



SMAYLLA EL KADRI CECCATTO

**INDICADORES DE QUALIDADE DE MANEJO DE SISTEMAS  
DE PRODUÇÃO EM PLANTIO DIRETO**

---

LONDRINA  
2022

SMAYLLA EL KADRI CECCATTO

**INDICADORES DE QUALIDADE DE MANEJO DE SISTEMAS  
DE PRODUÇÃO EM PLANTIO DIRETO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Estadual de Londrina – UEL, como requisito para obtenção do título de Doutor.

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria de Fatima Guimarães

Co- Orientador: Dr. Julio Cezar Franchini dos Santos

LONDRINA  
2022

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

Ceccatto, Smaylla.

INDICADORES DE QUALIDADE DE MANEJO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO EM PLANTIO DIRETO / Smaylla Ceccatto. - Londrina, 2022. 62 f.

Orientador: Maria de Fatima Guimarães.

Coorientador: Julio Cezar Franchini.

Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2022.

Inclui bibliografia.

1. Avaliação rápida da estrutura do solo - Tese. 2. Indicadores de qualidade física - Tese. 3. Sistemas de Manejo - Tese. I. Guimarães, Maria de Fatima . II. Franchini, Julio Cezar. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU 63

SMAYLLA EL KADRI CECCATTO

## INDICADORES DE QUALIDADE DE MANEJO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO EM PLANTIO DIRETO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Estadual de Londrina – UEL, como requisito para obtenção do título de Doutor.

### BANCA EXAMINADORA

---

Orientadora: Prof.Dra. MARIA DE FATIMA GUIMARAES  
Universidade Estadual de Londrina – UEL

---

Prof.Dra. MARIA DE FATIMA GUIMARAES  
Universidade Estadual de Londrina – UEL

---

Dr. JOSE FRANCIRLEI DE OLIVEIRA  
Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IDR

---

Prof. Dr. PEDRO RODOLFO SIQUEIRA VENDRAME  
Universidade Estadual de Londrina – UEL

---

Prof. Dr. RICARDO RALISCH  
Universidade Estadual de Londrina – UEL

---

Dr. THADEU RODRIGUES MELO  
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Londrina, 21 de Junho de 2022.

Dedico este trabalho aos meus pais Fátima (*in memoriam*) e Darlei Ceccatto.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter concedido a vida e disposição para realização deste trabalho, sem Ele não seria possível.

À minha família, que sempre esteve presente. Aos meus pais Fátima (*in memoriam*) e Darlei que sempre me deram amor, exemplo de vida e todo apoio necessário e ao meu esposo Renan Colomera, por todo auxílio e paciência.

Agradeço aos meus orientadores Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria de Fátima e Dr. Júlio Franchini não só pela constante orientação neste trabalho, mas sobretudo pela amizade e paciência, por serem exemplos de dedicação profissional.

Aos colegas e amigos do laboratório de Física do Solo da Embrapa Soja, principalmente àqueles com que mais convivi: Esmael Lopes dos Santos, Donizete Loni, Mariluci, Ildefonso, Dr. Henrique Debiasi, Tiago Carraschi e a todos os estagiários do laboratório que me ajudaram arduamente nas coletas.

À Universidade Estadual de Londrina (UEL) e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia e aos professores que participaram e colaboraram para a minha formação.

À Fundação Araucária, pela concessão da bolsa de estudos que contribuiu para realização deste trabalho.

A todos aqueles que contribuíram de forma direta ou indireta para a realização do trabalho. Obrigada a todos.

CECCATTO, Smaylla El Kadri. **Indicadores de qualidade de manejo de sistemas de produção em plantio direto**. 2022. 61 p. Tese de Doutorado em Agronomia – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, ano 2022.

## RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a variabilidade espacial e temporal da qualidade estrutural do solo determinada por meio de metodologias de avaliação direta no campo e as implicações físico-hídricas para o manejo e conservação do solo. As principais metodologias utilizadas foram a taxa de infiltração estável (TIE  $\text{mm h}^{-1}$ ), índice de qualidade estrutural do solo (IQES), determinado por meio do diagnóstico rápido da estrutura do solo (DRES), e o índice de qualidade do sistema de plantio direto (IQP). O primeiro trabalho foi desenvolvido em 24 talhões de propriedades agrícolas localizadas nas regiões norte e noroeste do PR, em três núcleos nas regiões de Londrina, Maringá e Iporã, durante as safras 2018/2019 e 2019/2020, na janela entre a colheita ou manejo das culturas de outono-inverno e a semeadura da soja. Os talhões foram selecionados para contemplar diferentes históricos de manejo do sistema de produção, representando no mínimo o manejo tradicional da região e sistemas de manejo com algum nível de aprimoramento no sentido da diversificação de culturas, aumento na produção de palha e redução de operações mecânicas de revolvimento do solo. Em cada área, foram estabelecidos oito pontos amostrais, distribuídos no terço médio do talhão, para avaliação da textura, fertilidade química do solo, cobertura do solo, TIE e do IQES. O questionário do índice de qualidade participativo do plantio direto (IQP) foi aplicado em todas as áreas com a finalidade de avaliar a qualidade do sistema plantio direto (SDP). O segundo trabalho foi desenvolvido durante o período de outono/inverno de 2019 em 24 talhões de propriedades agrícolas com diferentes históricos de manejo do sistema de produção, localizadas na bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho no Terceiro Planalto do Paraná no município de Cambé. Em cada área, foram estabelecidos três pontos amostrais, distribuídos nos terços superior, médio e inferior do talhão, para avaliação da TIE e do IQES. O questionário do IQP foi aplicado em todas as áreas com a finalidade de avaliar a qualidade do SDP. A microbacia foi monitorada por meio de imagens aéreas de alta resolução obtidas com uso de drone em cinco oportunidades, durante o período de março a novembro de 2019. As imagens obtidas permitiram acompanhar práticas de manejo utilizadas nos talhões, como uso de escarificação ou gradagem, datas de semeadura e colheita, culturas utilizadas, ocorrência de erosão, presença de terraços, entre outras informações. Essas informações foram utilizadas para validação de informações declaratórias apresentadas pelos produtores no questionário do IQP. As imagens também permitiram a obtenção do modelo digital de elevação da microbacia (MDE). Com base no MDE e na TIE, serão feitas verificações da efetividade dos sistemas de terraceamento implantados por meio do software Terraço 4.1. A avaliação da qualidade do sistema de produção por metodologias como o IQP e o IQES, associado a quantificação da TIE, contribuem para o entendimento dos processos de melhoria da qualidade do solo no SPD, e evidenciam a importância de práticas como a diversificação de culturas e o mínimo revolvimento do solo para a conservação do solo e aumento de sua fertilidade.

