltração acumulada e taxa de infiltração onde os parâmetros utilizados não têm significado físico próprio e são avaliados a partir de dados experimentais, é representada pela equação potencial a seguir:

$$I = k T^a$$

em que:

$I$  = infiltração acumulada (mm);

$k$  = constante dependente do solo;

$T$  = tempo de infiltração (h); e

$a$  = constante dependente do solo, variando de 0 a 1.

Para determinar os coeficientes e expoentes das equações potenciais utilizou-se o método de regressão linear.

A taxa de infiltração instantânea (VI) é a derivada da infiltração acumulada, em relação ao tempo:

$$VI = K \cdot a \cdot T^{(a-1)}$$

em que:

VI = taxa de infiltração instantânea (mm h<sup>-1</sup>);

k = constante dependente do solo;

T = tempo de infiltração (h); e

a = constante dependente do solo, variando de 0 a 1.

O intervalo de tempo compreendido entre o início da aplicação da chuva simulada e o início da coleta da chuva escoada foi identificado como tempo de início do escoamento superficial e registrado para cada parcela demonstrativa.

A infiltração de água no solo é afetada em maior ou menor grau por diversos fatores, entre eles a condição antecedente de umidade do solo. Como a medição da taxa de infiltração de água foi realizada na condição natural do solo no momento das simulações de chuva, não é objetivo deste, comparar entre as áreas de lavoura o tempo para início do escoamento nem a infiltração acumulada de água no solo, mas somente a taxa de infiltração básica do solo (IB). A taxa de infiltração básica foi definida com base nos valores observados a campo considerando como a média dos valores de infiltração após se estabilizar depois várias leituras a intervalos de 2 minutos.

### **3.6 Infiltração de água em lavoura com manejo de resíduos culturais na superfície e semeadura em nível comparado a morro acima-morro abaixo**

Em duas condições das áreas de lavouras das propriedades selecionadas foi realizado o teste de infiltração objetivando comparar a presença ou ausência de resíduos culturais na superfície do solo e outra com a semeadura em nível comparado a semeadura morro acima e morro abaixo.

### **3.7 Intensidade de chuvas ocorridas no período de 2007 a 2017**

Com base nas precipitações pluviométricas ocorridas no período de agosto de 2007 a dezembro de 2017, registrados de hora em hora, obteve-se através de cálculo a intensidade de



chuvas ( $\text{mm h}^{-1}$ ). Para isso utilizou-se o banco de dados da Estação meteorológica de superfície automática do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, instalada na FUNDACEP/CCGL em 31/05/2007. Localizada nas coordenadas de latitude:  $-28.603440^\circ$  e Longitude:  $-53.673597^\circ$ . Os resultados foram sistematizados e organizados em frequência de eventos pluviométricos com intensidades calculadas de 15 a  $55 \text{ mm h}^{-1}$ , maior intensidade observada nesse período.

### **3.8 Análise dos resultados**

Os resultados da caracterização física do solo e da taxa de infiltração básica foram submetidos à análise da variância e quando os valores de F apresentaram significância ao nível de 5 % de probabilidade, aplicou-se o Teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ), usando o pacote estatístico SASM-Agri Versão 8.2 (CANTERI *et al.*, 2001).

Os resultados da taxa de infiltração básica das áreas de lavouras foram confrontados com as intensidades de precipitações pluviométricas ocorridas no período de 2007 a 2017, objetivando quantificar a probabilidade de erosão em lavouras conduzidas sob SPD de boa qualidade. Esses resultados foram correlacionados com o histórico de uso e cultivos das áreas de lavouras para permitir identificar indicadores de boas práticas e propor estratégias de manejo aos produtores.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Atributos físicos do solo

Analisando os resultados dos atributos físicos do solo, em todos os casos, houve interação significativa entre as lavouras e as camadas de profundidades de solo. Isto demonstra que o comportamento dos atributos físicos do solo é diferente em cada camada nas lavouras avaliadas. Desta maneira a análise estatística dos resultados dos atributos físicos do solo será apresentada para cada camada de profundidade do solo.

Observa-se que houve diferenças estatísticas em todos os atributos físicos do solo (Tabelas 2 e 3). Na camada de 0 a 10 cm de profundidade, os maiores valores de densidade do solo (Tabela 2), e proporcionalmente, os menores valores de porosidade total do solo são observados nas áreas de lavoura 3, 4, 7, 12, 13, 14 e 15. De uma maneira geral, nas camadas de 10 a 20 e 20 a 30 cm, os valores de DS são ainda mais elevados, atingindo  $1,56 \text{ g cm}^{-3}$  na camada 10 a 20 cm da área 4. Os efeitos do adensamento nas camadas mais profundas são observados também em outros trabalhos (SANTANA, 2009; CASTRO, 1995; MARTINS *et al.*, 2002) pelo efeito das pressões exercidas pelas camadas superiores, ou ainda, em consequência de um menor aporte de MO (BRADY, 1989) ou pelo aumento de material fino dos horizontes superiores para os inferiores devido à redução de espaços porosos (KIEHL, 1979).

Quanto maior o valor da densidade e de menor porosidade, maior é a probabilidade de compactação, restrição no crescimento do sistema radicular e desenvolvimento das raízes e das plantas. A densidade pode variar entre  $1,10$  a  $1,60 \text{ g cm}^{-3}$  em solos arenosos e em solos argilosos essa variação vai de  $0,90$  a  $1,25 \text{ g cm}^{-3}$  (COOPER; MAZZA, 2017). Considerando esse fato, os resultados para Ds estão acima do indicado e apresentam indicativos de compactação no solo para a camada de 0 a 10 cm.

A densidade crítica do solo depende principalmente de sua classe textural. Argenton *et al.* (2005) constataram que, em Latossolo vermelho argiloso, a deficiência de aeração inicia-se com densidade do solo, próxima de  $1,30 \text{ Mg m}^{-3}$ , e Klein (2006), para mesma classe de solo, baseado no intervalo hídrico ótimo, observou que a densidade limitante foi de  $1,33 \text{ Mg m}^{-3}$ . Solos com alta densidade apresentam alto grau de compactação e são marcados pela resistência das raízes penetrarem no perfil e quando a resistência do solo aumenta, é

significativa a dificuldade na absorção de água e nutrientes por parte das plantas (KIEHL, 1979).

**TABELA 2. RESULTADOS DE DENSIDADE, POROSIDADE E MACROPOROSIDADE DO SOLO NAS CAMADAS DE 0 A 10 CM, 10 A 20 CM E 20 A 30 CM DE PROFUNDIDADE NAS ÁREAS DAS PROPRIEDADES SELECIONADAS. UNICRUZ/CCGL. CRUZ ALTA, RS. 2017**

Lav.	Município	Anos PD	Resteva Manejo	MS	Densidade Solo (g cm <sup>-3</sup> )			Porosidade Solo (%)			Macroporosidade (%)		
					0 a 10	10 a 20	20 a 30	0 a 10	10 a 20	20 a 30	0 a 10	10 a 20	20 a 30
				Mg ha <sup>-1</sup>									
1	Cruz Alta	30	Aveia Dess.	9,24	1,15 c	1,43 b	1,36 b	59,3 a	48,6 b	49,6 c	15,5 a	9,5 b	8,6 b
2	Cruz Alta	30	Trigo colh.	9,36	1,30 b	1,36 c	1,36 b	52,5 b	51,9 a	51,2 b	10,6 b	13,4 a	11,5 a
3	Fort. Valos	20	Aveia Dess.	7,30	1,45 a	1,52 a	1,50 a	51,0 b	49,7 a	50,0 c	10,5 b	9,4 b	8,4 b
4	Fort. Valos	20	Aveia Colh.	4,96	1,37 a	1,56 a	1,47 a	49,4 b	43,7 b	48,5 c	10,0 b	8,1 c	12,5 a
5	XV Novembro	23	Aveia Dess.	7,50	1,29 b	1,48 b	1,42 a	55,0 a	49,6 a	50,2 c	10,8 b	8,8 b	8,6 b
6	XV Novembro	23	Trigo colh.	12,42	1,34 b	1,45 b	1,38 b	53,3 b	53,2 a	52,5 b	10,9 b	12,6 a	12,3 a
7	Colorado	15	Aveia Rol.	11,78	1,46 a	1,48 b	1,37 b	43,0 c	43,8 b	49,0 c	5,0 c	6,8 c	8,7 b
8	Colorado	29	Aveia Dess.	5,42	1,32 b	1,46 b	1,33 b	52,5 b	47,7 b	52,6 b	8,5 b	5,5 c	8,5 b
9	Colorado	29	Trigo colh.	8,26	1,29 b	1,46 b	1,45 a	50,1 b	44,2 b	45,2 d	9,3 b	6,2 c	8,8 b
10	Sta. Barbara	11	Aveia+Nabo+Az.	4,22	1,13 c	1,42 b	1,35 b	56,5 a	47,7 b	50,0 c	15,3 a	9,1 b	7,4 b
11	Sta. Barbara	27	Aveia+Nabo+Az.	4,66	1,24 b	1,43 b	1,33 b	53,1 b	45,9 b	51,6 b	9,9 b	7,5 c	12,7 a
12	Sto. Augusto	21	Aveia Dess.	2,76	1,41 a	1,55 a	1,51 a	51,4 b	47,2 b	48,9 c	12,4 a	6,6 c	5,7 b
13	Sto. Augusto	21	Aveia Dess.	3,38	1,40 a	1,37 c	1,38 b	52,3 b	53,2 a	55,5 a	7,6 b	11,7 a	12,3 a
14	Cruz Alta	32	Trigo Colh.	11,22	1,48 a	1,48 b	1,55 a	47,7 c	46,7 b	45,2 d	5,5 c	4,0 c	3,5 b
15	Cruz Alta	32	Aveia Dess.	6,40	1,46 a	1,51 a	1,47 a	49,1 b	47,9 b	49,9 c	4,4 c	5,1 c	7,8 b
16	Cruz Alta	24	Aveia Dess.	4,31	1,28 b	1,51 a	1,46 a	52,7 b	46,1 b	48,4 c	11,0 b	4,0 c	6,2 b

Lav.: Lavoura; dess.: Dessecada; colh.: Colhido; Av.: Aveia; Er.: Ervilhaca; Az.: Azevém;

\* Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem estatisticamente pelo Teste SCOTT-KNOTT (P<0,05)

**TABELA 3. RESULTADOS DE MICROPOROSIDADE, GRAU DE COMPACTAÇÃO E QUALIDADE ESTRUTURAL DO SOLO NAS CAMADAS DE 0 A 10 CM, 10 A 20 CM E 20 A 30 CM DE PROFUNDIDADE NAS ÁREAS DAS PROPRIEDADES SELECIONADAS. UNICRUZ/CCGL. CRUZ ALTA, RS. 2017**

Lav.	Município	Anos PD	Resteva Manejo	Microporosidade (%)			Grau Compactação (%)			Qualidade Estrutural Solo			
				MS	0 a 10	10 a 20	20 a 30	0 a 10	10 a 20	20 a 30	0 a 10	10 a 20	20 a 30
				Mg ha <sup>-1</sup>									
1	Cruz Alta	30	Aveia Dess.	9,24	43,7 a	39,1 b	41,0 b	66,1 b	84,0 b	80,1 c	2,0 d	2,6 b	2,7 a
2	Cruz Alta	30	Trigo colh.	9,36	41,9 a	38,4 b	39,7 b	74,9 b	79,2 b	79,9 c	2,6 b	3,3 a	2,1 c
3	Fort. Valos	20	Aveia Dess.	7,30	40,5 b	40,3 a	41,6 b	84,7 a	91,5 a	89,1 a	2,5 b	2,7 b	2,3 b
4	Fort. Valos	20	Aveia Colh.	4,96	39,5 b	35,6 b	36,1 d	77,4 a	91,0 a	85,2 b	2,8 a	3,5 a	3,0 a
5	XV Novembro	23	Aveia Dess.	7,50	44,2 a	40,8 a	41,6 b	74,2 b	87,9 a	85,1 b	2,0 d	2,3 b	2,0 c
6	XV Novembro	23	Trigo colh.	12,42	42,4 a	40,5 a	40,2 b	77,3 a	85,3 b	81,7 c	2,7 b	3,2 a	2,9 a
7	Colorado	15	Aveia Rol.	11,78	38,0 b	37,0 b	40,3 b	82,5 a	84,5 b	78,9 c	2,5 b	3,0 a	2,5 b
8	Colorado	29	Aveia Dess.	5,42	44,0 a	42,2 a	44,1 a	76,5 a	85,6 b	79,3 c	3,0 a	3,4 a	3,0 a
9	Colorado	29	Trigo colh.	8,26	40,8 b	38,0 b	36,4 d	73,7 b	83,7 b	83,7 b	2,7 b	3,1 a	2,6 b
10	Stª Barbara	11	Aveia+Nabo+Az.	4,22	41,2 b	38,6 b	42,6 a	64,3 b	81,8 b	78,3 c	2,5 b	3,1 a	2,8 a
11	Stª Barbara	27	Aveia+Nabo+Az.	4,66	43,2 a	38,4 b	38,9 c	70,4 b	82,4 b	76,9 c	2,5 b	2,5 b	2,5 b
12	Stº Augusto	21	Aveia Dess.	2,76	39,1 b	40,7 a	43,2 a	82,4 a	91,9 a	90,1 a	2,6 b	2,6 b	2,5 b
13	Stº Augusto	21	Aveia Dess.	3,38	44,7 a	41,6 a	43,2 a	81,2 a	81,3 b	82,4 c	2,6 b	2,7 b	2,5 b
14	Cruz Alta	32	Trigo Colh.	11,22	42,1 a	42,7 a	41,7 b	84,5 a	85,0 b	89,7 a	2,3 c	2,5 b	2,3 b
15	Cruz Alta	32	Aveia Dess.	6,40	44,8 a	42,8 a	42,1 a	83,2 a	86,6 a	85,1 b	2,8 a	2,8 b	2,5 b
16	Cruz Alta	24	Aveia Dess.	4,31	41,7 a	42,2 a	42,2 a	74,1 b	87,7 a	85,1 b	3,0 a	3,1 a	2,8 a

Lav.: Lavoura; dess.: Dessecada; colh.: Colhido; Av.: Aveia; Er.: Ervilhaca; Az.: Azevém;

\* Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem estatisticamente pelo Teste SCOTT-KNOTT (P<0,05)

Camargo e Alleoni (1997) consideram crítico o valor de  $1,55 \text{ Mg m}^{-3}$  em solos franco-argilosos a argilosos. Crítico para densidade do solo, é o valor acima do qual o solo é considerado compactado.

Os maiores valores de  $D_s$  e de baixa porosidade do solo são observados nas áreas 14 e 15 (Cruz Alta), e pode estar associado, provavelmente ao efeito cumulativo de tráfego intenso de pessoas, durante as avaliações e de máquinas nas operações, por ser talhão de área experimental de pesquisa, em que pressão de contato poderá gerar adensamento vertical, mesmo sendo uma área manejada em SPD há 32 anos. O tráfego de máquinas nas operações e de outras atividades de deslocamento sobre o solo tem contribuído para sua compactação reduzindo a taxa de infiltração e consequente perdas de água por escoamento superficial (CARVALHO, 2009).

A área 7 também apresenta alta densidade e baixa porosidade total do solo (Tabela 2), mesmo com manejo SPD há 15 anos. Anterior a isso, a área teve histórico de degradação intensa com processo erosivo advindo do preparo convencional do solo. Embora a sequência de culturas e o manejo praticado nos últimos anos tem como objetivo melhorar a estrutura do solo ainda há indicadores não adequados, comparado as demais áreas. É oportuno mencionar que o histórico dos cultivos é muito importante na qualidade física do solo. De acordo com Abreu *et al.*, (2004), culturas como trigo, soja e aveia não são tão eficientes, como espécies de sistema radicular profundo, como nabo forrageiro, milho e milheto que apresentam bons resultados para descompactar e reestruturar a biologia do solo, com a criação de poros biológicos de alta funcionalidade, conforme constatado por Abreu *et al.*, (2004).

Para Assis *et al.*, (2009), a porosidade de um solo deve estar em torno de 50%, com 17% de macroporos, responsáveis pela infiltração de água e aeração do solo e, 33% de microporos, responsáveis pelo armazenamento de água no solo. Os maiores valores de porosidades são observados nas áreas 01 (Cruz Alta), 05 (XV de Novembro) e 10 (Sta. Bárbara), estatisticamente superior as demais áreas. Na área 01, os maiores valores de porosidade e os menores valores de  $D_s$  ( $1,15 \text{ g cm}^{-3}$ ) na profundidade de 0 a 10 cm, poderá estar relacionado com maior quantidade de resíduos vegetais deixados sobre o solo pelas culturas nos últimos anos. O tipo de manejo tem grande influência na alteração da  $D_s$  (RIGATTO *et al.*, 2005).