**Palavras-chave:** Avaliação rápida da estrutura do solo. Agricultura conservacionista. Agregação do solo. Sistemas de manejo. Indicadores de qualidade física.

CECCATTO, Smaylla El Kadri. **Management quality indicators of production systems in no-tillage**. 2022. 61 p. Tese de Doutorado em Agronomia – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, ano 2022.

## ABSTRACT

The present work aimed to evaluate the spatial and temporal variability of the structural quality of the soil determined by means of direct evaluation methodologies in the field and the physical-hydric implications for the management and conservation of the soil. The main methodologies used were the stable infiltration rate (TIE mm h<sup>-1</sup>), the soil structural quality index (IQES), determined through the rapid diagnosis of soil structure (DRES), and the quality index of the soil system. no-tillage (IQP). The first work was carried out in 24 plots of agricultural properties located in the north and northwest regions of PR, in three centers in the regions of Londrina, Maringá and Iporã, during the 2018/2019 and 2019/2020 harvests, in the window between harvest or management. of autumn-winter crops and soybean sowing. The stands were selected to contemplate different management histories of the production system, representing at least the traditional management of the region and management systems with some level of improvement in the sense of crop diversification, increase in straw production and reduction of mechanical operations of soil turning. In each area, eight sampling points were established, distributed in the middle third of the plot, to evaluate texture, soil chemical fertility, soil cover, TIE and IQES. The no-tillage participatory quality index (IQP) questionnaire was applied in all areas in order to assess the quality of the no-tillage system (SDP). The second work was carried out during the autumn/winter period of 2019 in 24 plots of agricultural properties with different histories of management of the production system, located in the Ribeirão Vermelho watershed in the Third Plateau of Paraná in the municipality of Cambé. In each area, three sampling points were established, distributed in the upper, middle and lower thirds of the plot, for the evaluation of TIE and IQES. The IQP questionnaire was applied in all areas in order to assess the quality of the SDP. The watershed was monitored using high-resolution aerial images obtained using a drone on five occasions, during the period from March to November 2019. The images obtained allowed the monitoring of management practices used in the stands, such as the use of scarification or harrowing, sowing and harvest dates, crops used, occurrence of erosion, presence of terraces, among other information. This information was used to validate declaratory information presented by producers in the IQP questionnaire. The images also made it possible to obtain a digital watershed elevation model (DEM). Based on the MDE and the TIE, verification of the effectiveness of the terracing system implemented using the Terraço 4.1 software will be carried out. The evaluation of the quality of the production system by methodologies such as the IQP and the IQES, associated with the quantification of the TIE, contribute to the understanding of the processes of soil quality improvement in the SPD, and evidence the importance of practices such as the diversification of crops and the minimum tillage of the soil for the conservation of the soil and increase of its fertility.

**Keywords:** Rapid assessment of soil structure. Conservation agriculture. Soil aggregation. Management systems. Physical quality indicators.

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>1. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	12
1.1 <b>EROSÃO HÍDRICA</b> .....	12
1.2 <b>BACIA HIDROGRÁFICA</b> .....	13
1.3 <b>SISTEMA PLANTIO DIRETO</b> .....	14
1.4 <b>CONSÓRCIO DE CULTURAS</b> .....	15
1.5 <b>INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO</b> .....	15
1.5.1 <b>INFILTRÔMETRO DE DUPLO ANEL CONCÊNTRICO</b> .....	17
1.5.2 <b>SIMULADOR DE CHUVA</b> .....	18
1.5.3 <b>INFILTRÔMETRO DE CORNELL</b> .....	19
1.5.4 <b>INFILTRÔMETRO DE TENSÃO</b> .....	20
1.5.5 <b>PERMEÂMETRO DE GUELPH</b> .....	21
1.6 <b>DIAGNÓSTICO RÁPIDO DA ESTRUTURA DO SOLO (DRES)</b> .....	23
1.7 <b>ÍNDICE DE QUALIDADE PARTICIPATIVO (IQP) DO SISTEMA PLANTIO DIRETO</b> .....	24
<b>2 ARTIGO A: AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO NA REGIÃO NORTE E NOROESTE DO PARANÁ</b>	
<b>RESUMO</b> .....	26
<b>ABSTRACT</b> .....	26
2.1 <b>INTRODUÇÃO</b> .....	27
2.2 <b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	28
2.3 <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	31
2.4 <b>CONCLUSÃO</b> .....	37
<b>4 ARTIGO B: AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE TERRACEAMENTO UTILIZANDO IMAGENS AÉREAS E FERRAMENTAS DIGITAIS</b>	
<b>RESUMO</b> .....	38
<b>ABSTRACT</b> .....	38
3.1 <b>INTRODUÇÃO</b> .....	38
3.2 <b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	40
3.3 <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	44
3.4 <b>CONCLUSÃO</b> .....	49

**REFERÊNCIAS ..... 50**

## INTRODUÇÃO

A produção vegetal está diretamente ligada a dinâmica da água no solo, importante conhecimento para tomada de decisão sobre uso e manejo dos solos. A taxa de infiltração estável de água no solo (TIE) é um dos parâmetros mais sensíveis para detectar alterações na qualidade estrutural induzidas pelos sistemas de manejo do solo. Vários atributos interferem neste processo, entre eles: textura, distribuição por tamanho e qualidade do espaço poroso, densidade do solo, estabilidade de agregados, cobertura do solo e histórico de uso. O aumento da TIE reduz os processos erosivos, proporciona maior armazenamento de água no solo para as plantas, e favorece a recarga dos aquíferos, além de reduzir as vazões máximas dos cursos d'água, sendo um fator determinante do balanço hídrico na zona radicular das culturas.

O processo de infiltração de água no solo é influenciado por suas características e à condições às quais ele é submetido. O manejo do solo é um conjunto de práticas que, quando usadas adequadamente, permitem elevada produtividade das culturas. Entretanto, quando utilizadas de maneira incorreta, podem levar o solo à degradação, diminuindo seu potencial produtivo.

Os sistemas agrícolas que unem a monocultura contínua ao uso de equipamentos inadequados de preparo do solo resultam na sua degradação. Mesmo assim, a atividade agropecuária tem sido frequentemente desenvolvida sem levar em consideração fatores que podem alterar os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, provocando redução da capacidade do solo em exercer suas funções.

Para melhorar a qualidade física dos solos, a rotação de culturas é umas das alternativas, principalmente quando utiliza espécies com elevado potencial de produção de parte aérea e sistema radicular abundante e profundo, capaz de romper camadas adensadas e produzir bioporos. Ao contrário dos poros produzidos pela mobilização mecânica, os bioporos são contínuos e de alta eficiência para a passagem de água e ar.

Apesar da grande gama de análises utilizadas para caracterização dos sistemas de culturas e de manejo, tem-se dificuldade para representar a realidade, dada a variabilidade espacial e temporal dos atributos do solo. Isso porque a maioria dos resultados são obtidos em avaliações de laboratório, a partir de amostras coletadas

aleatoriamente, em profundidades pré-estabelecidas, sem levar em consideração a heterogeneidade intrínseca ao local de avaliação.

Neste contexto, para estudos dos impactos de sistemas de manejo do solo sobre a erosão, é importante levar em consideração a variabilidade espacial e temporal de atributos que possam ser medidos diretamente no campo, como é o caso da TIE, condutividade hidráulica, resistência a penetração e do índice de qualidade estrutural do solo. Com essa abordagem, espera-se melhorar o entendimento das interações entre esses atributos e os possíveis impactos sobre a dinâmica de perda de solo e água em áreas agrícolas.

Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a variabilidade espacial e temporal da qualidade estrutural do solo determinada por meio de metodologias de avaliação direta no campo e as implicações físico-hídricas para o manejo e conservação do solo.

## 1. REVISÃO DE LITERATURA

### 1.1. EROSIÃO HÍDRICA DO SOLO

A erosão hídrica é um dos principais pontos a ser considerado quando se avalia a sustentabilidade de ambientes. A quebra dos agregados do solo causada pelo impacto direto das gotas de chuva e o escoamento superficial (ES) do excesso de água são os agentes ativos, e o solo, o agente passivo no processo de erosão (RAMAKRISHNA e DAVIDSON, 1998).

Na erosão hídrica, o ES contribui para a desagregação do solo e é o responsável pelo transporte das partículas do solo, matéria orgânica, fertilizantes químicos, sementes e agrotóxicos, que provocam prejuízos a produção agrícola e podem causar poluição dos cursos d'água (BRAGA, 2000). Essa perda de água e solo (sedimentos) nas bacias hidrográficas pode provocar enchentes nas épocas chuvosas e escassez de água em períodos de seca, com grandes impactos negativos ao meio ambiente (ZANETTI et al., 2012).

O manejo inadequado e, conseqüentemente, a erosão hídrica, tem sido uma das principais causas de perdas de nutrientes, além de que o aporte de sedimentos oriundos de áreas que sofrem erosão promove o assoreamento de rios e lagos, comprometendo a qualidade da água (DECHEN et al., 2015).

De acordo com Santos et. al., (2009), a capacidade das precipitações de desprenderem partículas, depende da intensidade com que ocorrem e da energia cinética de impacto das gotas de chuva sobre o solo. A cobertura por resíduos culturais deixados na superfície do solo tem ação direta e efetiva na redução da erosão, em virtude da dissipação da energia cinética das gotas de chuva, a qual diminui o selamento superficial e aumenta a infiltração de água. Ela atua ainda na redução da velocidade do ES e conseqüentemente, da capacidade erosiva da enxurrada (SLONEKER e MOLDENHAUER, 1977; COGO, 1981).

Segundo Bertol (1994), a declividade do terreno é outro fator que influencia fortemente as perdas de solo e água por erosão, pois, à medida que aumenta, aumentam o volume e a velocidade da enxurrada e diminui a infiltração de água no solo. Isso intensifica 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.