A deformação do solo tem relação direta com a porosidade total, especialmente a macroporosidade, indicando que, quanto maior a deformação do solo, maiores serão as reduções de macroporosidade e de porosidade total do solo (Silva *et al.*, 2000b). Portanto, pela relação entre macroporosidade de  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , obtém-se a densidade crítica. Genro

Junior (2002) verificou que essa macroporosidade correspondeu a uma densidade de  $1,48 \text{ kg dm}^{-3}$ , em um Latossolo Vermelho distroférico típico com  $680 \text{ g kg}^{-1}$  de argila.

Em solos argilosos, um dos primeiros indicativos da ocorrência do processo de compactação é a redução do tamanho dos poros, haja vista que a macroporosidade se forma, principalmente, a partir do estabelecimento de espaços entre as unidades estruturais do solo, os agregados. Em solos argilosos a tendência é predominar os microporos e menor macroporos.

Alterações nos valores de macroporosidade influenciam diretamente a capacidade de infiltração, a drenabilidade do solo e sua capacidade de aeração (HILLEL, 1998). Valores muito baixo poderão comprometer a respiração das plantas.

O valor crítico de macroporosidade parece estar bem estabelecido. Vários autores consideram o valor de macroporosidade de  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  como sendo um valor crítico para o crescimento das plantas (BAVER, 1949; KIEHL, 1979; GUPTA & ALLMARAS, 1987). Crítico é um valor que abaixo do qual retardaria o crescimento das plantas. Quando o número de macroporos é insatisfatório para o desenvolvimento da cultura, há compactação do solo e isso prejudica o desenvolvimento das plantas (ROSA, 2013) como pode-se ver nos valores de macro para as propriedades 7, 14 e 15. A macroporosidade influencia a infiltração e a drenagem da água no solo, enquanto a microporosidade é responsável pela retenção e armazenamento de água (REICHERT *et al.*, 2007).

O grau de compactação do solo nas áreas de lavouras e profundidades avaliadas variou de 84,7 a 91,5% (Tabela 3). Para Suzuki *et al.*, (2007), o grau de compactação ótimo para as culturas, considerando a produtividade, encontra-se entre 77 e 88 %. Beutler *et al.*, (2005) verificaram grau de compactação ótimo de 80% para a soja, medindo a densidade referência pelo teste de Proctor, em um Latossolo Vermelho de textura média. O grau de compactação elevado pode reduzir a porosidade do solo, diminuindo a aeração do solo, e aumentando a densidade e resistência do solo à penetração, dificultando o desenvolvimento radicular; e grau de compactação muito baixo pode indicar solo muito solto, comprometendo a retenção de água e o contato solo semente na semeadura (SUZUKI *et al.*, 2007).

Em estudos realizados por Suzuki (2005), verificou-se que uma macroporosidade de  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  corresponde a um grau de compactação de aproximadamente 89 % para solos com  $100 \text{ g kg}^{-1}$  de argila, 80 % para solos com  $200\text{-}300 \text{ g kg}^{-1}$  de argila e 75 % para solos com  $300\text{-}700 \text{ g kg}^{-1}$  de argila e 85% para argissolos. Essa relação é observada na Tabela 2, propriedade 3, onde os valores de densidade variam de 1,45 a 1,50 considerando as profundidades amostradas.

Considerando que uma macroporosidade de  $0,10 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  é um valor crítico para o crescimento das plantas (VOMOCIL & FLOCKER, 1961), o grau de compactação correspondeu a 76% no latossolo.

Considerando que a água é o principal elemento para a produção agrícola, é possível afirmar que a compactação do solo é um fator determinante e afeta diretamente o desenvolvimento da cultura, conforme citam (QUEIROZ-VOLTAN *et al.*, 2000).

A avaliação visual da qualidade estrutural do solo realizada é apresentada na Tabela 3. É oportuno mencionar que a referida avaliação proposta por Guimarães *et al.*, (2011), considera uma escala que varia de  $Q_e = 1$  (melhor qualidade estrutural) a  $Q_e = 5$  (pior qualidade estrutural ou muito compactado). Embora haja diferenças na qualidade estrutural entre as áreas de lavouras, de uma maneira geral, observa-se uma qualidade média a boa, com valores variando entre 2,0 a 3,5, indicativo da presença de porosidade visível e desenvolvimento de raízes por todo solo. Essa percepção, logicamente era esperada na grande maioria das lavouras selecionadas, pelo seu histórico de manejo, indicativo de boa qualidade. Entretanto, os maiores valores encontrados, indicativos de menor qualidade estrutural, estão associadas à camada de 10 a 20 cm, o que concorda com os outros indicadores físicos já discutidos anteriormente.

#### **4.2 Taxa de infiltração básica de água no solo**

No início do processo da infiltração de água no solo, quando o solo ainda está relativamente seco, o gradiente de potencial é muito grande e a velocidade de infiltração é alta. Após algum tempo, o gradiente de potencial é reduzido e a velocidade diminui. A medida que as argilas se expandem e contraem parcialmente os poros, a velocidade de infiltração diminui gradualmente até chegar a um ponto em que se mantém praticamente constante. Este valor constante chama-se de velocidade de Infiltração Básica (IB), constitui-se numa característica intrínseca do solo, pois depende fundamentalmente da textura, estrutura, porosidade, continuidade e tortuosidade dos poros do solo, entre outros. A IB é quando sua variação com o tempo é muito pequena, após longo tempo de infiltração.

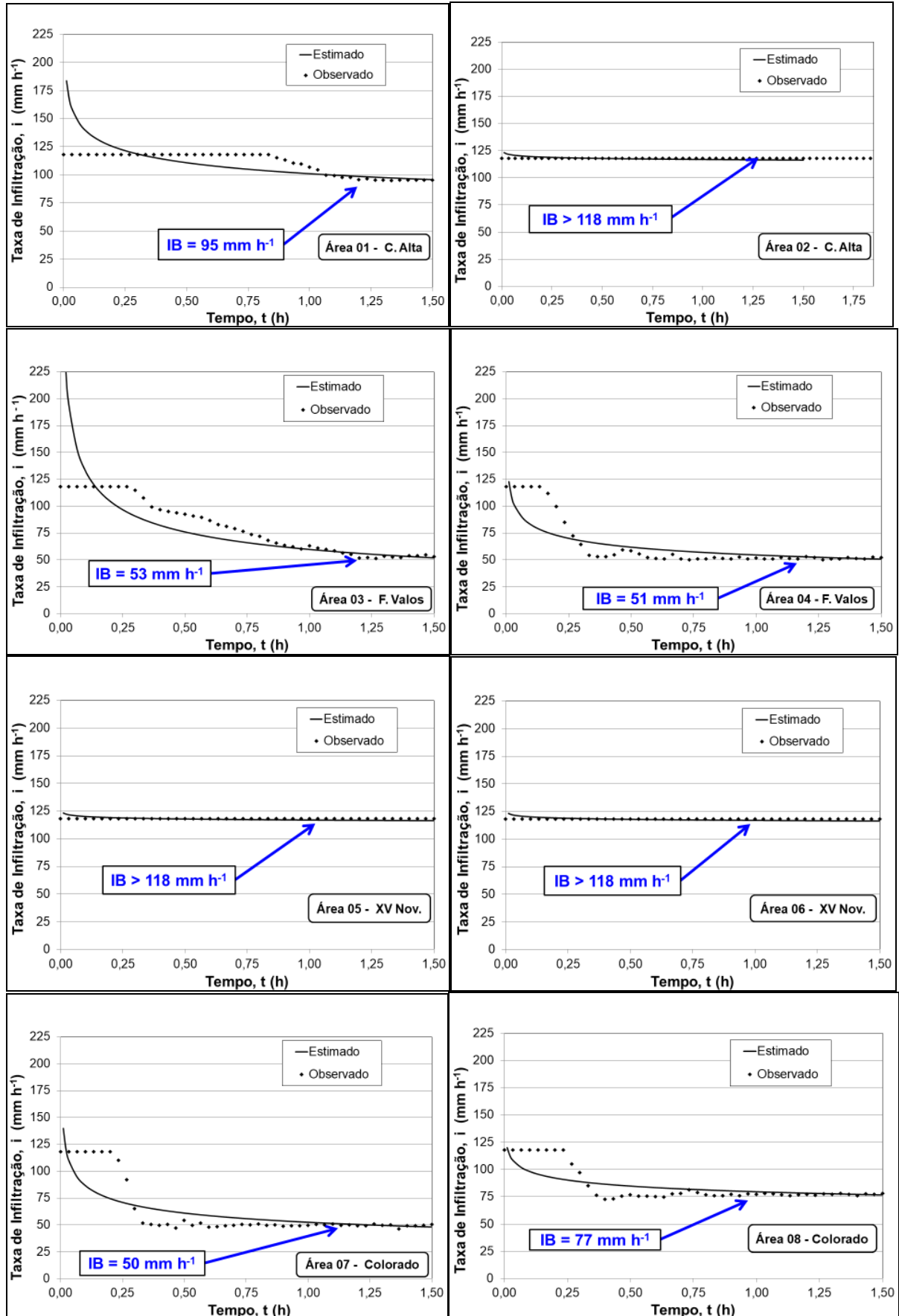
Segundo Cabeda (1984) a taxa de infiltração de água no solo é isoladamente a propriedade que melhor reflete as condições físicas do solo, sua qualidade e estabilidade estrutural. Islam e Weil (2000) indicam a permeabilidade do solo à água como um atributo para avaliação da qualidade do solo. Os valores de IB são fundamentais no dimensionamento de projetos agrícolas de irrigação, drenagem e conservação do solo e da água (PRUSKI, 1993;



ALVES SOBRINHO, 1997), sendo vários os métodos para sua determinação no campo. Dentre eles, destacam-se os simuladores de chuva (ALVES SOBRINHO, 1997). A taxa de infiltração de água no solo e a definição da IB nas áreas de lavouras são apresentadas nas Figuras 9 e 10. Nas áreas de lavouras 02 (Cruz Alta), 06 (XV de novembro) e 12 (Sto. Augusto), a taxa de infiltração de água no solo foi máxima. Nessas, com a aplicação da lâmina de  $118 \text{ mm h}^{-1}$  não houve escoamento superficial de água, indicando que a IB seja superior a  $118 \text{ mm h}^{-1}$ . De forma semelhante, na área 14 (Cruz Alta), obteve-se uma infiltração de água próxima ao máximo aplicado com um IB de  $110 \text{ mm h}^{-1}$ .

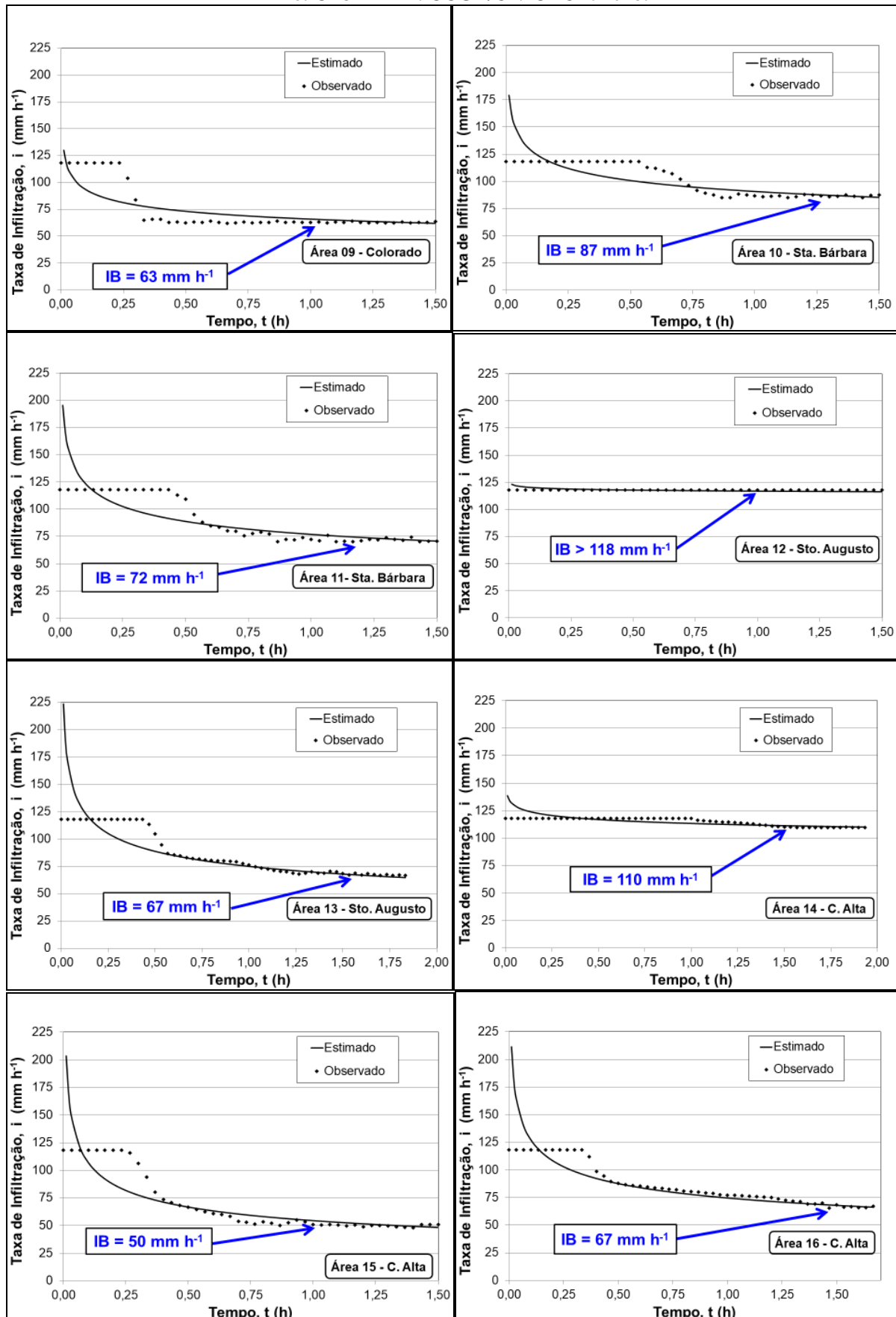
Nas áreas 6 (XV de novembro) e 2 (Cruz Alta), a maior taxa de infiltração está associada à macroporosidade superior a 10% em todas as profundidades amostradas (Tabela 2). Isso está associado ao excelente manejo atribuído ao SPD com rotação, que vem sendo praticado nessas propriedades e a utilização de milho e nabo na entressafra 2016/17 (Tabela 1), aliado à presença de alta cobertura vegetal, o que provavelmente tenha criado caminhos preferenciais formados pelas raízes, possibilitando uma maior velocidade de infiltração (NUNES *et al.*, 2012). A rotação de culturas auxilia na descompactação, aumenta a porosidade, a aeração e contribui com a melhoria na estrutura do solo.

FIGURA 9. TAXA DE INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO NAS ÁREAS DE LAVOURAS 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 E 8. CRUZ ALTA. CCGL/UNICRUZ. 2018.



Fonte: CCGL/UNICRUZ. Cruz Alta. 2018.

FIGURA 10. TAXA DE INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO NAS ÁREAS DE LAVOURAS 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 E 16. CRUZ ALTA. CCGL/UNICRUZ. 2018.



Fonte: CCGL/UNICRUZ. Cruz Alta. 2018.

Na área 12 (Stº Augusto), apesar da macroporosidade na camada de 0 a 10 cm ser alta, os demais atributos físicos, em especial nas camadas de 10 a 20 e 20 a 30 cm, são intermediários. A alta taxa de infiltração provavelmente esteja associada a utilização de um rígido calendário de rotação de culturas nas últimas safras, mesmo sem a utilização do milho, o investimento em espécies como nabo forrageiro e capim sudão na entressafra (soja e cultivos de inverno), são capazes de produzir boa palhada e promover uma qualidade de canais com alta infiltração de água no solo.

Na área 14 (Cruz Alta), apesar dos atributos físicos do solo indicarem uma qualidade média a baixa, a IB foi alta ( $110 \text{ mm h}^{-1}$ ) e isso demonstra que a utilização de um sistema de rotação de culturas intenso, com cultivos de aveia, ervilhaca, milho nabo e trigo, quando integradas e de forma planejada, proporcionam além de um alto potencial de produção de fitomassa, uma rede de canais preferenciais de infiltração de água no solo, oriundos de atividades biológica de raízes de plantas e da biologia do solo, que nem sempre conseguem ser caracterizados pelos métodos tradicionais de avaliação física do solo. Entretanto, esses efeitos podem ser mais ou menos duradouros ao longo dos anos, dependendo de quanto tempo culturas mais agressivas, como o milho e nabo forrageiras foram utilizadas no sistema, e da forma de manejo do solo, em especial a condição de umidade do solo em que ocorrem as operações agrícolas. Esse comportamento, provavelmente seja o responsável pela redução significativa da taxa de infiltração de água no solo na área 15 (Cruz Alta). Nessa área, o sistema de rotação de culturas é semelhante, entretanto, o milho e nabo foram utilizadas há 2 safras anteriores. Aliado a isso, devido as altas precipitações pluviométricas ocorridas, as operações agrícolas de manejo das últimas culturas (soja e trigo), foram efetuadas em condições de umidade de solo mais altas. Klein & Libardi (2002) detectaram valores de densidade do solo significativamente maiores no SPD irrigado e relataram que estes foram decorrentes da pressão provocada pelo trânsito de máquinas e implementos agrícolas, quando realizado em solo argiloso com teores elevados de água.