## **1.2. BACIA HIDROGRÁFICA**

A bacia hidrográfica é definida como área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, o exutório. É composta de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos d'água que fluem até resultar em um leito único no exutório. A topografia do terreno é responsável pela drenagem da água da precipitação pluviométrica para esse curso de água. Os limites entre as bacias hidrográficas encontram-se nas partes mais altas do relevo e são denominados divisores de água, pois separam as águas de diferentes bacias (SILVEIRA, 2001).

O comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica é função de suas características geomorfológicas, forma, relevo, área, geologia, rede de drenagem, solo e tipo de cobertura vegetal (LIMA, 1986). As características físicas e bióticas de uma bacia possuem importante papel nos processos do ciclo hidrológico, influenciando, dentre outros, a infiltração, a quantidade de água produzida como deflúvio, a evapotranspiração e os escoamentos.

A qualidade da água da microbacia pode ser influenciada por diversos fatores, como: clima, cobertura vegetal, topografia, geologia, uso e manejo do solo da bacia hidrográfica (VAZHEMIN, 1972; PEREIRA, 1997). Segundo Arcova et al. (1998), os vários processos que controlam a qualidade da água de determinado manancial fazem parte de um frágil equilíbrio, motivo pelo qual alterações de ordem física, química ou climática, na bacia hidrográfica podem modificar a sua qualidade.

Nas bacias com cobertura de floresta natural, a vegetação promove proteção contra erosão, sedimentação e lixiviação excessiva de nutrientes (SOPPER, 1975), sendo essas áreas muito importantes para manter o abastecimento de água de qualidade. Por outro lado, as práticas que seguem após a retirada das árvores tendem a produzir intensa e prolongada degradação da qualidade da água (BROWN, 1988).

Segundo Oliveira-Filho et al. (1994), a devastação das matas ciliares tem contribuído para o assoreamento, aumento da turbidez das águas, desequilíbrio do regime das cheias, erosão das margens de grande número de cursos d'água,

além do comprometimento da fauna silvestre. Nas microbacias de uso agrícola, quando comparadas as de uso florestal, o transporte de sedimentos e a perda de nutrientes são maiores (ARCOVA e CICCIO, 1997).

### **1.3 SISTEMA PLANTIO DIRETO**

O sistema plantio direto (SPD) é um conjunto de práticas de manejo conservacionista que começou a ser utilizado em glebas agrícolas no Brasil no início da década de 1970, desenvolvido com o objetivo de alcançar a sustentabilidade da produção agrícola (BOLLINGER et al., 2006). A eficiência do SPD no controle das perdas por erosão se deve ao não-revolvimento do solo e à cobertura morta que dissipa o impacto das gotas de chuva e mantém a capilaridade do solo aumentando a infiltração (SEGANFREDO et al., 1997).

A erosão é menor quando o sistema de manejo do solo é o SPD, sendo esta a primeira motivação para a adoção do sistema: menor ocorrência de perdas de terra, água e nutrientes em relação aos sistemas convencionais (DE MARIA, 1999). Em média, o SPD reduz as perdas de solo e de água em 84 e 58,7%, respectivamente, em relação aos preparos convencionais (BERTOL et al., 2007).

O SPD é apoiado em três pilares: mínimo revolvimento do solo, rotação de culturas e cobertura permanente do solo por palhada ou plantas vivas (CASSOL et al., 2007). O SPD melhora a qualidade estrutural e a fertilidade do solo devido ao incremento de matéria orgânica, que aumenta a estabilidade dos agregados, a aeração e a capacidade de retenção de água do solo, eleva a disponibilidade de nutrientes para as plantas e para os microrganismos do solo e reduz a variação dos valores de pH do solo (OLIVEIRA et al., 2004; SILVA et al., 2000).

De acordo com Franchini et al. (2009) o SPD é promissor na melhoria da estrutura do solo, aumentando a infiltração e retenção de água, favorecendo ainda os fluxos ascendentes de água das camadas mais profundas até as camadas superficiais, onde se encontra a maior parte do sistema radicular das culturas. As taxas de infiltração de água no SPD se mantêm maiores pelo fato de a cobertura do solo evitar a formação de crostas superficiais e por aumentar o tempo de infiltração, por conta da maior rugosidade da superfície (LLANILLO et al., 2006).

#### **1.4. CONSÓRCIO DE CULTURAS**

A consorciação de culturas produtoras de grãos com forrageiras tropicais, na safra de verão, é utilizada com o intuito de antecipar a implantação da forrageira. Esse método permite a utilização das forrageiras para a instalação da pastagem e para a produção de palhada e cobertura morta para o SPD (CHIODEROLI et al., 2010). Esta técnica tem como objetivo atenuar os custos relativos à correção e adubação do solo e ao controle de plantas daninhas, pois, além de formação e recuperação de pastagens, permite produção de grãos (TOWNSEND et al., 2000; COBUCCI, 2001).

Segundo Sousa Neto (1993), as vantagens proporcionadas pelo sistema consorciado são os efeitos residuais dos fertilizantes aplicados para o cultivo anual, controle de infestação de plantas daninhas, proteção do solo contra a erosão e aumento da produção de forragem em uma mesma estação de crescimento.

De acordo com Costa et al., (2007), o emprego de duas ou mais culturas na mesma área vem sendo utilizado como método para reduzir danos ao meio ambiente. Quando se compara o consórcio entre culturas com o monocultivo, as vantagens destacadas do sistema consorciado são o estímulo aos organismos benéficos presentes no agroecossistema (ZHANG et al., 2004), minimização de problemas fitossanitários (HOOKS e JOHNSON, 2003) e, ainda, cobertura vegetal do solo proporcionando proteção contra a erosão, favorecimento de populações de inimigos naturais e diminuição no número de pragas (CIVIDANES e YAMAMOTO, 2002).