A taxa de infiltração de água nas áreas 1 (Cruz Alta), 10, 11 (Stª Bárbara) e 08 (Colorado) são relativamente altas, com IB de 95, 87, 72 e 77  $\text{mm h}^{-1}$ , respectivamente. Nessas áreas o manejo do SPD tem contemplado um sistema intenso de culturas (Tabela 1), permitindo aporte de alta quantidade de palha e raízes durante todo o ano. Nas áreas 10 e 11 (Sta. Bárbara), predomina o consórcio de plantas de cobertura de inverno e entressafra (aveia, azevém, capim sudão e nabo) após o milho (a cada 4 anos) e a soja no verão. Devido a alta

agressividade dessas culturas, tem se mantido uma boa qualidade do solo expressa pelos indicadores físicos, associado a canais de infiltração da água criados pelos sistemas radiculares.

As menores taxas de infiltração de água no solo são observadas nas áreas 3 e 4 (Fortaleza dos Valos), 7 (Colorado) e 15 (Cruz Alta) com IB de 53, 51, 50 e 50 mm h<sup>-1</sup>, respectivamente. Esse comportamento também está expresso nos indicadores de qualidade física do solo (Tabela 2 e 3) e, provavelmente esteja relacionado com o manejo adotado no SPD, que ainda não permitiu uma recuperação da qualidade do solo (áreas 3 e 4), aliado ao histórico de degradação intensa (erosão) pelo preparo convencional do solo (área 7) e ao manejo do solo, em especial a condição de alta umidade do solo em que ocorrem as operações agrícolas de manejo das últimas culturas (área 15). A perda na qualidade física do solo devido a seu manejo pode elevar o estado de adensamento do solo com alta probabilidade de oferecer riscos de restrição ao crescimento radicular (REINERT, REICHERT, 2006). A redução na macroporosidade influencia diretamente a capacidade de infiltração e drenagem de água no solo e sua capacidade de aeração (HILLEL, 1998).

Com valores intermediários das taxas de infiltração de água no solo são observadas nas áreas 9 (Colorado), 13 (Stº Augusto) e 16 (Cruz Alta) com IB de 63, 67 e 67 mm h<sup>-1</sup>, respectivamente, demonstrando que existe possibilidade de melhorias na qualidade do solo. Quanto maior o tempo de adoção do SPD, ou seja, com rotação de culturas adequada, melhor será a distribuição do sistema radicular em profundidade, caracterizando um melhor aproveitamento do volume de solo explorado e melhor será a taxa de infiltração. A recuperação de solos fisicamente degradados pode ser alcançada através do manejo adequado do solo, levando em consideração o fator tempo (SEQUINATTO, 2010).

#### **4.3 Taxa de infiltração de água em lavouras sob SPD e a intensidade de chuvas ocorridas**

Atualmente, muitas são as discussões sobre conservação do solo e a qualidade do SPD, portanto na prática se observa que vários princípios que fundamentam o Sistema não são respeitados na medida adequada, resultando em falhas na implementação ou condução (RUEDELL, 2017; DENARDIN *et al.*, 2008.). Denardin *et al.*, (2008) é categórico em afirmar que muitos problemas resultam do descaso com a adoção plena do complexo de processos tecnológicos que compõem o SPD.

Em contrapartida é oportuno mencionar também que tem sido apontado que a ocorrência das precipitações nos últimos anos apresentam-se em quantidade e intensidades maiores que normalmente vinham ocorrendo anteriormente.

A proposta do presente trabalho também busca confrontar os resultados da taxa de infiltração básica das áreas de lavouras com as intensidades de precipitações pluviométricas ocorridas no período de 2007 a 2017, objetivando quantificar a probabilidade de erosão em lavouras conduzidas sob SPD de boa qualidade. Saber a capacidade que o solo tem em infiltrar tem grande importância para a prática do manejo conservacionista. Entender esse processo é essencial por ser uma das características mais sensíveis à relacionar-se com o manejo do solo e portanto, conhecer o valor da infiltração basta para avaliar a influência sobre o manejo do solo e consequências, para se necessário for, buscar alternativas que vão de encontro à melhoria estrutural do solo.

Na Tabela 4 é apresentado o número de evento com intensidade de chuvas entre 15 e 55 mm h<sup>-1</sup>, maior intensidade observada nesse período, calculados com base na precipitação pluviométrica observada no período de 2007 a 2017 na Estação Meteorológica do INMET, em Cruz Alta, RS. As precipitações de intensidades máximas (> 40 mm h<sup>-1</sup>) tiveram uma pequena frequência, sendo 2, 1, 1, 1 e 1 precipitação ocorridas com intensidade de 42, 43, 45, 49 e 55 mm h<sup>-1</sup>. Com base nisso, pode-se acreditar que chuvas de maior capacidade possíveis de causar erosão não têm ocorrido com frequência e não cabe para justificar a ocorrência de danos nas áreas de lavouras manejadas sob SPD. Isso reforça a hipótese de que as lavouras sob SPD não estão sendo conduzidas de forma adequada, de acordo com todos os princípios do SPD o que não garante qualidade suficiente para minimizar os danos causados pelas precipitações ocorridas.

A presença de cobertura vegetal e restos culturais é de fundamental importância para a percepção da precipitação e conseqüentemente evitar o processo de escoamento. O manejo do solo também tem forte influência na infiltração. A declividade do relevo também pode influenciar esta dinâmica, uma vez que áreas planas tendem a absorver a maior parte da água e maiores taxas de infiltração e áreas inclinadas tendem a propiciar maior escoamento e baixas taxas de infiltração (SANTOS; PEREIRA, 2013). As taxas de infiltração variam de acordo com o uso do solo (MANCUSO *et al.*, 2014) e no SPD se mostram maiores por evitar formação de crostas superficiais e assim aumenta o tempo da infiltração em virtude da palha sobre o solo e conseqüente rugosidade da superfície (LLANILLO *et al.*, 2006).

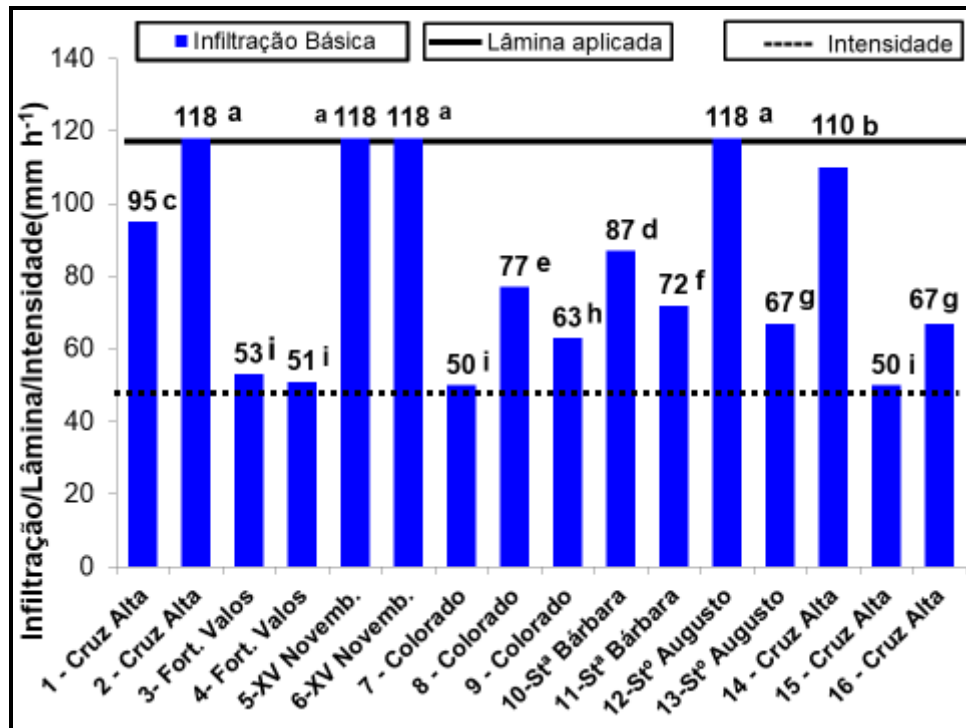
As 16 áreas de lavouras manejadas sob SPD, selecionadas como de bom manejo e adoção de práticas que busquem a conservação do solo, apresentaram valores da Infiltração Básica (IB) diferentes estatisticamente (Figura 11), reflexo do histórico de manejo adotado.

**TABELA 4. NÚMERO DE EVENTO COM INTENSIDADE DE CHUVAS ENTRE 15 E 55 MM H<sup>-1</sup>, CALCULADOS COM BASE NA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA OBSERVADA NO PERÍODO DE 2007 A 2017 NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DO INMET. CCGL TEC. CRUZ ALTA, RS. 2017.**

Intensidade (mm h <sup>-1</sup> )	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Total
15	1	1	1	1	1	3	6	3	3	1	3	24
16	2	1	2	1	1	3	1	1	2	2	1	17
17	0	1	2	0	0	1	0	2	4	2	4	16
18	0	1	0	1	1	0	1	1	3	1	2	11
19	0	2	0	0	0	0	0	0	2	2	0	6
20	0	3	2	0	1	2	1	2	0	1	1	13
21	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	7
22	0	0	0	0	1	1	1	0	4	1	0	8
23	1	1	1	1	2	1	1	0	0	0	1	9
24	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	5
25	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	3
26	1	0	1	1	2	2	0	1	1	0	2	11
27	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
28	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	3
29	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2
30	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	4
31	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	3
32	0	0	1	0	2	0	0	0	3	0	0	6
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
38	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
39	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	3
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2
43	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
49	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
55	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1



**FIGURA 11. TAXA DE INFILTRAÇÃO BÁSICA DAS ÁREAS DE LAVOURA MANEJADAS EM SPD, LÂMINA DE CHUVA APLICADA PELO SIMULADOR E INTENSIDADE MÁXIMA DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA OBSERVADA NO PERÍODO DE 2007 A 2017. CCGL/UNICRUZ. 2018.**



Fonte: CCGL TEC. Cruz Alta, RS. 2017.

Observa-se que em três áreas de lavouras (área 2, Cruz Alta; área 6, XV de novembro e área 12, Stº Augusto) não houve escoamento superficial, onde a infiltração foi máxima, equivalente a lâmina aplicada pelo simulador de chuva (118 mm h<sup>-1</sup>). A alta qualidade do solo proporcionado pelas práticas de manejo adotadas nessas áreas contribuiu para a infiltração da água no solo. Quando o solo está bem estruturado é possível observar uma boa e rápida infiltração de água da chuva, evitando o acúmulo e consequentemente escoamento superficial. Possibilita também que a água, ao alcançar o solo em profundidade, fique armazenada e disponível para as raízes em caso de escassez de chuva (CAPECHE, 2008).

A partir do histórico de cada área de lavoura e dos resultados IB apresentados, se identificam as práticas de manejo que permitem ótima qualidade ao sistema, diferenciando dentro de uma escala numérica de IB das outras que podem, com certeza, serem manejadas de forma mais qualificada. Sabe-se que há um descaso, inclusive quando se fala em processos erosivos em lavouras manejadas sob SPD. Apesar disso, considerando a classificação de IB proposta por Bernardo *et al.*, (2006), que atribui como sendo muito alta uma taxa de IB > 30 mm h<sup>-1</sup>, com base nos valores determinados de infiltração básica nas lavouras que praticam

um bom manejo de solo no SPD, pode-se afirmar que todas as áreas de lavouras estudadas seriam consideradas como de “boa qualidade de infiltração”.

Considerando as intensidades das precipitações pluviométricas ocorridas no período de 2007 a 2017, observa-se 22 eventos com intensidades  $\geq 30 \text{ mm h}^{-1}$ . Se assumir a proposta de Bernardo *et al.*, (2006), que atribui como sendo muito alta uma taxa de IB  $> 30 \text{ mm h}^{-1}$ , ter-se-á problemas com erosão em áreas de lavouras manejadas sob SPD em quase todos os anos. Levando em consideração a ocorrência da intensidade máxima ocorrida no referido período que é de  $55 \text{ mm h}^{-1}$  (Figura 11), entre as áreas de lavouras avaliadas, ter-se-á problema de erosão em somente um evento nas áreas 3 e 4 (Fortaleza dos Valos), 7 (Colorado) e 15 (Cruz Alta). Nesse sentido pode-se afirmar que as demais áreas têm qualidade de solo suficiente para não ocorrer problemas de erosão.

Se o objetivo deste estudo é alertar para as práticas e manejo executado de forma inequívoca dentro das lavouras e incentivar pela melhoria do processo, não é sensato e nem justo caracterizá-las como boas propriedades, pois sabe-se que é possível implantar novas ferramentas e buscar por melhores resultados. Qual é o desafio de qualificar o SPD adotando valores de infiltração tão baixos quando o produtor adota práticas que levam o solo a se estruturar e melhor se preparar para o processo de infiltração. Não há desafio na categorização existente e sabemos que a infiltração considerada muito alta como sendo  $> 30 \text{ mm h}^{-1}$  é um valor relativamente baixo para a qualificação do SPD. Desta forma se propõe uma nova classificação de IB para as áreas de lavouras que utilizam os princípios do SPD.

O valor da IB vai indicar a categoria que a área de lavoura se enquadra:

IB  $< 30 \text{ mm h}^{-1}$ : Muito Baixa

IB de 30 a 50  $\text{mm h}^{-1}$ : Baixa

IB de 50 a 70  $\text{mm h}^{-1}$ : Média

IB de 70 a 100  $\text{mm h}^{-1}$ : Alta

IB  $> 100 \text{ mm h}^{-1}$ : Muito Alta

Considerando essa nova categorização proposta, torna-se mais descritivo o enquadramento das áreas pesquisadas. As áreas denominadas 2 (Cruz Alta), 6 (XV de Novembro), 12 (Stº Augusto) e 14 (Cruz Alta) se qualificam como IB muito alta. As áreas 1 (Cruz alta), 8 (Colorado), 10 e 11 (Stª Bárbara) estão qualificadas como IB alta pois tem valores compreendidos entre 70 a 100  $\text{mm h}^{-1}$ . As áreas 3 e 4 (Fortaleza dos Valos), 7 e 9 (Colorado), 13 (Stº Augusto) 15 e 16 (Cruz Alta) se qualificam como IB média pois tem valores compreendidos entre 50 a 70  $\text{mm h}^{-1}$ .

Portanto as áreas de lavouras enquadradas na categoria IB média (50 a 70 mm h<sup>-1</sup>) precisam estar em alertas, pois como observado no período de 2007 a 2017 (Figura 11), podem ocorrer precipitações com intensidade superior a IB expressa pela qualidade do solo, portanto, poderão ter problemas de erosão, caso precipitações dessa intensidade ocorra sem que práticas de manejo não mais efetivas sejam adotadas.

Beltrame *et al.*, (1981) relatam que solos com baixa qualidade física são dignosticados por problemas de compactação, tiveram reduzidas taxas de infiltração de água, aumento do escoamento superficial de água, sendo capaz de acelerar o carreamento de partículas do solo e até de certos fertilizantes e alguns defensivos agrícolas.

Durante eventos pluviométricos extremos, onde resíduos culturais são insuficientes para reduzir o escoamento superficial, o SPD é vulnerável à erosão (MINELLA *et al.*, 2009).

Diante disso e considerando a possibilidade dessa situação vir a ocorrer nas áreas de lavouras enquadradas com IB média, certamente traria impactos econômicos e ambientais significativos.

#### **4.4 Infiltração de água em lavoura com manejo de resíduos culturais na superfície e semeadura em nível comparado a morro acima-morro abaixo**

A cobertura do solo, relacionada ao seu manejo, é o fator mais importante que influencia as taxas de infiltração e de escoamento da água da chuva (Cogo *et al.*, 1984). Estudos demonstram que a pouca disponibilidade de palhada sobre o solo em áreas de SPD, está diretamente relacionada à falta de bons resultados com este sistema. Lopes *et al.*, (1987) encontraram que 1, 2 e 4 t ha<sup>-1</sup> de matéria seca (MS) de resíduo vegetal cobrem cerca de 20%, 40% e 60-70% da superfície do solo, respectivamente, e que é necessário, pelo menos, 7 t ha<sup>-1</sup> de MS de palhada, uniformemente distribuída, para a cobertura plena da superfície do solo.