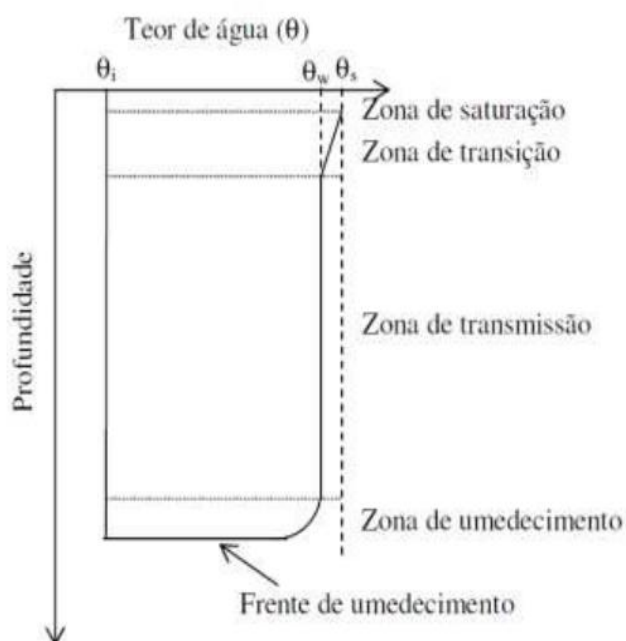
#### **1.5. INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO**

A taxa de infiltração estável de água no solo (TIE) equivale ao volume de água que infiltra na superfície em determinado tempo, e reflete a capacidade de um solo absorver água proveniente da chuva ou da irrigação (SANTOS et al., 2016). Então, a infiltração é o processo que separa o quanto da precipitação (chuva ou irrigação) escoar pela superfície do solo e quanto infiltra no solo (LIBARDI, 2012).

De acordo com Andrade et al. (2008), vários fatores influenciam o movimento da água no solo, como: tipo de solo, manejo, cobertura vegetal, condição

da superfície e umidade inicial. Dentre os atributos físicos, a TIE é um dos mais importantes na avaliação da qualidade do solo, pois reflete várias características, como, estabilidade de agregados, selamento superficial, distribuição do tamanho e continuidade de poros, bioporos e a cobertura do solo (REICHERT et al., 2009).

Existem quatro zonas de umidade ao longo do perfil de umedecimento durante o processo de infiltração da água no solo (Figura 1) sob condição de empocamento na superfície: zona de saturação, zona de transição, zona de transmissão e zona de umedecimento (CHOW et al., 1995; PREVEDELLO, 1996 e BRANDÃO et al., 2006).



**Figura 1.** Perfil de umedecimento do solo durante a infiltração.  $\theta_i$  (umidade inicial do solo),  $\theta_w$  (umidade na zona de transmissão) e  $\theta_s$  (umidade de saturação do solo) (extraído de Brandão et al., 2006).

A zona de saturação é uma camada localizada abaixo da superfície do solo, com espessura de aproximadamente 1,5 cm, em que o solo está saturado. A zona de transição é uma região caracterizada pelo decréscimo acentuado de umidade, com espessura em torno de 5 cm. Essas duas zonas nem sempre são claramente distinguíveis e ocorrem em razão de variações estruturais na superfície do solo.

Logo após localiza-se a zona de transmissão, onde a umidade varia pouco ao longo da profundidade, e aumenta de espessura com a aplicação de água

na superfície. Na sequência situa-se a frente de umedecimento, caracterizada por uma camada com acentuada redução da umidade ao longo da profundidade. A frente de umedecimento representa o limite visível da movimentação de água no solo.

A determinação da TIE no solo pode ser realizada através de diferentes métodos, tais como: infiltrômetro de duplo anel concêntrico, simulador de chuva (PRUSKI et al., 1997, BERNARDO et al., 2006; BRANDÃO et al., 2006), infiltrômetro de tensão, permeâmetro e/ou infiltrômetro de pressão (POTT e DE MARIA, 2003).

### **1.5.1. INFILTRÔMETRO DE DUPLO ANEL CONCÊNTRICO**

O infiltrômetro de duplo anel concêntrico (Figura 2) é utilizado para avaliar a taxa de infiltração estável (TIE) da água no solo, é um procedimento de campo realizado no ponto de interesse (SILVA et al., 2019).

O infiltrômetro consiste de dois anéis concêntricos, o primeiro com 25 cm e o segundo com 50 cm de diâmetro, ambos introduzidos no solo até a profundidade de 15 cm da superfície. A determinação da infiltração da água no solo se dá através da medição da água infiltrada no cilindro menor (interno), em tempos sucessivos de leituras, onde o teste só é finalizado quando a leitura da régua repete os mesmos valores até três vezes.

O anel externo tem a finalidade de minimizar a dispersão lateral de água, enquanto a água do anel interno infiltra-se no perfil do solo em direção predominantemente vertical, o que evita a superestimativa da taxa de infiltração (BERNARDO et al., 2006).

Segundo Lima e Silans (1999) a vantagem que o infiltrômetro oferece é de minimizar as infiltrações laterais, mantendo o fluxo na direção vertical. A sua desvantagem é a operação mais complicada, principalmente, porque necessita de maiores volumes de água. Para Lawall (2010) é de simples leitura, de fácil manuseio e transporte para a avaliação da VIB.