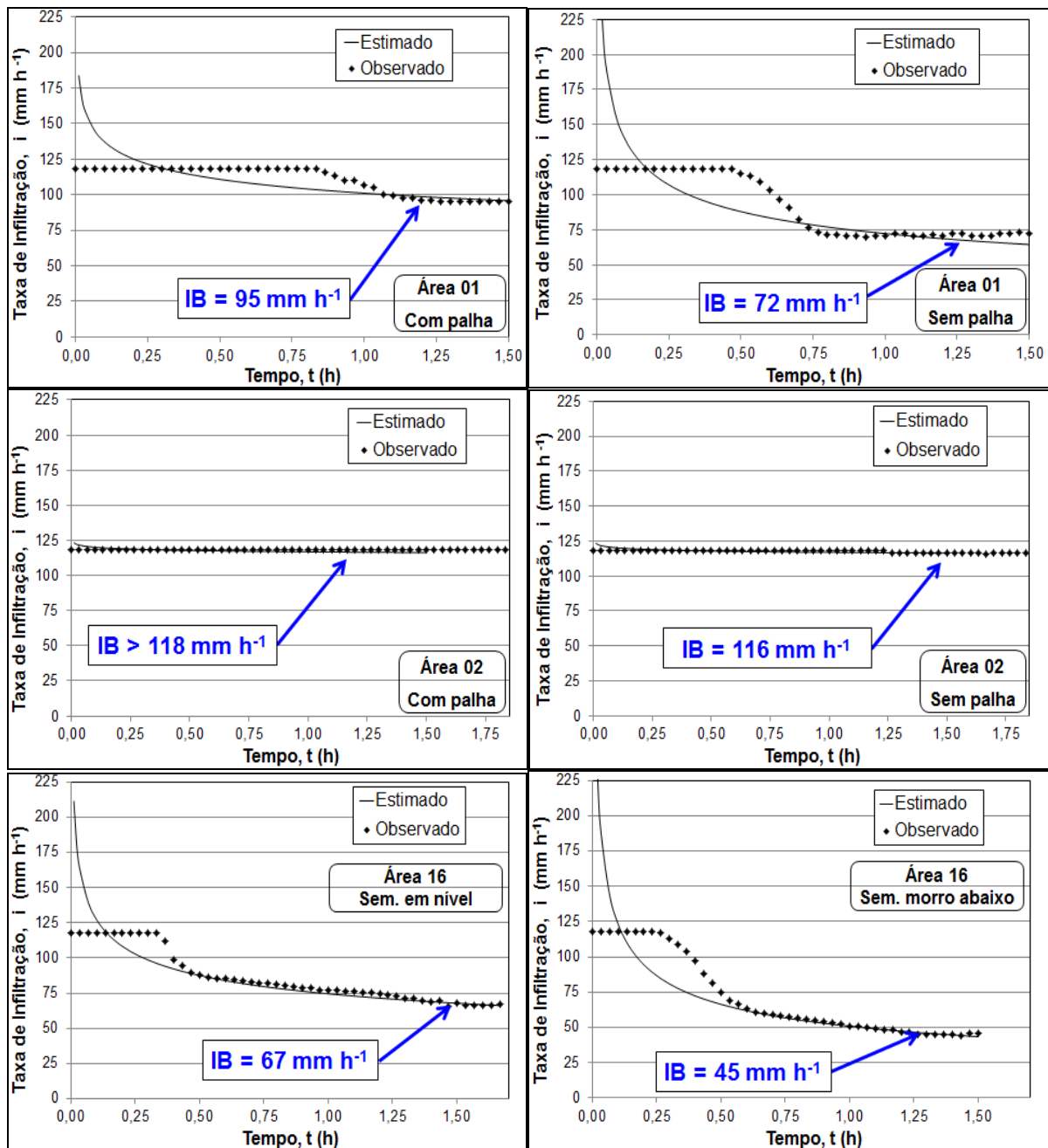
De uma maneira geral, as áreas de lavouras selecionadas apresentam quantidades mínimas de palhadas (Tabela 1), suficientes para garantir uma cobertura na superfície do solo e contribuir para a infiltração de água. Conhecer os diferentes tipos de palhada e seus benefícios poderá auxiliar na tomada de decisão sobre o sistema de manejo a ser adotado, visando a reestruturação e consequente conservação do solo e da água. Os resíduos vegetais na superfície do solo interceptam as gotas de chuva e dissipam a sua energia, evitando a desagregação das partículas e a formação de selo superficial. Reduz ainda a velocidade da enxurrada e sua capacidade de desagregação e transporte de partículas do solo (CASSOL &

LIMA, 2003). Moraes (2001) destaca que a maior aceitação do SPD está relacionada à quantidade e à qualidade da palhada produzida pelas plantas de cobertura.

Segundo POTT (2001), os restos culturais representam uma barreira física ao livre escoamento da água. Adicional a isso, tem sido apontado que entre as práticas de manejo, o sentido das operações agrícolas em relação ao declive do terreno, em especial a semeadura das culturas, tem sido muito impactante sobre a infiltração de água do solo e consequentemente, nas perdas ocasionadas pelo escoamento superficial de água.

Para melhorar o entendimento dos impactos dessas estratégias de manejo, algumas situações de estudo com e sem palha na superfície e semeadura em nível e no sentido “*morro abaixo*” foram conduzidas nas áreas de lavouras 1, 2 e 16 são apresentadas na Figura 12.

**FIGURA 12. TAXA DE INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO EM ÁREAS DE LAVOURAS EM CONDIÇÃO COM E SEM RESÍDUOS CULTURAIS NA SUPERFÍCIE E SEMEADURA EM NÍVEL COMPARADO A MORRO ACIMA/MORRO/ABAIXO. CCGL/UNICRUZ. CRUZ ALTA, 2018.**



Fonte: CCGL/UNICRUZ. Cruz Alta, 2018.

Dessa forma, considerando as condições e histórico em que as áreas de lavouras sob SPD são manejadas (Tabela 1), sabe-se que infiltração de água é dependente da palhada sobre a superfície e do sentido da semeadura, além da influência dos demais fatores, em especial a condição da qualidade física do solo são determinantes no processo de infiltração de água no solo.

O impacto da retirada da palhada da superfície do solo, nas áreas 01 e 02, resultou em redução na infiltração de água no solo e consequentemente na IB de 95 para 72 mm h<sup>-1</sup> e de 118 para 116 mm h<sup>-1</sup>, respectivamente, equivalente a uma redução média de 13%.

Isso se explica, pois, solos com maior teor de MO proporcionada pelos resíduos culturais deixados na superfície tem ação direta na redução da erosão hídrica, em virtude da dissipação de energia cinética das gotas de chuva, a qual diminui a desagregação das partículas de solo e o selamento superficial, elevando a infiltração de água e atuando ainda na redução da velocidade do escoamento superficial e, consequentemente, da capacidade erosiva da enxurrada (COGO *et al.*, 2003).

É possível considerar, que as condições de palhada na superfície com a presença de 9,24 t ha<sup>-1</sup> de resíduos sobre o solo (Tabela 1), aliado ao manejo praticado na área, tenham proporcionado condições para o valor da taxa de IB apresentado, ao evitarem o impacto das gotas da chuva sobre o solo, prevenindo a destruição da rugosidade e a formação do selamento superficial.

O aumento da MO melhora a agregação e a resistência do solo à compactação (BRAIDA *et al.*, 2006).

BERTOL *et al.* (1997) destacaram que um manejo com 60% de cobertura promove uma redução de 80% nas perdas de solo em relação ao manejo com ausência de cobertura.

Analisando a área 16, o estudo se refere ao semear em nível ou no sentido “*morro abaixo*”. A semeadura em nível resultou em redução na infiltração de água no solo refletindo nos valores de IB que passou de 67 para 45 mm h<sup>-1</sup>, equivalente a uma redução de 33%. Bertoni e Lombardi Neto (2005), mostram que a semeadura em nível realizado em linhas dispostas transversalmente ao sentido do declive, pode reduzir as perdas de solo em 50% e as perdas de água em 30%, em relação à semeadura na direção da pendente, pois cria barreiras ao livre escoamento da enxurrada e o solo é capaz de infiltrar mais água e reduzir as perdas de água e solo por erosão, pois dissipa a energia da enxurrada e consequentemente provoca menor erosão.

Cogo *et al.*, (2007) mostram reduções de 74 e 26% nas perdas de solo e de água a favor da semeadura em contorno.

Diferentemente acontece no cultivo sentido “*morro abaixo*” com declividade de 5,2%, pois cada pequeno sulco representa um caminho para a enxurrada pois forma-se corredores que levam a água, nutrientes, sementes ou plantas e com a chuva adquire velocidade suficiente e, em casos de pequena infiltração, provoca enxurrada e consequente erosão (SOUZA; PIRES, 2003)

Atenta-se também para o fato de que as perdas de água e solo carregam resíduos de agroquímicos e contaminantes para os recursos naturais, além de macro e micronutrientes, causando eutrofização das águas, fatores relacionados ao uso e manejo do solo, comprometendo a qualidade e quantidade dos recursos hídricos sendo necessário práticas para controlar o escoamento superficial em áreas de lavouras.

De acordo com Kaiser (2010) vários fatores relacionados ao manejo podem afetar a dinâmica da água no solo e o seu monitoramento contínuo, proporcionará informações sobre a disponibilidade de água no solo.

Segundo Denardin (1984), deve-se fazer o correto manejo do solo atentando para o controle do escoamento superficial com adoção de práticas que crie condições de reter a água no solo e reduzir a velocidade da enxurrada.

É importante ressaltar que os resultados positivos dessas áreas representam uma preocupação com a execução de práticas de manejo conservacionistas e de qualidade implantada pelos agricultores que permitiram identificar estratégias de boas práticas de manejo do SPD. Portanto, faz-se necessário realizar estudos complementares em outras condições para avaliar novas áreas e apontar outros parâmetros não discutidos e melhorias.

Além disso o estudo aponta a necessidade de melhorar manejo que já vem sendo executado e melhor qualificar o SPD, com adoção de práticas complementares como a implantação de um calendário de rotação de culturas com cultivos que apontem uma quantidade generosa de matéria seca e se necessário for, uso de plantas recuperadoras da estrutura do solo. A semeadura em nível que auxilia em razão de não constituir processos erosivos; controle de tráfego de maquinários após avaliação do peso do maquinário, umidade do solo e sentido do maquinário nas áreas de lavouras; avaliação do melhor momento de entrada na lavoura em razão da umidade do solo para evitar adensamento e respectiva compactação do solo. Realizar análises de solo para melhor conhecer a estrutura do solo e realizar práticas adequadas.

Toda as práticas adotadas e sugeridas, quando realizadas em conjunto tem como finalidade assegurar a água no perfil do solo, reestruturar o perfil do solo afim de contribuir com diminuição das perdas de água e solo, descompactação da lavoura e sustentabilidade do meio ambiente.

## 5 CONCLUSÕES

Houve diferença na qualidade física do solo entre as áreas de lavoura, com índices mais restritivos ao crescimento do sistema radicular e indicativo de compactação entre 4 a 7 das 16 áreas de lavoura, dependendo do atributo físico e da camada de profundidade avaliada.

- Houve diferença na infiltração básica de água no solo entre as 15 áreas de lavouras manejadas sob SPD de boa qualidade, sendo 4 áreas qualificadas como muito alta ( $IB > 100 \text{ mm h}^{-1}$ ), 4 áreas qualificadas como alta ( $IB$  entre 70 a  $100 \text{ mm h}^{-1}$ ) e 7 áreas qualificadas como média ( $IB$  entre 50 a  $70 \text{ mm h}^{-1}$ ).

- A qualidade física e infiltração de água no solo reflete as práticas de manejo adotadas nas áreas de lavouras. Nas áreas que apresentaram uma qualidade física e infiltração de água superior, esse fato se associa ao excelente manejo atribuído ao SPD com rotação, praticado nessas propriedades, considerando a utilização de milho na safra verão e nabo, capim sudão entre outras espécies, isoladas e/ou consorciadas no inverno e na entressafra pós soja ou milho, que de forma planejada garante alta e permanente cobertura vegetal do solo. Entretanto, nas áreas que apresentaram qualidade física e infiltração de água inferior não se observa uma preocupação permanente no planejamento e manejo das culturas, aliado à presença de tráfego intenso e de histórico de degradação remanescente advindo do preparo convencional do solo realizado no passado.

- Considerando a ocorrência de um evento com precipitação de intensidade máxima observada no período de 2007 e 2017, que foi de  $55 \text{ mm h}^{-1}$ , comparado com a taxa de infiltração básica obtida com chuva simulada, ter-se-á problema de erosão em 4 das 16 áreas lavouras avaliadas.

- O impacto da retirada da palha da superfície do solo, média de 02 áreas de lavouras manejadas sob SPD de boa qualidade, resultou em redução na infiltração de água no solo equivalente a 13%. Entretanto, o impacto da semeadura da soja em nível, realizado em linhas dispostas transversalmente ao sentido do declive, comparado ao sentido “*morro abaixo*” em áreas de lavoura manejadas sob SPD de boa qualidade, resultou em redução na infiltração de água no solo foi equivalente a 33%.



## 6 SUGESTÕES

Em função dos resultados obtidos e relacionando-os às discussões ocorridas sobre o SPD superficial, nota-se que é necessário adotar práticas de manejo que poderão ser implementadas pelo agricultor:

- Adotar calendário de cultivos para qualificar a rotação de culturas;
- Utilizar culturas que sejam descompactadoras a fim de estruturar o solo;
- Cultivar espécies que sejam capazes de produzir alto valor de matéria seca;
- Avaliar a declividade do terreno e tratar as glebas de forma diferenciada caso seja necessário;
- Controle de tráfego a fim de evitar compactação na estrada;
- Semear em linhas dispostas transversalmente ao sentido do declive;
- Verificar umidade do solo antes de realizar operações na lavoura;
- Monitorar os eventos pluviométricos e relacioná-los com o manejo adotado e o escoamento superficial aparente;
- Realizar amostras de solo antes do plantio para verificar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.
- Sugere-se ainda realizar outras pesquisas em propriedades com menor rigidez ao atendimento das premissas do SPD para avaliar a condução do mesmo.

Atenta-se para o fato de que as práticas de conservação do solo atuam nos processos de perdas de água e solo e as perdas por erosão hídrica foram influenciadas pela manutenção ou ausências da palhada;

A implantação da cobertura vegetal ao solo antes da implantação da cultura é indispensável para o sucesso do SPD pois amortecem o impacto da chuva, aumenta a infiltração da água no solo e diminui a enxurrada;

Os parâmetros da qualidade física do solo são variáveis dentro de cada perfil do solo e respectivamente em cada lavoura e tem relação direta com as práticas de manejo adotadas;

O plantio em nível além de ser prática de conservação do solo, reflete positivamente nas perdas de água por escoamento superficial, pois apresentou taxa de infiltração básica superior quando comparado com semeadura “*morro abaixo*”;

Há correlação entre a implantação e manutenção do SPD seguindo todas suas premissas, incluindo a manutenção da cobertura do solo e conseqüente redução da erosão

impactando de forma positiva no meio ambiente. Estudos confirmam que a implantação do SPD de forma responsável é eficiente no controle de erosão e a erosão provoca desajustes ambientais.

## REFERÊNCIAS

ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 519-531, 2004.

AGUIAR, M. I. de. **Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais**. 2008. 91 f. Mestrado (Dissertação) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

ALEXANDER, M. **Introduction to microbiology**. 2. ed. New York, Santa Barbara, London, Sidney, Toronto: John Wiley & Sons, 1977.

ALVARENGA, R. C.; CABEZAS, W. A. L.; CRUZ, J. C.; SANTANA, D. P. Plantas de cobertura de solo para Sistema Plantio Direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 208, p. 25-36, 2001.

ALVES SOBRINHO, T. **Desenvolvimento de um infiltrômetro de aspersão portátil**. 1997, 85 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

ARAÚJO E. A. de; KER J. C.; NEVES J. C. L.; LANI J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, PR, v. 5, n. 1, p. 187-206, 2012. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/270106254\\_Qualidade\\_do\\_solo\\_conceitos\\_indicadores\\_e\\_avaliacao](https://www.researchgate.net/publication/270106254_Qualidade_do_solo_conceitos_indicadores_e_avaliacao)>. Acesso em: 24 out. 2017.

ARAÚJO, A. S. F; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 23, n. 3, p. 66-75, July./Sept. 2007.

ARGENTON J.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; WILDNER, L.P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29:425-435, 2005.

ASSIS, R.L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; LANÇAS, K.P.; LAZARINI, G.D. Avaliação da resistência do solo à penetração em diferentes solos com a variação do

teor de água. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 4, 2009.

AYER, J. E. B.; OLIVETTI, D.; MINCATO, R. L.; SILVA, M. L. N. Erosão hídrica em Latossolos Vermelhos distróficos. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 45, n. 2, p. 180-191, abr./jun. 2015.

AYRES, Q. C. **La erosión del suelo y su control**. Barcelona: Ediciones Omega, 1960.

BALL, B. C.; BATEY, T.; MUNKHOLM, L. J. Field assessment of soil structural quality – a development of the Peerlkamp test. **Soil Use and Management**, v. 23, p. 329–337, 2007. Disponível em: < <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1475-2743.2007.00102.x/full>>. Acesso em: 17 nov. 2017.

BALOTA, E. L. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 22, n. 4. dez., 1998.

bb

BALOTA, E. L. Atividade microbiana em solo sob plantio direto. In: CONFERÊNCIA ANUAL DE PLANTIO DIRETO, 2 ed., Pato Branco. 1997. **Resumos de Palestras**, Passo Fundo, Aldeia Norte, 1997.

BARROSO, D. G.; SILVA, M. L. V. Poluição e conservação dos recursos naturais solo e água. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 16, n. 176, p. 17-24, 1992.

BARTZ, H. A. Pontos de vista dos produtores rurais sobre o plantio direto no controle de erosão. In: II SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO. Goiânia, GO, 03 a 06 de maio de 2001. BAVER, L. D. Practical values from physical analyses of soils. **Soil Sci.**, 68:1-13, 1949.

BAVER, L. D. Practical values from physical analyses of soils. **Soil Sci.**, 68:1-13, 1949.

BAYER, C.; MIELNICKZUK, J.; AMADO, T. J. C.; MARTINETO, L.; FERNANDES, S.V. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil Till. Res.**, v. 54, p. 101-109, 2000.

BELTRAME, L.F.S.; GOLDIN, L.A.R & TAYLOR, J.C. Estrutura e compactação na permeabilidade de solos do Rio Grande do Sul. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 5, p. 145-149, 1981.

BERNARDO, S. SOARES, A. A. MANTOVANI, EVERADO C. **Manual de irrigação**. Editora Ufv.

BERTOL, I.; ALMEIDA, J. A. de; ALMEIDA, E. X.; KURTZ, C. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem de capim-Elefante-Anão C.V. Mott. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 5, maio, 2000.

BERTOL, O. J. AMADO, T. J.C. SCHLOSSER, J. F.; REINERT, D. J. Desempenho de mecanismos sulcadores de semeadura sob condições de preparo reduzido do solo. **Rev. Bras. Ciência do Solo**. Campinas, SP, v.21, n.2, p.257-62, 1997.

BERTOL, I.; GUADAGNIN, J. C.; CASOL, P. C.; AMARAL, A. J.; BARBOSA, F. T. Perdas de fósforo e potássio por erosão hídrica em um Inceptisol sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, local de publicação, v. 28, p. 485-494, 2004.

BERTOL, I. B.; MELLO, E. L.; GUADAGNIN, J. C.; ZAPAROLLI, A. L. V.; CARRAFA, M. R. Nutrient losses by water erosion. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 60, n. 3, Piracicaba, SP, 2003.

BERTOL, O. J.; RIZZI, N. E.; BERTOL; ROLOFF, G. Perdas de solo e água e qualidade do escoamento superficial associadas à erosão entre sulcos em área cultivada sob semeadura direta e submetida às adubações mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 781-792, 2007.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. São Paulo: Ícone, 1990. 355 p

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 5.ed. São Paulo: Ícone, 2005. 355p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 6. ed. São Paulo: Ícone, 2008. 355 p.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; Roque, C. G.; Ferraz, M. V. Densidade relativa ótima de Latossolos Vermelhos para a produtividade de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, p. 843-849, 2005.

BEUTLER, J.F.; BERTOL, I.; VEIGA, M. & WILDNER, L.P. Perdas de solo e água num Latossolo Vermelho aluminoférrico submetido a diferentes sistemas de preparo e

cultivo sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, vol. 27, n.3, p.509-517, 2003.

BORGES, G. de O. Resumo histórico do Plantio Direto no Brasil. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Trigo. **Plantio Direto no Brasil**. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT -FECOTRIGO - Fundação ABC - Aldeia Norte, 1993.

BRADY, N.C. **Natureza e propriedades dos solos**. 7.ed. São Paulo: Freitas Bastos, 1989. 878p.

BRASIL, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. DIVISÃO DE PESQUISA PEDOLÓGICA. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Rio Grande do Sul**. Recife: DNPEA-MA, 1973. 431p. (Boletim Técnico N° 30)

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; REINERT, D.J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n.4, p.605-614, 2006.

BUBLITZ, U. MOTTER, P.; DE ALMEIDA H. G. (Coord). **Plantio direto: A tecnologia que revolucionou a agricultura brasileira**. Foz do Iguaçu: Parque Itaipu, 2015. Entrevista concedida a MOTTER, P. by water erosion. *Sci. Agr.*, 60:581-586, 2003.

CABEDA, M.S.V. Degradação física e erosão do solo. In: **SIMPÓSIO DE MANEJO DO SOLO E PLANTIO DIRETO NO SUL DO BRASIL, 1. SIMPÓSIO DE CONSERVAÇÃO DO SOLO DO Planalto**, 3. 1984, Passo Fundo. Anais. Passo Fundo, PIUCS e UPF – Faculdade de Agronomia 1984. P. 28-33

CALEGARI, A. Plantas de cobertura. In: CASÃO JUNIOR, R. *et al.* **Sistema Plantio Direto com qualidade**, Londrina-Foz do Iguaçu: IAPAR/Itaipu Binacional, v. 1, 2006.

CAMARA R. K. **Influência da escarificação do solo sob Sistema Plantio Direto nas propriedades do Solo e na cultura da soja**. 2004. Dissertação (Mestrado) - Universidade de passo fundo. Faculdade de agronomia e medicina veterinária Programa de pós-graduação, Passo Fundo, janeiro de 2004.

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

CAMARGO, F. F. **Indicadores físicos, químicos e biológicos da qualidade do solo em sistemas agroflorestais agroecológicos na área de preservação ambiental Serra da Mantiqueira**. 2016. 242 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

CAMPOS, B. C.; REINERT, D. J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, p.121-126, 1995.

CANTERI, M. G., ALTHAUS, R. A., VIRGENS FILHO, J. S., GIGLIOTI, E. A., GODOY, C. V. SASM - Agri: Sistema para análise e separação de médias em experimentos agrícolas pelos métodos Scoft - Knott, Tukey e Duncan. **Revista Brasileira de Agrocomputação**, v. 1, n. 2, p. 18-24, 2001.

CAPECHE, C. L. Noções sobre tipos de estrutura do solo e sua importância para o manejo conservacionista. **Comunicado técnico**. Embrapa. Rio de Janeiro, RJ. Dezembro, 2008. Disponível em: <[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/comtec51\\_2008\\_nocoos\\_](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/comtec51_2008_nocoos_)>. Acesso em: 11 de nov. de 2017.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D. de; REIS, E. F. dos; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. de. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 147-157, 2009.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos à diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, p. 99-105, 1990.

CARVALHO, D. F.; CRUZ, E. S.; PINTO, M. F.; SILVA, L. B.; GUERRA, J. G. M. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, UAEA/UFCG. v. 13, n. 1, p. 3-9, 2009.

CASÃO JR. *et. al.* **Plantio direto no Sul do Brasil: Fatores que facilitaram a evolução do sistema e o desenvolvimento da mecanização conservacionista**. Londrina: IAPAR, 2012.

CASÃO JR. *et. al.* **Plantio direto: A técnica que revolucionou a agricultura brasileira**. Foz do Iguaçu, Parque Itaipu, 2015.

CASSOL, E. A.; LIMA, V. S. Erosão em entressulcos sob diferentes tipos de preparo e manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 1, p. 117-124, 2003.

CASSOL, E. A.; DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A. Sistema Plantio Direto: evolução e implicações sobre a conservação do solo e da água. In: Ceretta, C. A.; Silva, L. S.; Reichert, J. M. (ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 5, p.333-370, 2007.

CASTRO, O. M. de. Cultivo mínimo e propriedades físicas do solo. In: SEMINÁRIO DE CULTIVO MÍNIMO, 1., 1995, Curitiba. **Anais...**Curitiba: IPEF, 1995. p. 34-42.

CECATTO, C. A. **Modelagem das perdas de solo e água por erosão hídrica pluvial**. 2014. 130 f. Tese (Doutorado - Programa de Pós-graduação em Manejo do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveteinárias, Lages, SC, 2014.

CHAMEN, T.; ALAKUKKU, L. PIRES, S.; SOMMERD, C.; SPOOR, G.; TIJINK, F.; WEISSKOPF, P. Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: a review Part 2. Equipment and field practices. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 73, n. ½, p. 161-174, 2003.

COGO N. P.; R. LEVIEN; R. A. SCHWARZ. Perdas de solo e água por erosão hídrica Influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** [online], v. 27 n. 4, 743-753, 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v27n4/a19v27n4.pdf>>. Acesso em: 14 de novembro.

COGO, N. P.; MOLDENHAUER, W. C.; FOSTER, G. R. Soil loss reductions from conservation tillage practices. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Soil Sci. Soc. Am. J., 48:368-373, 1984.

COGO, N. P.; PORTELA, J. C.; AMARAL, A. J.; TREIN, C. R.; GILLES, L.; BAGATINI T.; CHAGAS, J. P. Erosão e escoamento superficial em semeadura direta efetuada com máquina provida de hastes sulcadoras, influenciados pela direção da operação de semeadura e pela cobertura superficial do solo. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 31, 2007, Gramado. **Resumos...** Gramado: SBCS, 2007. CD-Rom.



COGO, N. P. **Effect of residue cover, tillage induced-roughness, and slope length on erosion and related parameters.** 1981. 346 f. Tese (Doutorado) - West Lafayette, Purdue University, 1981.

COGO, N. P.; FOSTER, G. R.; MOLDENHAUER, W. C. Flow rates-soil erosion relationships as affected by wheat residue cover: an attempt to define slope-length limits for conservation tillage. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, R. Bras. Ci. Solo, 20:475-483, 1996.

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** Viçosa, MG, v. 29, n.5, p. 777-788, 2005. vol.29 no.5 Viçosa Sept./Oct. 2005

COOPER, M.; MAZZA, J. A. **Densidade do solo e densidade de partículas.** LSO 310 – física do solo. Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3347628/mod\\_resource/content/1/Aula%20\\_Densidade%20do%20solo\\_%20densidade%20de%20part%C3%ADculas\\_%202017.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3347628/mod_resource/content/1/Aula%20_Densidade%20do%20solo_%20densidade%20de%20part%C3%ADculas_%202017.pdf)>. Acesso em: 27 de dezembro de 2017.

COSTA, C. D. de O.; ALVES M. C.; SOUSA, A. de P.; SILVA, H. R.; FILHO, S. N. S.; ARRUDA, O. G. de. Porosidade dos solos de uma sub-bacia hidrográfica sob processo de degradação ambiental. **XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo.** 02 a 07 de agosto de 2015. Disponível em: <<http://eventosolos.org.br/cbcs2015/arearestrita/arquivos/458.pdf>>. Acesso em: 22 out. 2017.

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas de plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 27, p. 527-535, 2003.

COSTA, J. V. B. **Caracterização e constituição do solo.** 7. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2004. 527 p.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI M.; LOPES, K. S. M.; KAZUO. L. y.; FERREIRA, J. P.; PARIZ, C. M.; BONINI CAROLINA, S. B.; LONGHINI, V. Z. Atributos do solo e acúmulo de carbono na integração lavoura-Pecuária em Sistema Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 852-863, 2015.

CROSSON, P. Will erosion threaten agricultural productivity? **Environment**, v. 39, n. 8, p. 4-31, 1997.

CRUZ, E. S. da. **Influência do Preparo do Solo e de Plantas de Cobertura na Erosão Hídrica de um argissolo Vermelho-Amarelo**. 2006. Tese (Doutorado - Curso de pós-graduação em agronomia. Ciência do solo) - Universidade Federal Rural Do Rio De Janeiro, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/daniel/Downloads/Material/Teses%20Orientadas/Tese%20Influencia%20do%20preparo%20do%20solo.pdf>>. Acesso em: 12 nov. 2017.

CRUZ, E. S. **Influência do preparo do solo e de plantas de cobertura na erosão hídrica de um Argissolo Vermelho-Amarelo**. Seropédica: UFRRJ, 2006a, 58p. Dissertação Mestrado.

CRUZ, J. C.; ALVARENGA, R. C.; NOVOTNY, E. H.; PEREIRA, F. S.; PERREIRA, F. T. F.; HERNANI, L. C. **Cultivo do milho: sistema de plantio direto**, Embrapa-CNPMS, Sete Lagoas, 2002.

DALLA COSTA, R. **Nutrientes na água de escoamento superficial em Sistema Plantio Direto com mulching vertical**. 2004. 63 f. Tese (Mestrado) - Universidade de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

DALMAGO, G. A.; BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I.; KRUGER, C. A. M.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Retenção e disponibilidade de água às plantas, em solo sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, p. 855–864, 2009. (Suplemento). Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-43662009000700007](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662009000700007)>. Acesso em: 18 de novembro de 2017.

DAVALO, M. J. **Curva de retenção de água no solo estimado pelo método da câmara de Richards e psicrômetro**. 2013. 48 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho”, Jaboticabal, SP, 2013. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/88324/000725696.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 18 de novembro de 2017.

DECHEN, Sônia C. F. ; TELLES, Tiago S.; GUIMARÃES, Maria de Fátima. DE MARIA, Isabella C. **Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo**. Instituto Agrônômico (IAC), Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Solos e Recursos Ambientais. Disponível: <http://www.scielo.br/pdf/brag/v74n2/0006-8705-brag-74-2-224.pdf>. Acesso em: 18 de janeiro de 2018.

DE MARIA, I. C. Erosão e terraços em plantio direto. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Campina Grande, PB, v. 24, p. 17-22, 1999.

DENARDIN, J.E. Manejo adequado do solo para áreas motomecanizadas. In: SIMPÓSIO DE MANEJO DO SOLO E PLANTIO DIRETO NO SUL DO BRASIL, 1., SIMPÓSIO DE CONSERVAÇÃO DO SOLO DO PLANALTO, 3., 1984, Passo Fundo. Anais. Passo Fundo, PIUCS e UPF – Faculdade de Agronomia, 1984. p.107-124. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v23n1/05.pdf>. Acesso em 28 de setembro de 2017.

DENARDIN, J. E. **Evolução do SPD no Brasil**. AGEITEC. Agência Embrapa de informação tecnológica. 2017. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/sistema\\_plantio\\_direto/arvore/CONT000fh2b6ju702wyiv80rn0etnxng2vnj.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/sistema_plantio_direto/arvore/CONT000fh2b6ju702wyiv80rn0etnxng2vnj.html)>. Acesso em: 21 out. 2017.

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; RIGHES, A. A. Mulching Vertical: técnica de manejo de enxurradas em Sistema Plantio Direto. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 85, 2005.

DENARDIN, J. E.; FAGANELLO, A.; SANTI, A. Falhas na implementação do Sistema Plantio Direto levam a degradação do solo. **Revista Plantio Direto**, v. 18, p. 33-34, 2008.

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; FAGANELLO, A.; SATTTLER, A.; MANHAGO, D.D. "Vertical mulching" como prática conservacionista para manejo de enxurrada em Sistema Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, p. 2847-2852, 2008c. Número especial.

DENARDIN, J. E.; FAGANELLO, A.; SANTI A.; falhas na implementação do Sistema Plantio Direto levam à degradação do solo. **Boletim Informativo da Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha**, Ponta Grossa, p.6-10, jul. 2010.

DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N.; KOPKE, V. **Controle da erosão no Paraná, Brasil**: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo - Convênio IAPAR e GTZ, Londrina, PR. 1990. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v39n3/0100-0683-rbcs-39-3-0852.pdf>>. Acesso em: 17 nov. 2017.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**, Madison, SSSA, c1994. p. 1-20. (Special, 35).

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. 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, Wisconsin: Soil Science Society American, 1994. (Special Publication, 35).

ELLISON, W. D. Soil detachment and transportation. **Soil Conserv.**, 11, p.171-190, 1946

ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A.; GUERRA, M.; ABRÃO, P. U. R. Perdas de solo e água por erosão em diferentes sistemas de manejo e coberturas vegetais em solo São Pedro (Podzólico Vermelho Amarelo) sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.8, p.245-249, 1984.