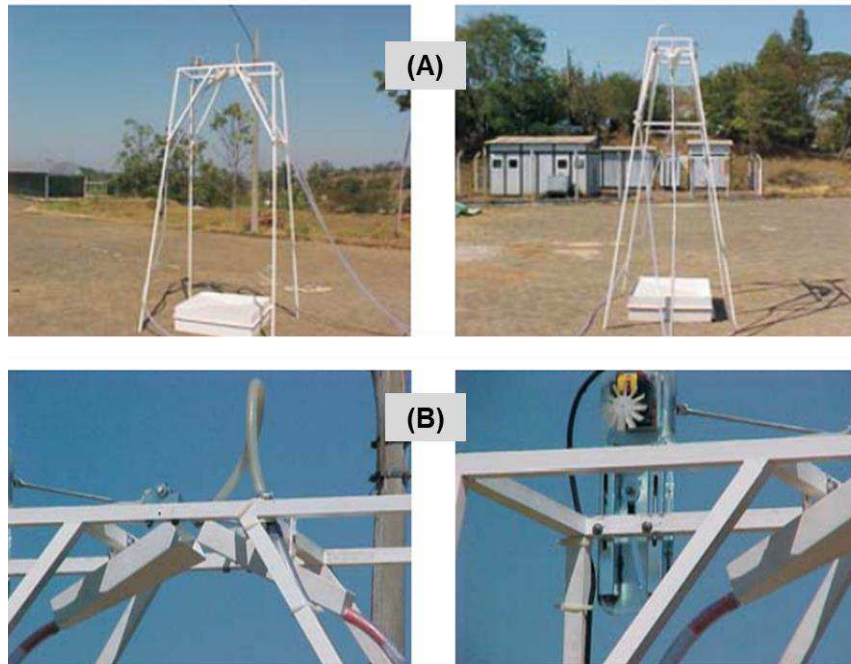
**Figura 2.** Infiltrômetro de duplo anel concêntrico. Fonte: directindustry.

### 1.5.2. SIMULADOR DE CHUVA

O simulador de chuva é considerado o método de determinação da infiltração de água no solo que melhor representa a realidade local. Deve simular as condições típicas de chuvas naturais, como velocidade de impacto e distribuição do tamanho das gotas da chuva, intensidade de precipitação, ângulo de impacto das gotas e capacidade de reproduzir a intensidade e a duração das chuvas intensas (BRANDÃO; PRUSKI; SILVA, 2004).

*Existem diversos modelos de simuladores de chuva. Entre eles, por sua simplicidade, destaca-se o modelo descrito por Meyer e Harmon (1979) e Souza (2004), constituído por uma armação retangular, apoiada sobre quatro pernas reguláveis para uma altura de 3 m sobre a superfície do solo. No centro da armação encontra-se um bico aspersor. A intensidade de chuva desejada sobre a área é conseguida pelo número de oscilações do bico na unidade de tempo. Para isto, aumenta-se ou diminui-se a distância entre as duas engrenagens.*

Quando a distância entre engrenagens é maior, o bico fica mais tempo parado no final do curso despejando água em um coletor lateral e, conseqüentemente, a intensidade de chuva que cai sobre a parcela é menor. Quando se deseja intensidades maiores, aproximam-se as engrenagens e, com isto, o tempo de parada do bico no final do curso é menor e o número de passadas do bico se torna mais frequente, aumentando a precipitação. A determinação da intensidade final desejada é conseguida pela calibração do sistema.



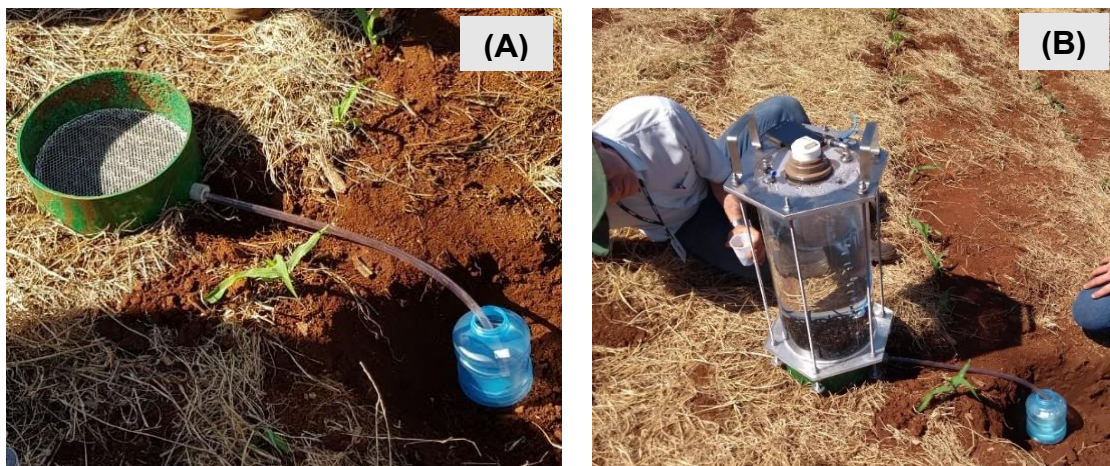
**Figura 3.** Simulador de chuvas (A). Coletores laterais por onde sai o excesso de água do bico durante o tempo de parada (B). Fonte: Souza (2004).

### 1.5.3. INFILTRÔMETRO DE CORNELL

O infiltrômetro de Cornell “Sprinkle Infiltrometer” é um simulador de chuva portátil (Figura 4) que conta com um sistema de regulação de entrada de ar, o qual permite simular diferentes intensidades de chuva (OGDEN et al., 1997, aperfeiçoado por SERATTO et al., 2019).