EMATER - RS. Agrolink, 2015. **Conservar o solo garante sustentabilidade ambiental e produção de alimentos**. Disponível em: <[https://www.agrolink.com.br/noticias/conservar-o-solo-garante-sustentabilidade-ambiental-e-producao-de-alimentos\\_217800.html](https://www.agrolink.com.br/noticias/conservar-o-solo-garante-sustentabilidade-ambiental-e-producao-de-alimentos_217800.html)>. Acesso em: 18 nov. 2017.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2. ed. rev., Rio de Janeiro, 230p, 2011. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/990374/manual-de-metodos-de-analise-de-solo>>. Acesso em: jan. 2018.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2. ed. rev. atual., Rio de Janeiro, 1997. 212 p: il. (EMBRAPA-CNPS. Documentos; 1). Disponível em: <[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Manual+de+Metodos\\_000fzvhotqk02wx5ok0q43a0ram31wtr.pdf](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Manual+de+Metodos_000fzvhotqk02wx5ok0q43a0ram31wtr.pdf)>. Acesso em: 18 dez. 2017.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de Solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. Disponível em: <[estrutura\\_solo\\_000g3h86s8u02wx5ok0r2ma0ndtwqqga.pdf](estrutura_solo_000g3h86s8u02wx5ok0r2ma0ndtwqqga.pdf)>. Acesso em: 28 nov. 2017.

EMBRAPA. **Plantio Direto no Brasil**. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT / FECOTRIGO, FUNDAÇÃO ABC / ALDEIA NORTE, 1993.

FEBRAPDP - FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO E IRRIGAÇÃO. **Boletim Informativo n. 31**, janeiro a março/2007. Disponível em: <[https://febrapdp.org.br/download/informativo/ed31\\_febra.pdf](https://febrapdp.org.br/download/informativo/ed31_febra.pdf)>. Acesso em: 21 out. 2017.

FEBRAPDP - FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO E IRRIGAÇÃO. **Evolução da área cultivada no Sistema Plantio Direto na palha – Brasil**. Disponível em: <[http://febrapdp.org.br/download/PD\\_Brasil\\_2013.I.pdf](http://febrapdp.org.br/download/PD_Brasil_2013.I.pdf)>. Acesso em: 21 out. 2017.

FERNANDES, B.; GALLOWAY, H. M.; BRONSON, R.D. Efeito de três sistemas de preparo do solo na densidade aparente, na porosidade total e na distribuição dos poros em dois solos (Typic Argiaquoll e Typic Hapludalf). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 7, n. 3, p. 329-333, 1983.

FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. In: LIER, Q. J. Van. (Ed). **Física do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 1-27, 2010.

FIORIN, J. E. Rotação de culturas e plantas de cobertura do solo. In: FIORIN, J. E. **Manejo e fertilidade do solo no Sistema Plantio Direto**, Passo Fundo: Berthier, 2007.

FOSTER, G. R. Modeling the erosion process. In: Haan, C. T. (Eds.). Hydrologic modeling of small watersheds. St. Joseph, **American Society of Agricultural Engineers**, 1982. P. 297-380. (ASAE Monograph, 5)

FRANCHINI, I. C.; DEBIAIS, H.; SACOMAN, A.; NEPOMUCENO, A. L.; FARIAS, J. R. B. Manejo do solo para redução das perdas de produtividade pela seca. **Documentos, Embrapa Soja**, Londrina, 2009.

FREITAS, PEDRO LUIS DE. **Sustentabilidade: harmonia com a natureza**. Disponível em: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=2ahUKEwiiuIapjNDhAhVBLLkGHYbrCfsQFjACegQIARAC&url=http%3A%2F%2Fbibliotecadigital.fgv.br%2Fojs%2Findex.php%2Fagroanalysis%2Farticle%2Fdownload%2F50478%2F49282&usq=AOvVaw21d22anFMiPiCpl0cJgJy5>. Acesso em: 18 de dez de 2017.

GARCIA, M. R. L. **Indicadores microbiológicos e químicos do solo sob diferentes sistemas de manejo agropecuário**. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, São Paulo, 2007. Disponível em:

<<http://www.fcav.unesp.br/download/pgtrabs/micro/d/2731.pdf>>. Acesso em: 18 de dez. 2017.

GASSEN, D.; GASSEN, F. **Plantio direto: O caminho do futuro**. Passo Fundo, Aldeia Sul, 1996. 27 p.

GENRO JUNIOR., S.A. **Alteração da compactação do solo com o uso de rotação de culturasno sistema plantio direto**. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2002.90p. (Tese de Mestrado).

GENRO JUNIOR, S. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; ALBUQUERQUE, J. A. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho e produtividade de culturas cultivadas em sucessão e rotação. **Ciência Rural**, v. 39, n. 1, p. 65-73, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v39n1/a11v39n1.pdf>>. Acesso em: 18 dez. 2017.

GENRO JUNIOR, S.A. **Alteração da compactação do solo com o uso de rotação de culturas no Sistema Plantio Direto**. 2002. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria Santa Maria, 2002.

GIAROLA, N. F. B; SILVA, A. P.; 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 and Tillage Research**, v. 127, p. 60-64, 2013.

GIRARDELLO, V. C. **Qualidade física de um latossolo submetido a escarificação sitio específico e o rendimento da soja sob plantio direto**. Dissertação de Mestrado, UFSM, RS, 2010.

GIRARDELLO, V.; AMADO, T.; ERTEL C.; GARLET, L. **Benefícios do tráfego controlado de máquinas**. Agricultura de Precisão. Maio de 2014, UFSM. Disponível em: <[http://w3.ufsm.br/projetoaquarius/pdfs/artigos/\\_a\\_agranjavitorcgirardello.pdf](http://w3.ufsm.br/projetoaquarius/pdfs/artigos/_a_agranjavitorcgirardello.pdf)>. Acesso em 14 nov. 2017.

GIRARDELLO, V. C. **Atributos físicos do solo e a produtividade de soja e milho em área sob tráfego controlado de máquinas agrícolas**. Santa Maria, 2014. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, 2014. Disponível em: <[http://w3.ufsm.br/ppgea/images/Tese\\_Vitor\\_Cauduro\\_Girardello.pdf](http://w3.ufsm.br/ppgea/images/Tese_Vitor_Cauduro_Girardello.pdf)>. Acesso em 23 de dezembro de 2017.

GOEHL, CLAUDIR MARCELO. **Semeadura de precisão e utilização de tráfego controlado em máquinas agrícolas: estudo de caso**. Janeiro de 2015, UFSM. Disponível em: <<http://w3.ufsm.br/ppgap/images/dissertacoes/2015/Claudir-Marcelo-Goehl.pdf>>. Acesso em 28 de dez. 2017.

GONÇALVES, A. D. M. de A.; LIBARDI, P. L. Análise da determinação da condutividade hidráulica do solo pelo método do perfil instantâneo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2013. Comissão 2.2 - Física do solo. Disponível em: <<https://www.sbcs.org.br/wp-content/uploads/2013/11/07-177.pdf>>. Acesso em: 16 de novembro de 2017.

GUARIZ H. R.; CAMPANHARO W. A.; PICOLI M. H. S.; CECÍLIO R. A.; HOLLANDA M. P. de. Variação da umidade e da densidade do solo sob diferentes coberturas vegetais. XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril, 2009. **Anais... INPE**.

GUIMARÃES, G. L. Impactos ecológicos do uso de herbicidas ao meio ambiente. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 4, n. 12, p. 159–180, set. 1987.

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, set, 2011. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1475-2743.2011.00354.x/pdf>>. Acesso em: 21 de novembro de 2017.

GUPTA, S.C. & ALLMARAS, R.R. Models to access the susceptibility of soil to excessive compaction. **Adv. Soil Sci.**, v. 6, p. 65-100, 1987.

HILLEL, D. *Environmental soil physics*. New York: Academic Press, 1998. 771p

HUDSON, N. **Soil conservation**. 3. ed. Ames: Iowa State University Press, 1995.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manual técnico de pedologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. Manuais Técnicos em Geociências, 04.

ISLAM, K.R.; WEIL, R.R. Soil quality indicators properties in Mid-Atlantic soils as influenced by conservation management. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 55, n. 01, p.69-78, 2000.

JÚNIOR C. A. F.; NUNES M. C. M.; SANTOS F. A. S.; FREITAS, P. S. L. de; DALLACORT R. Construção e calibração de um simulador de chuva portátil. **Enciclopédia biosfera: Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 9, n. 17; p. 2013. Recebido em: 30 set. 2013. Aprovado em: 08 nov. 2013. Publicado em: 01 dez. 2013.

KAISER, D. R. **Estrutura e água em argissolo sob distintos preparos na cultura do milho**. 2010. 151 f. Tese (Doutorado - Programa de pós-graduação em ciência do solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010. Disponível em: <<http://w3.ufsm.br/ppgcs/images/Teses/DOUGLAS-RODRIGO-KAISER-TESE.pdf>>. Acesso em: 06 de novembro de 2017.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: Relação solo-água-plantas**. São Paulo, Agronômica Ceres, 1979. 262 p.

KLEIN C.; KLEIN V. A. Estratégias para potencializar a retenção e disponibilidade de água no solo. Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas da UFSM, Santa Maria. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental – REGET**, Santa Maria, v. 19, n. 1, jan./abr. 2015. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/reget/article/viewFile/14990/pdf>>. Acesso em: 06 de novembro de 2017.

KLEIN, C.; KLEIN, V. A. Influência do manejo do solo na infiltração de água. **Revista Monografias Ambientais - REMOA** v.13, n.5, dez. 2014, Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas - UFSM, Santa Maria, RS.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Condutividade hidráulica de um latossolo roxo, não saturado, sob diferentes sistemas de manejo. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 32, p. 945-953, 2002.

KLEIN, V. A. **Física do Solo**. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2008. 212 p.

KLEIN, V.A. Densidade relativa: Um indicador da qualidade física de um Latossolo vermelho. **R. Ci. Agron.**, v. 5, p. 26-32, 2006.

LLANILLO, R. F.; RICHART, A; FILHO, J.T.; GUIMARÃES, M.F.; FERREIRA, R. M. Evolução de propriedades físicas do solo em função dos sistemas de manejo em



culturas anuais. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 27, n. 2, p. 205-220, abri/jun, 2006.

LAVELLE, P.; BIGNELL, D.; LEPAGE, M.; WOLTERS, V.; ROGER, P.; INESON, P.; HEAL, O.W.; DHILLION, S. Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. ***European Journal of Soil Biology***, v. 33, 1997.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 178 p.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 216 p.

LISBOA, B. B.; VARGAS, L. K.; SILVEIRA, A. O. D.; MARTINS, A. F.; SELBACH, P. A. Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. ***Revista Brasileira de Ciência do Solo***, Viçosa, MG, v. 36, n. 1, p. 33-43, 2012.

LIMA, C. A. De, MONTENEGRO, A. A. De A.; SANTOS, T. E. M dos; ANDRADE, E. M. de; MONTEIRO, A. L. N. Práticas agrícolas no cultivo da mandioca e suas relações com o escoamento superficial, perdas de solo e de água. ***Revista Ciência Agronômica***, v. 46, n. 4. P. 697-706, out.dez, 2015.

LONDERO, A. L. **Perdas de água e sedimento de bacias pareadas de ordem zero sob plantio direto com e sem terraço**. 2015. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, RS, 2015.

LOPES, P. R. C.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Eficácia relativa de tipo e quantidade de resíduos culturais espalhados uniformemente sobre o solo na redução da erosão hídrica. ***Revista Brasileira Ciência do Solo***, Campinas, v. 11, n. 1, p. 71-75, 1987.

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

MARIOTI, J. **Erosão hídrica em cambissolo húmico cultivado com milho e soja sem preparo do solo, nas direções da pendente e em contorno ao declive, comparada ao**

**solo sem cultivo.** 2012. 74 f. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC, 2012.

MARQUES, J. Q. A., BERTONI, J.; BARRETO, G. B. **Perdas por erosão no estado de São Paulo.** *Bragantia*, v. 20, p. 1143-1182, 1961. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87051961000100047>>. Acesso em: 8 dez. 2017.

MARTINS, S. G. *et al.*, Avaliação de atributos de um Latossolo Vermelho distroférrico sob diferentes povoamentos florestais. **Cerne**, Lavras, v. 8, n. 1, p. 32-41, jan./jun. 2002.

MATSUOKA, M.; MENDES, I. C.; LOUREIRO, M. F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste/MT. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 425-433, 2003.

MEHL, H. U. **Caracterização de padrões de chuvas ocorrentes em Santa Maria (RS) e sua relação com as perdas de solo e água em entre sulcos.** 200º. 53 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

MERCANTE, F. M.; FABRICIO, A. C; MACHADO, L. A. Z.; SILVA, W. M. P. **Parâmetros microbiológicos como indicadores de qualidade do solo sob sistema integrados de produção agropecuária.** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2004. 27 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 20).

MERLIM, A. de O.; GUERRA, J.G.M.; JUNQUEIRA, R.M.; AQUINO, A.M. de. Soil macrofauna in cover crops of figs grown under organic management. **Scientia Agricola**, v. 62, p. 57-61, 2005.

MEURER, E. J. Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTI, R. B.; NEVES, J. C. L: **Fertilidade do solo.** 1. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

MEYER, L. D. Rainfall simulator for runoff plots. **Journal of Agricultural Engineering**, v. 10, p.644-648, 1958.

MEYER, L. D; HARMON, W. C. Multiple intensity rainfall simulator for erosion research on row sideslopes. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 22, n. 1, p. 100-103, 1979.

MORAES, R.N.S. **Decomposição das palhadas de sorgo e milho, mineralização de nutrientes e seus efeitos no solo e na cultura do milho em plantio direto**. 2001, 90f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras - UFLA, Lavras, 2001.

MINELLA, J.P.G.; MERTEN, G.H.; WALLING, D.E.; REICHERT, J.M. **Changing sediment yield as an indicator of improved soil management practices insouthern Brazil**, Catena, v. 79, p. 228-236, 2009.

MORENO, José Alberto. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura, 1961. 42 p.

MOTTER, P.; DE ALMEIDA H. G. (Coord). **Plantio direto: A tecnologia que revolucionou a agricultura brasileira**. Foz do Iguaçu: Parque Itaipu, 2015.

MUZILLI, O. Manejo da matéria orgânica no Sistema Plantio Direto: a experiência no Estado do Paraná. *In*. Simpósio sobre rotação soja/milho no plantio direto, v. 3, 2002. **Anais...** Piracicaba: POTAFOS, 2002.

MUZILLI, O. Manejo do solo em Sistema de Plantio Ddireto. *In*: CASÃO JUNIOR, R. *et al*. **Plantio direto com qualidade**. Londrina, Foz do Iguaçu: IAPAR, Itaipu Binacional, 2006.

NIERO, L. A. C. *et al*. Avaliações visuais como índice de qualidade do solo e sua validação por análises físicas e químicas em um Latossolo Vermelho distro-férrico com usos e manejos distintos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 4, p.1271-1282, 2010.

NOLLA, Delvino. **Erosão do solo o grande desafio**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, Departamento de Zoologia, 1982.

NUNES, L.A.P.L. **Qualidade de um solo cultivado com café e sob mata secundária no Município de Viçosa-MG**. 2003. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2003.

NUNES, J.A.S.; SILVEIRA, M. H. D.; SILVA, T. J. A. ; NUNES, P. C. M; CARVALHO, K. S. Velocidade de infiltração pelo método do infiltrômetro de anéis concêntricos em Latossolo Vermelho de cerrado. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 15; p. 1685, 2012.

PANACHUKI, E. **Infiltração de Água no Solo e Erosão Hídrica, Sob Chuva Simulada, em Sistema de Integração Agricultura-Pecuária**. 2003. 59 f. Dissertação (Mestrado Em Produção Vegetal - Programa de Pós-Graduação em Agronomia) - Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, 2003.

PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; SOBRINHO, T.A.; OLIVEIRA, P.T.S. & RIDRIGUES, D.B.B. **Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo**. R. Bras. Ci. Solo, 35:1777-1785, 2011. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06832011000500032&lng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832011000500032&lng=en)

PARAHYBA, R. da B.V.; ALMEIDA, B. G. NETO, F. C. R. ARAÚJO, M. do S. Condutividade hidráulica dos solos arenosos da região semiárida da Bacia sedimentar do Tucano no município de Glória, Bahia. **Anais do III Reunião Nordestina de Ciência do Solo: Integração e uso do conhecimento para uma agricultura sustentável**. Aracaju, SE. 12 a 15 de setembro de 2016. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/152046/1/2016-090.pdf>>. Acesso em: 08 de novembro de 2017.

PARANÁ (Estado). SECRETARIA DE ESTADO DE AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO. **Manual técnico do subprograma de manejo e conservação do solo**. Curitiba, 1994. 306 p.

PARANÁ (Estado). SECRETARIA DE ESTADO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO. **Manual técnico do subprograma de manejo e conservação do solo**. Curitiba, 1989. 306 p.

PEDROTTI, A.; DIAS JUNIOR, M. S. Compactação do solo: como evitá-la. **R. Agropec. Catarinense**, Florianópolis, v. 9, p. 50-52, 1996.

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. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v25n3/01.pdf>>. Acesso em: 08 de novembro de 2017.

PEREIRA, M. A. F. **Processos hidrossedimentológicos em Diferentes escalas espaço temporais no Biomamata atlântica**. 2010. 118 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

PHILLIPS, S. H.; YOUNG JR., H. M. **No-tillage farming**. Kentucky, USA.1973

PIRES, L. F; ROSA, J. A; TIMM, L. C. Comparação de métodos de medida da densidade do solo. **Acta Scientiarum**. Agronomy, Maringá, v. 33, n. 1, p. 161-170, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/asagr/v33n1/v33n1a23.pdf>>. Acesso em: 18 de novembro de 2013

POTT, C. A. Determinação da velocidade de infiltração básica de água no solo por meio de infiltrômetros de aspersão, de pressão e de tensão, em três solos do Estado de São Paulo. Campinas, SP, 2001. Dissertação. Mestrado.

PRADO, R. M.; NATALE, W.; FURLANI, C. E. A. **Manejo mecanizado de atividades para a implantação de culturas**. Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002. 99 p.

PREVEDELLO, C. L. **Física do Solo com Problemas Resolvidos**. Curitiba: Editora SAEAFS, 1996.

PRUSKI F. F.; SILVA D. D. da. **Escoamento superficial**. Edição 2, Universidade Federal de Viçosa, 2003.

PRUSKI, F. F. (Ed.). **Conservação do solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. Viçosa: Ed. UFV, 2006.

PRUSKI, F. F.; BRANDÃO, V. D. S.; SILVA, D. D. D. **Escoamento superficial**. 2 ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2011.

PRUSKI, F.F. Aplicação de modelos físico-matemáticos para a conservação de água e solo. In: SILVA, D.D.; PRUSKI, F.F. (Eds.). **Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura**. Brasília: MMA; SRH; ABEAS e VIÇOSA: UFV/Departamento de Engenharia Agrícola, 1997.

PRUSKI, F.F. **Desenvolvimento de metodologia para o dimensionamento de canais de terraço**. 1993. 97 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1993.

QUEIROZ-VOLTAN, R. B.; NOGUEIRA, S. S. S.; MIRANDA, M. A. C. Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 35, p. 929- 938, 2000.

RAIJ, B. Van; LOMBARDI NETO, F.; SARTINI, H. J.; KHUN NETO, J.; MOURA, J. C. de; DRUGOWICH, M. I.; CORSI, M.; CASTRO, O. M. de; BERTON, R. S. **Manual técnico de manejo e conservação de solo e água**, Campinas, SP, Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, v. 3., 1993, 102 p. (Manual Técnico, 40)

REICHARDT, K.; TIMM, L. C.; SILVA, A. L. da. ; BRUNO, I. P. O SPD mantendo o equilíbrio dinâmico da matéria orgânica. **Revista Visão Agrícola**. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ). (2009) Disponível em: <https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/VA9-Microbiologia02.pdf>. Acesso em 14 de novembro de 2017.

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

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

REICHERT, J.M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos Solos e Sustentabilidade dos Sistemas Agrícolas. **Ciência e Ambiente**, UFSM, 2003, v. 27, 2003.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. **Propriedades Físicas Do Solo**. Universidade Federal de Santa Maria. CCR. Santa Maria, maio, 2006. Disponível em: <[https://www.agro.ufg.br/up/68/o/An\\_lise\\_da\\_zona\\_n\\_o\\_saturada\\_do\\_solo\\_\\_texto.pdf](https://www.agro.ufg.br/up/68/o/An_lise_da_zona_n_o_saturada_do_solo__texto.pdf)> . Acesso em: 14 de novembro de 2017.

RIBEIRO, K. D.; MENEZES, S. M.; MESQUITA, M. G. B. F.; SAMPAIO, F. M. T. RODRIGUES, M. H. Propriedades físicas do solo, influencias pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras, MG. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 4, p. 1167-1175.

RIBEIRO, K. D.; MENEZES, S. M.; MESQUITA, M. G. B. F.; SAMPAIO, F. M. T. RODRIGUES, M. H. **Infiltração da água no solo dos cerrados do Brasil: Utilizando cilindros infiltrômetros de dimensões reduzidas.** Jataí, GO: Universidade Federal de Goiás, Campus Jataí, 2013.

RIGATO, M.A.; DEDECEK, R.A. & MATTOS, J.L.M. **Influência dos atributos do solo sobre a produtividade de Pinus taeda.** R. Árvore, 29:701-709, 2005.

ROSA, H, A. **Potencial estruturante de espécies de cobertura em um latossolo argiloso e seus reflexos no rendimento de grãos e de óleo do crambe.** 39f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Programa de Pós Graduação Stricto Sensu em Energia na Agricultura, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas. Cascavel, PR. 2013.

RUEDELL, J. **Plantio direto na região de Cruz Alta.** Cruz Alta: FUNDACEP FECOTRIGO, 1995. 134 p.

RUEDELL, J. Soja numa agricultura sustentável. In: Silva, Mauro Tadeu Braga da. (Coord.): **A soja em rotação de culturas no plantio direto.** Cruz Alta: Fundacep Fecotrigo, p. 1-34, 1998.

RUEDELL, J. Estudos comparativos de 32 anos dos Sistemas Plantio Direto e Convencional. plantio direto (Org.): Cruz Alta: CCGL TEC, 2017. (prelo).

SANTANA, C. S. **Indicadores físicos da qualidade de solos no monitoramento de pastagens degradadas na região sul do Tocantins.** Universidade federal do Tocantins. Campus universitário de Gurupi. Dissertação apresentada à Universidade Federal do Tocantins. Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal. Gurupi – Tocantins, 2009.

SANTI, A.L.; CORASSA, G.M.; GAVIRAGHI, R.; BISOGNIN, M.B.; BASSO, C.J.; DELLA FLORA, L P.; CASTRO, D.M. DE; DELLA FLORA, D.P. Multifuncionalidade de biomassas de cobertura do solo e agricultura de precisão. **Revista Plantio Direto**, n. 137/138, p. 16-23, 2013.

SANTOS, H.P.; LHAMBY, J.C.B.; SPERA, S.T. Rendimento de grãos de soja em função de diferentes sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas. **Ciência Rural**, Santa Mariam v. 36, p. 21-29, 2006. Disponível em:

<<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782006000100004>>. Acesso em: 16 de dezembro de 2017.

SANTOS, J. N.; PEREIRA, E. D. Carta de susceptibilidade a infiltração da água no solo na sub-bacia do rio Maracanã-MA. **Cadernos de Pesquisa**, São Luís, v. 20, n. especial, julho 2013.

SEQUINATTO, L. **Qualidade física do solo e rendimento de grãos num argissolo em processo de recuperação**. 2010. 158 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

SCHELEDER, J. LIMA de, M.R. **Experimentoteca de solos densidade do solo. Experimentoteca de Solos, Programa Solo na Escola, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da UFPR**. [21?] Disponível em: <<http://www.escola.agrarias.ufpr.br/arquivospdf/experimentotecasolos13.pdf>>. Acesso em: 29 ago 2017.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; BATISTELA, O.; BALBINOT JR., A. A. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I. Perdas de solo e água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, n. 24, p. 427-436, 2000.

SCHWARZ, R.A. **Perdas por erosão hídrica em diferentes classes de declividade, sistemas de preparo e níveis de fertilidade do solo na Região das Missões - RS**. 1997. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

SANTOS, J. N.; PEREIRA, E. D. **Carta de susceptibilidade a infiltração da água no solo na sub-bacia do rio Maracanã-MA**. **Cadernos de Pesquisa**, São Luís, v. 20, n. especial, julho 2013.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V.; LIMA, F. W. F. Efeito de sistemas de uso e manejo nas propriedades físico-hídricas de um Argissolo Amarelo de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 833-842, 2005.

SILVA, A. M. da. **Banco de dados de curvas de retenção de água de solos brasileiros**. 2005. 141 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.



SILVA, I. C. da. Estudo da capacidade de infiltração de água diante de diferentes usos do solo no município de Itapororoca/PB. **Revista Geonorte**, Amazonas, v. 1, n. 4, p. 648 – 662, 2012. (Edição Especial).

SILVA, M. L. N.; CURI, N.; BLANCANEUX, P. Sistemas de manejo e qualidade estrutural de Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 12, p. 2485-2492, 2000a. Disponível em: <<https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/viewFile/6044/3148>>. Acesso em: 08 de novembro de 2017.

SILVA, M. T. B. da. Influência da rotação de culturas na infestação e danos causados por *Sternechus subsignatus* (Boheman) Coleoptera: Curculionidae em plantio direto. **Ciência rural**, Santa Maria, v. 26, n. 1, p. 1-5, 1996.

SILVA, R. F. da; AQUINO, A.M. de; MERCANTE, F.M.; GUIMARÃES, M. de F. Macrofauna invertebrada do solo sob diferentes sistemas de produção em Latossolo da Região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 697-704, 2006.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Suscetibilidade à compactação de um Latossolo Vermelho - Escuro e de um Podzólico Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 239-249, 2000b.

SILVEIRA, P. M. da; STONE, L. F. Sistemas de preparo do solo e rotação de culturas na produtividade de milho, soja e trigo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 240-244, 2003.

SOANE, B.D.; OUWERKERK V. C. Soil compaction problems in world agriculture. In: SOANE, B.D.; OUWERKERK V. C. (Eds.). **Soil compaction in crop production**, Amsterdam, Elsevier, p. 1-21, 1994.

STEFANOSKI, D. C.; SANTOS G. G.; MARCHÃO R. L., PETTER F. A.; PACHECO L.P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 12, p. 1301–1309, 2013. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/975125/1/33781.pdf>>. Acesso em 17 de novembro de 2017.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; URLANI NETO, V. L. **Recomendação para o uso do penetrômetro de impacto**: modelo IAA/Planalsucar - Stolf. São Paulo, MIC/IAA/PNMCA-Planalsucar, 1983. 8p. (Boletim, 1)

STRECK, E.V. **Conservar o solo garante sustentabilidade ambiental de alimentos**. Emater, RS, 2015.

STRECK, E.V. Interface pesquisa e extensão rural para difusão de práticas sustentáveis de manejo do solo. *In: X Reunião Sul-Brasileira de Ciência do Solo*. 15, 16 e 17 de outubro de 2014. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Núcleo Região Sul. Disponível em: <[http://www.sbcs-nrs.org.br/xrsbcs/cdonline/docs/edemar\\_streck.pdf](http://www.sbcs-nrs.org.br/xrsbcs/cdonline/docs/edemar_streck.pdf)>. Acesso em 22 de novembro de 2017.

STRECK, E.V.; FERREIRA, T.N.; SCHWARZ, R.A. (Coord.). **Solos: manejo integrado e ecológico - elementos básicos**. Porto Alegre: EMATER/RS, 2000. Disponível em: <<http://www.agraer.ms.gov.br/wp-content/uploads/sites/68/2015/05/Livro-Solos-EMATER-RS.pdf>>. Acesso em: 7 nov. 2017.

SUZUKI, L. E. A. S.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; LIMA, C. L. R. Compactação de solo e sua influência e rendimento de culturas. 2005. 149p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

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

TELLES, T. S.; GUIMARÃES, M. F.; DECHEN, S. C. F. Avaliação dos custos da erosão do solo *In: Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia*, 2010. **Anais do 48º...** 2010.

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

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. *In: ALVAREZ V. V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M., (Ed.). Tópicos em ciência do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 2, p. 195-276, 2002.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. EDUSP, Editora da UFRGS, ABRH, 1993.

UTFPR – UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ. **Avaliação Visual da Estrutura do Solo**. Carta de Avaliação. Disponível em: <<http://paginapessoal.utfpr.edu.br/rachelguimaraes/vess/avaliacao-visual-da-estrutura-do-solo-2/avaliacao-visual-da-estrutura-do-solo-1/avaliacao-visual-da-estrutura-do-solo/Avaliacao%20visual%20da%20estrutura%20do%20solo.pdf>>. Acesso em: 24 nov. 2017.

VARELLA, Carlos Alberto Alves, M.S. **Efeitos dos sistemas de cultivo convencional, mínimo e direto no escoamento superficial e nas perdas de solo**. 1999. Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, RJ, 1999.

VELÁSQUEZ, E.; LAVELLE, P.; ANDRADE, M. GISQ, a multifunctional indicator of soil quality. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 39, p. 3066-3080, 2007.

VENZKE FILHO, S. P.; FEIGL, B. J.; PICCOLO, M. C.; SIQUEIRA NETO, M.; CERRI, C.C. Biomassa microbiana do solo em sistema de plantio direto na região de Campos Gerais – Tibagi, PR. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 599-610, 2008.

VOMOCIL, J.A. & FLOCKER, W.J. Effect of soil compaction on storage and movement of soil air and water. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 4:242-246, 1961.

VIEIRA, M. J. Embasamento técnico do subprograma de manejo e conservação do solo –Paraná Rural. In: PEREIRA, L. R. Paraná Rural –Programa de desenvolvimento rural do Paraná. **Manual técnico do subprograma de manejo e conservação do solo**. Londrina: Iapar, p. 12-29, 1991.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. Sao Paulo: McGraw-Hill, 1975. 245 p.

VINSENTIN, D.; BERTOL, I.; AMARAL, A. J.; CARRAFA, M. R.; ZOLDAN JÚNIOR, W. A. Erosão hídrica em quatro cultivos sob chuva natural. *In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água*, 14, 2002, Cuiabá. **Resumos Expandidos...** Cuiabá: UFMT, 2002. CD Rom.

VOLK, L. B. S.; COGO, N. P. Inter-relação biomassa vegetal subterrânea-estabilidade de agregados-erosão hídrica em solo submetido a diferentes formas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 4, p. 1.713-1.722, 2008.

WALL, G.; FLORINDO, D. Apresentação. *In*: CASÃO JUNIOR, R.; ARAÚJO, A. G. de; LLANILLO, R. F. **Plantio direto no Sul do Brasil**: Fatores que facilitaram a evolução do sistema e o desenvolvimento da mecanização conservacionista. Londrina: IAPAR, 2012. 77 p.

WOHLENBERG, E. V.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 5, pp.891-900, 2004.

ZOCCAL, J. C. Adequações de Erosões: causas, consequências e controle da erosão rural. **Soluções**: Caderno de estudos em conservação do solo e água, São Paulo: Codasp, v. 1, maio, 2007.

ZONTA, J. H. et al. Efeito da Aplicação Sucessiva de Precipitações pluviiais com Diferentes Perfis na Taxa de Infiltração de Água no Solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 36, p. 377-388, 2012.

ZONTA, J. H.; SOFIATTI V.; COSTA, A. G. F.; SILVA, O. R. F. da.; BEZERRA, J. R. C.; SILVA, C. A. D. da; BELTRÃO, N. E. de M.; ALVES, I.; JÚNIOR, A. F. C.; CARTAXO, W. V.; RAMOS, E. N.; OLIVEIRA, M. C. DE; CUNHA, D. da S.; MOTA, M. O. S. da; SOARES, A. N.; BARBOSA, H. F. **Práticas de Conservação de Solo e Água. Circular técnica**, Campina Grande, PB, v. 133, set. 2012. Disponível: <[https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/928493/1/CIRTEC133tamanho\\_grafica2.pdf](https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/928493/1/CIRTEC133tamanho_grafica2.pdf)>. Acesso em 18 de novembro de 2017.

ZULAUF, W. E. **O meio ambiente e o futuro**. Estud. av. São Paulo, v. 14 n. 39, may/aug. 2000.