Santi (2007) afirma que o infiltrômetro permite trabalhar com diferentes intensidades de precipitação a partir da alteração, para mais ou para menos, da altura da extremidade inferior do tubo de entrada de ar (parte em contato com a água), em relação ao fundo do recipiente que acondiciona a água. Essa estratégia força uma entrada maior ou menor de ar ampliando ou diminuindo, a intensidade do gotejamento.

É composto por um aspersor que adota o princípio da garrafa de Mariotte para regular o fluxo de saída de água (precipitação), à medida que a altura da coluna de água diminui. Também é dotado de um conjunto de microtubos instalados na placa inferior, que auxilia na regulação complementar do fluxo e na simulação da precipitação (ZWIRTES et al., 2013).



**Figura 4.** Infiltrômetro de Cornell, aperfeiçoado por Seratto et al. (2019). (A) Detalhe da base (inserida 7,5 cm no solo) sobre a qual o infiltrômetro (B) é disposto, com a mangueira que conduz a água até o recipiente onde a mesma é armazenada até medição do escoamento superficial.

O escoamento superficial é determinado a partir da coleta do excesso de água por uma mangueira instalada na parte inferior do anel (Figura 4B). O Infiltrômetro de Cornell possibilita simular uma chuva controlada de até 300 mm, além de realizar os ensaios de infiltração e escoamento superficial simultaneamente (VAN ES E SCHINDELBECK, 1997). A leitura do volume de escoamento superficial é realizada a cada 3 min. A intensidade da chuva é controlada por meio das diferenças de leituras, a cada 3 min, do volume de água no reservatório.

A taxa de infiltração é calculada pela diferença entre a chuva aplicada e o escoamento superficial, conforme a metodologia descrita por Ogden (1997).

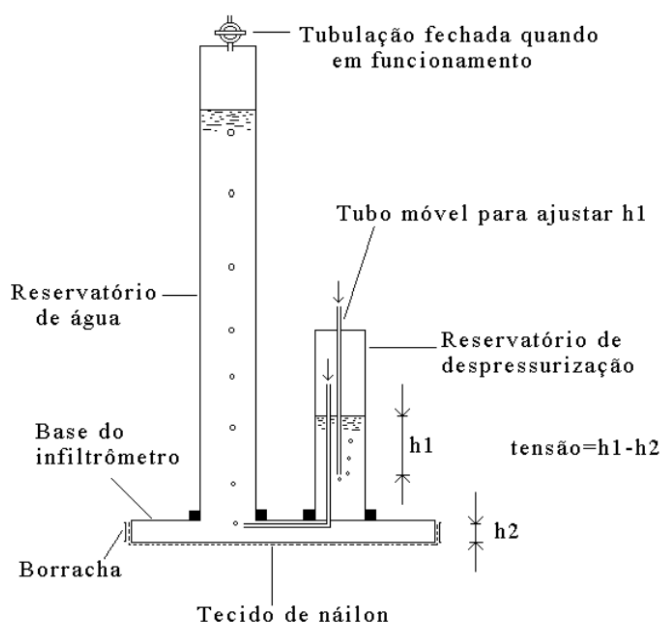
#### 1.5.4. INFILTRÔMETRO DE TENSÃO

O infiltrômetro de tensão ou permeâmetro de disco é um equipamento que, além da determinação da infiltração e da condutividade hidráulica do solo saturado, pode determinar o movimento da água no solo não saturado (ELRICK e REINOLDS, 1992; BORGES et al., 1999) e, é uma alternativa para quantificação de macroporos (PERROUX e WHITE, 1988).

O infiltrômetro possui mecanismo adequado para obter medições de infiltração de água sob potencial negativo, podendo ser empregado em estudos da dinâmica da água no solo e na avaliação das condições de porosidade do solo *in situ* (POTT et al., 2005). Além de ser ideal para medidas em campo, pois necessita

de pouco volume de água para realizar ensaios, e o seu tamanho menor permite a realização de vários ensaios em tempo reduzido (MENDES, 2008).

Segundo Anguro-Jaramillo et al., (2000), o infiltrômetro de tensão aplica uma carga constante negativa (ou positiva) ao solo através de um disco circular e uma membrana. A carga hidráulica aplicada ao solo é feita com o uso de dois reservatórios de Mariotte, onde a entrada de ar do segundo tubo tem pressão menor do que a atmosférica como é possível ver na Figura 5.



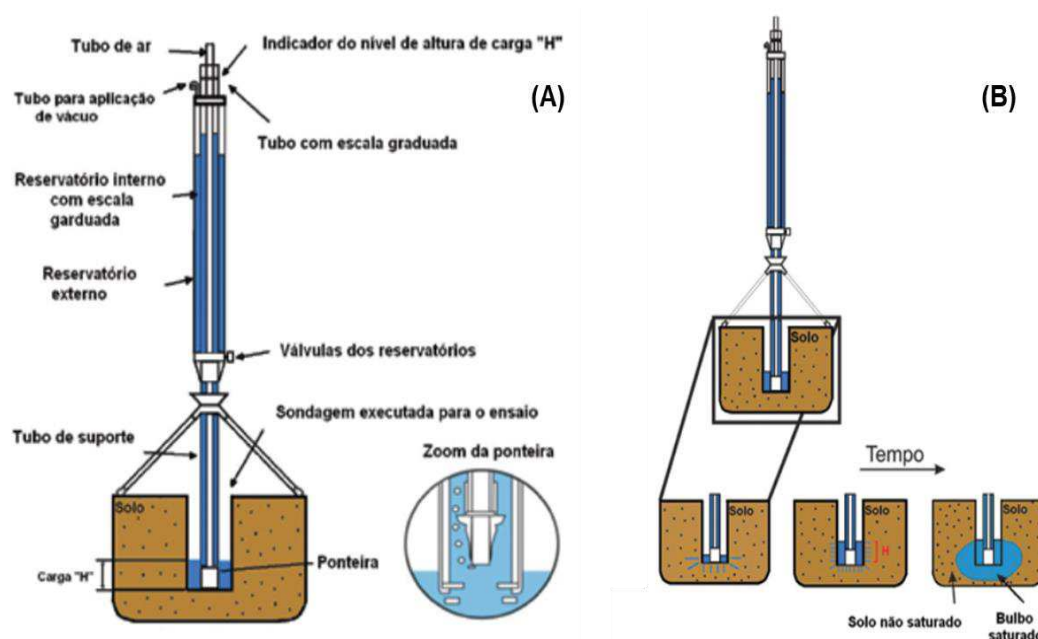
**Figura 5.** Esquema do infiltrômetro de tensão.