**APÊNDICE A – Precipitação ocorrida durante o período de 1985 a 2017. Dados da Estação Meteorológica da FUNDACEP/CCGL TEC, Cruz Alta, RS.**

Mês Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
	Mm												
1985	27,2	253,6	218,0	188,1	213,8	196,6	148,0	274,5	218,7	44,5	4,9	30,8	1819
1986	116,6	173,7	180,8	249,7	205,5	236,8	29,6	179,2	156,6	171,5	431,7	49,2	2181
1987	294,4	164,4	45,6	385,1	149,5	112,2	296,1	92,3	198,2	183,9	136,6	42,6	2101
1988	166,1	41,7	96,6	169,5	38,0	88,8	32,1	21,9	363,3	151,2	127,4	61,0	1358
1989	197,2	54,1	200,7	103,3	34,5	129,2	113,6	246,0	394,3	131,2	88,0	233,6	1926
1990	162,1	130,0	151,3	279,5	202,0	194,6	71,1	40,3	238,0	228,2	186,8	88,2	1972
1991	61,1	21,4	37,2	116,4	19,4	297,5	90,1	77,3	56,8	74,3	46,1	197,6	1095
1992	175,0	222,0	165,6	127,0	341,7	130,7	128,8	120,1	186,9	186,5	120,4	116,4	2021
1993	202,3	34,8	169,2	80,4	205,8	94,6	211,3	11,3	86,6	127,3	294,2	305,7	1824
1994	69,2	275,3	102,5	262,4	167,0	190,0	266,4	85,4	157,4	261,0	188,8	167,4	2193
1995	170,6	83,9	125,9	31,9	32,4	113,3	131,9	40,5	106,6	163,3	33,5	45,2	1079
1996	320,6	207,3	101,2	125,4	70,1	118,8	98,8	175,3	49,7	196,9	77,1	142,0	1683
1997	201,1	103,4	55,7	66,0	113,5	164,9	66,2	131,9	123,3	510,2	349,3	275,1	2161
1998	226,5	380,7	115,2	300,4	106,0	125,5	123,6	182,0	161,5	153,7	25,3	137,1	2038
1999	73,5	98,0	75,2	155,8	137,0	140,6	213,4	26,8	211,0	179,9	85,1	74,6	1471
2000	115,8	68,1	224,3	103,8	95,6	197,3	90,1	97,8	117,5	257,6	139,9	141,9	1650
2001	284,0	147,3	108,9	152,4	150,3	79,9	93,3	69,8	253,5	139,8	119,6	59,1	1658
2002	129,8	60,1	139,7	172,9	256,0	178,9	268,2	218,3	296,2	417,9	191,5	328,7	2658
2003	169,8	144,5	270,8	151,4	11,3	75,3	167,2	53,0	91,0	261,4	184,7	365,7	1946
2004	119,8	62,8	56,6	112,8	130,7	116,7	98,9	58,5	119,0	138,0	204,5	105,3	1324
2005	127,7	14,4	76,5	231,5	273,9	284,7	104,5	165,9	108,0	367,4	79,5	101,7	1936
2006	118,9	40,1	191,4	122,5	61,2	145,7	143,0	62,3	123,8	107,6	199,2	111,1	1427
2007	152,2	198,2	76,95	140,4	153,1	34,0	164,8	69,6	319,2	220,0	123,4	64,0	1713
2008	126,4	79,6	79,2	107,0	76,6	254,8	83,8	126,9	60,2	436,4	116,8	47,8	1567
2009	144,2	124,0	10,0	5,6	164,4	45,6	123,8	268,6	353,2	131,0	381,2	148,6	1832
2010	258,2	106,0	6,6	186,0	146,6	113,2	226,2	24,0	288,2	89,6	89,84	163,0	1697
2011	69,2	322,0	202,2	234,6	103,2	165,2	210,6	197,4	49,0	196,0	83,0	24,0	1857
2012	47,4	80,9	56,2	55,0	20,0	60,4	186,6	61,4	199,6	289,6	68,6	378,6	1531
2013	95,0	127,0	203,4	122,6	122,2	70,4	72,8	169,0	155,6	129,2	140,2	144,2	1680
2014	195,4	157,6	139,4	123,8	244,4	349,2	166,8	80,8	348,6	217,0	77,2	155,4	2255
2015	177,0	154,6	105,4	204,8	195,0	270,8	245,6	99,8	141,0	188,6	163,6	512,4	2458
2016	193,2	107,8	195,0	133,6	38,0	7,0	130,2	67,8	55,0	317,8	198,8	132,6	1577
2017	229,8	158,0	157,4	253,2	409,4	138,2	10,2	118,2	102,6	174,4	196,0	102,8	2050
Média	158,1	133,3	125,4	159,2	142,1	149,1	139,6	112,5	178,4	207,3	150,0	153,1	1840

**APÊNDICE B** – Características químicas nas camadas de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm nas áreas de lavoura. UNICRUZ. Cruz Alta, RS. 2017.

av.	Município	Resteva Manejo	Camada cm	pH H <sub>2</sub> O	Índice SMP	P	K	MO g kg <sup>-1</sup>	Al	Ca	Mg	CTC	Saturação (%)	
						. mg dm <sup>-3</sup> .			..... cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> .....	Bases	Al			
1	Cruz Alta	Aveia Dess.	0 a 10	4,9	5,5	10,6	100	42	1,0	3,7	1,0	12,7	39,0	16,8
1	Cruz Alta	Aveia Dess.	10 a 20	5,1	5,6	3,0	64	23	1,3	2,6	0,8	10,5	34,0	26,7
1	Cruz Alta	Aveia Dess.	20 a 30	5,2	5,6	2,2	49	23	1,4	2,4	0,8	10,2	32,5	29,6
2	Cruz Alta	Trigo colh.	0 a 10	5,2	5,6	6,3	136	33	0,4	4,0	1,2	12,5	44,6	6,7
2	Cruz Alta	Trigo colh.	10 a 20	5,2	5,6	2,1	54	24	0,7	3,4	1,1	11,5	40,2	13,1
2	Cruz Alta	Trigo colh.	20 a 30	5,2	5,6	1,2	25	22	0,9	2,9	0,9	10,8	35,9	18,9
3	Fortal. Valos	Aveia Dess.	0 a 10	5,8	6,2	9,6	248	27	0,0	5,0	1,8	10,9	68,2	0,0
3	Fortal. Valos	Aveia Dess.	10 a 20	5,7	6,1	3,0	74	21	0,0	4,3	1,5	9,9	60,6	0,0
3	Fortal. Valos	Aveia Dess.	20 a 30	5,8	6,3	1,1	33	20	0,0	4,6	1,5	9,3	66,7	0,0
4	Fortal. Valos	Aveia Colh.	0 a 10	6,1	6,5	7,0	82	32	0,0	4,7	1,8	9,2	73,2	0,0
4	Fortal. Valos	Aveia Colh.	10 a 20	5,4	5,9	9,0	49	22	0,4	3,1	1,2	9,3	47,5	8,3
4	Fortal. Valos	Aveia Colh.	20 a 30	5,4	5,8	3,5	18	21	1,0	2,4	0,9	8,8	37,9	23,0
5	XV Nov.	Aveia Dess.	0 a 10	5,1	5,7	17,4	260	35	0,3	3,7	1,3	11,8	47,9	5,0
5	XV Nov.	Aveia Dess.	10 a 20	5,1	5,6	4,6	121	22	0,5	3,6	1,2	12,0	42,5	8,9
5	XV Nov.	Aveia Dess.	20 a 30	5,3	5,9	2,1	80	21	0,2	3,8	1,2	10,1	51,6	3,7
6	XV Nov.	Trigo Colh.	0 a 10	5,2	5,6	10,0	139	35	0,4	3,7	1,4	12,4	44,1	6,8
6	XV Nov.	Trigo Colh.	10 a 20	5,1	5,4	2,9	94	25	1,5	2,5	0,8	12,2	29,0	29,8
6	XV Nov.	Trigo Colh.	20 a 30	5,3	5,7	1,8	58	22	1,0	2,8	0,8	9,9	37,9	21,1
7	Colorado	Aveia rol.	0 a 10	5,3	5,9	16,1	206	36	0,2	4,4	1,2	11,0	55,6	3,2
7	Colorado	Aveia rol.	10 a 20	5,2	5,6	5,0	112	25	0,4	3,9	1,2	12,3	43,8	6,9
7	Colorado	Aveia rol.	20 a 30	4,9	5,5	3,0	75	24	1,0	2,7	0,9	11,5	32,9	20,9
8	Colorado	Aveia Dess.	0 a 10	5,9	6,3	9,0	314	33	0,0	6,7	2,3	12,9	76,0	0,0
8	Colorado	Aveia Dess.	10 a 20	5,9	6,3	7,9	206	20	0,0	5,4	1,8	10,8	71,4	0,0
8	Colorado	Aveia Dess.	20 a 30	5,8	6,2	1,7	116	15	0,0	4,8	1,6	10,2	65,9	0,0

Continua...

Continuação...

Lav.	Município	Resteva Manejo	Camada cm	pH H <sub>2</sub> O	Índice SMP	P	K	MO g kg <sup>-1</sup>	Al	Ca	Mg	CTC	Saturação (%)	
						. mg dm <sup>-3</sup> .			..... cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> .....	Bases	Al			
9	Colorado	Trigo colh.	0 a 10	6,2	6,5	18,6	160	35	0,0	6,9	2,5	12,3	80,0	0,0
9	Colorado	Trigo colh.	10 a 20	5,9	6,2	6,9	89	25	0,0	5,5	2,0	11,2	69,0	0,0
9	Colorado	Trigo colh.	20 a 30	6,0	6,3	2,6	70	22	0,0	5,1	1,9	10,3	69,9	0,0
10	Sta. Barbara	Aveia+Nabo+Az.	0 a 10	5,8	6,2	24,6	244	40	0,0	6,5	1,4	12,0	71,1	0,0
10	Sta. Barbara	Aveia+Nabo+Az.	10 a 20	5,2	5,7	4,0	108	24	0,4	4,4	1,2	12,0	48,8	6,4
10	Sta. Barbara	Aveia+Nabo+Az.	20 a 30	4,9	5,5	2,0	64	22	1,0	2,7	0,9	11,5	32,7	21,0
11	Sta. Barbara	Aveia+Nabo+Az.	0 a 10	6,0	6,4	14,9	405	38	0,0	7,9	1,6	13,3	79,3	0,0
11	Sta. Barbara	Aveia+Nabo+Az.	10 a 20	5,4	5,8	5,1	230	27	0,2	5,6	1,1	12,8	57,1	2,7
11	Sta. Barbara	Aveia+Nabo+Az.	20 a 30	4,9	5,5	3,4	147	22	1,1	3,6	0,8	12,5	38,2	18,7
12	Sto. Augusto	Aveia Dess.	0 a 10	5,1	5,6	24,3	188	39	0,2	3,9	1,0	12,3	43,8	3,6
12	Sto. Augusto	Aveia Dess.	10 a 20	5,1	5,6	16,2	78	26	0,3	3,2	0,8	11,1	37,8	6,7
12	Sto. Augusto	Aveia Dess.	20 a 30	5,1	5,7	5,6	34	19	0,3	2,9	0,8	9,9	38,1	7,3
13	Sto. Augusto	Aveia Dess.	0 a 10	5,6	6,1	24,4	198	45	0,0	7,1	2,3	13,8	71,8	0,0
13	Sto. Augusto	Aveia Dess.	10 a 20	4,9	5,5	20,6	81	31	0,8	3,7	1,3	12,9	40,2	13,3
13	Sto. Augusto	Aveia Dess.	20 a 30	4,8	5,5	6,1	40	28	1,0	3,3	1,0	12,1	36,2	18,5
14	Cruz Alta	Trigo colh.	0 a 10	5,3	5,7	22,4	170	35	0,1	6,4	2,9	15,9	61,3	1,0
14	Cruz Alta	Trigo colh.	10 a 20	5,2	5,6	6,6	67	27	0,2	5,1	2,0	14,2	51,3	2,7
14	Cruz Alta	Trigo colh.	20 a 30	5,2	5,7	2,6	42	28	0,2	4,2	1,6	12,1	49,0	3,3
15	Cruz Alta	Aveia Dess.	0 a 10	5,7	6,1	27,0	254	45	0,0	6,6	2,6	13,7	71,7	0,0
15	Cruz Alta	Aveia Dess.	10 a 20	5,3	5,8	6,6	127	28	0,3	4,3	1,6	11,7	53,2	4,6
15	Cruz Alta	Aveia Dess.	20 a 30	5,4	5,9	2,6	78	27	0,1	4,5	1,6	11,2	56,3	1,6
16	Cruz Alta	Aveia Dess.	0 a 10	4,9	5,4	38,8	329	40	0,7	3,1	1,0	13,6	36,3	12,4
16	Cruz Alta	Aveia Dess.	10 a 20	4,9	5,5	16,2	110	28	0,8	3,5	1,1	12,6	38,7	14,1
16	Cruz Alta	Aveia Dess.	20 a 30	5,0	5,6	3,8	80	25	0,7	3,4	1,1	11,6	40,5	13,0

**APÊNDICE C** – Resultados de análise granulométrica, densidade de partículas (DP) e de referencia (DS Ref) nas camadas de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm de profundidade nas áreas das propriedades. UNICRUZ/CCGL. Cruz Alta, RS. 2017.

Lav.	Município	Resteva Manejo	Camada	Argila	Silte	Areia	DP	DS Ref
			cm	g kg <sup>-1</sup>			g dm <sup>-3</sup>	
1	Cruz Alta	Aveia dess.	0 a 10	540	130	330	2,82	1,74
1	Cruz Alta	Aveia dess.	10 a 20	590	130	280	2,78	1,70
1	Cruz Alta	Aveia dess.	20 a 30	620	120	260	2,70	1,70
2	Cruz Alta	Trigo colh.	0 a 10	530	150	320	2,74	1,74
2	Cruz Alta	Trigo colh.	10 a 20	580	120	300	2,82	1,72
2	Cruz Alta	Trigo colh.	20 a 30	610	110	280	2,78	1,70
3	Fortal. Valos	Aveia dess..	0 a 10	610	120	270	2,96	1,71
3	Fortal. Valos	Aveia dess.	10 a 20	650	140	210	3,03	1,67
3	Fortal. Valos	Aveia dess.	20 a 30	690	120	190	2,99	1,68
4	Fortal. Valos	Aveia Colh.	0 a 10	460	160	380	2,70	1,76
4	Fortal. Valos	Aveia Colh.	10 a 20	500	140	360	2,77	1,72
4	Fortal. Valos	Aveia Colh.	20 a 30	530	130	340	2,86	1,73
5	XV Nov.	Aveia dess..	0 a 10	580	190	230	2,86	1,74
5	XV Nov.	Aveia dess.	10 a 20	650	140	210	2,94	1,69
5	XV Nov.	Aveia dess.	20 a 30	710	130	160	2,86	1,67
6	XV Nov.	Trigo colh.	0 a 10	580	160	260	2,86	1,73
6	XV Nov.	Trigo colh.	10 a 20	630	150	220	3,10	1,70
6	XV Nov.	Trigo colh.	20 a 30	680	120	200	2,90	1,69
7	Colorado	Aveia Rol.	0 a 10	450	190	360	2,56	1,77
7	Colorado	Aveia Rol.	10 a 20	510	140	350	2,63	1,75
7	Colorado	Aveia Rol.	20 a 30	540	130	330	2,69	1,74
8	Colorado	Aveia Dess.	0 a 10	580	250	170	2,78	1,73
8	Colorado	Aveia Dess.	10 a 20	640	200	160	2,79	1,71
8	Colorado	Aveia Dess.	20 a 30	720	160	120	2,81	1,68
9	Colorado	Trigo colh.	0 a 10	500	190	310	2,59	1,75
9	Colorado	Trigo colh.	10 a 20	520	170	310	2,62	1,74
9	Colorado	Trigo colh.	20 a 30	550	150	300	2,65	1,74
10	Sta. Bárbara	Aveia+Nabo+Az	0 a 10	480	170	350	2,60	1,76
10	Sta. Bárbara	Aveia+Nabo+Az	10 a 20	550	120	330	2,71	1,74
10	Sta. Bárbara	Aveia+Nabo+Az	20 a 30	580	130	290	2,70	1,73
11	Sta. Bárbara	Aveia+Nabo+Az	0 a 10	480	200	320	2,64	1,76
11	Sta. Bárbara	Aveia+Nabo+Az	10 a 20	550	140	310	2,64	1,74
11	Sta. Bárbara	Aveia+Nabo+Az	20 a 30	580	150	270	2,74	1,73

Continua ...



Continuação ...

Lav.	Município	Resteva Manejo	Camada	Argila	Silte	Areia	DP	DS Ref
			cm	----- g kg <sup>-1</sup> -----	-----	-----	----- g dm <sup>-3</sup> -----	-----
12	Sto. Augusto	Aveia Dess.	0 a 10	610	120	270	2,91	1,72
12	Sto. Augusto	Aveia Dess.	10 a 20	680	110	210	2,95	1,69
12	Sto. Augusto	Aveia Dess.	20 a 30	730	110	160	2,96	1,68
13	Sto. Augusto	Aveia Dess.	0 a 10	590	130	280	2,93	1,72
13	Sto. Augusto	Aveia Dess.	10 a 20	690	110	200	2,93	1,69
13	Sto. Augusto	Aveia Dess.	20 a 30	730	110	160	3,10	1,68
14	Cruz Alta	Trigo Colh.	0 a 10	510	130	360	2,82	1,75
14	Cruz Alta	Trigo Colh.	10 a 20	530	120	350	2,78	1,74
14	Cruz Alta	Trigo Colh.	20 a 30	560	100	340	2,84	1,73
15	Cruz Alta	Aveia Dess.	0 a 10	510	130	360	2,86	1,75
15	Cruz Alta	Aveia Dess.	10 a 20	540	110	350	2,89	1,74
15	Cruz Alta	Aveia Dess.	20 a 30	570	100	330	2,94	1,73
16	Cruz Alta	Aveia Dess.	0 a 10	580	140	280	2,70	1,73
16	Cruz Alta	Aveia Dess.	10 a 20	600	140	260	2,80	1,72
16	Cruz Alta	Aveia Dess.	20 a 30	620	130	250	2,82	1,71