### 1.5.5. PERMEÂMETRO DE GUELPH

De acordo com Soto et al. (2009), consiste em um permeâmetro de carga constante que trabalha sob o princípio do tubo de Mariotte, e permite determinar outras propriedades, como o potencial matricial de fluxo e sorção, e a condutividade hidráulica saturada, levando em consideração o efeito do fluxo não saturado.

O permeâmetro de Guelph (Figura 6) é composto de uma garrafa de Mariotte que controla a carga constante. O reservatório de água é formado por um tubo acrílico com régua graduada e um tripé, que permite adaptar o aparelho a terrenos irregulares. É utilizado para medição em campo, na ausência do lençol freático, da zona da condutividade hidráulica do solo saturado e do potencial de fluxo

matricial, até uma profundidade de 2 m (REYNOLDS et al., 1983). De acordo com Ribeiro et al., (2009) o permeâmetro pode ser utilizado para efetuar medições de permeabilidade na superfície ou no perfil do solo por meio do fornecimento de água. Para os cálculos do coeficiente de permeabilidade, podem ser aplicadas nos ensaios duas cargas hidráulicas (5 cm e 10 cm). Em grandes áreas, por questão de tempo, é utilizado apenas uma carga hidráulica.



**Figura 6.** Esquema do permeâmetro Guelph (A). Fluxo em regime permanente (B). Fonte: Soto (1999).

A perfuração, de pequeno diâmetro, é feita com auxílio de um trado manual até a profundidade a ser avaliada. Durante o ensaio e após algum tempo de aplicação da carga constante, uma pequena área em torno do furo estará saturada, formando um bulbo de saturação (RIBEIRO et al., 2009).

Seu fácil uso e a padronização na metodologia de cálculo da condutividade hidráulica saturada, o tem tornado apropriado para utilização em sistemas de irrigação, sistemas de drenagem, canais, reservatórios, aterros sanitários e estudos hidrológicos em solos (SOTO, 1999). O permeâmetro possui várias vantagens em relação a outros métodos, dentre elas, a fácil montagem em campo, podendo-se investigar, de forma rápida, o comportamento hidráulico de perfis do solo (MONTENEGRO; MONTENEGRO, 2004).

Soto et al. (2009), Elrick et al., (1989) e Vieira (1983) apresentam uma metodologia, tanto para a obtenção do atributo de infiltração a campo, quanto na

formulação dos dados, utilizado para os valores de infiltração, conforme a equação proposta por Reynolds e Elrick (1985).

$$K_s = C.Q / (2\pi.H^2 + \pi.a^2.C + (2\pi.H/\alpha))$$

Onde:

$K_s$  = condutividade hidráulica de campo (cm/s);

$C$  = parâmetro do fator de forma  $H/a$  e tipo de solo;

$Q$  = vazão do regime permanente;

$H$  = altura da carga hidráulica utilizada (5 cm e 10 cm);

$a$  = raio do furo no solo (cm);

$\alpha$  = é estimado de acordo com a classe textural do solo e macroporosidade do solo (Tabela 1).

**Tabela 1.** Valores de  $\alpha$  sugeridos por Elrick et al. 1989 (Soto, 2009).

$\alpha$ (cm <sup>-1</sup> )	TIPO DE SOLO
0,01	Argilas compactas (aterros, sedimentos lacustres e marinhos)
0,04	Solos de textura fina, principalmente sem macroporos e fissuras
0,12	Argilas até areias finas com alta a moderada quantidade de macroporos e fissuras
0,36	Areia grossa, inclui solos com macroporos e fissuras

A obtenção do parâmetro  $Q$  se dá pela equação:

$$Q = R \cdot A$$

Onde:  $Q$  = vazão do regime permanente;

$R$  = razão da vazão constante durante o ensaio;

$A$  = área do reservatório do permeâmetro.

## 1.6. DIAGNÓSTICO RÁPIDO DA ESTRUTURA DO SOLO (DRES)

O DRES foi desenvolvido com base nos procedimentos adotados em outras técnicas, como o VESS (método de avaliação visual da estrutura do solo) (GUIMARÃES et al., 2011) e o método do Perfil Cultural (TAVARES FILHO et al., 1999; GAUTRONNEAU e MANICHON, 1987), com a finalidade de possibilitar o monitoramento espacial e temporal e a comparação de áreas com diferentes situações de manejo, verificando os efeitos deste manejo na melhoria ou degradação da estrutura do solo (RALISCH et al., 2017).

Segundo Ralisch et al., (2017), a metodologia é uma abordagem distinta do VESS, pois além das evidências de compactação observadas na amostra, o DRES considera outros efeitos dos processos de degradação, como predomínio de estruturas desagregadas, associadas à compactação e a erosão do solo.

É um método para qualificar a estrutura da camada superficial do solo (25 cm de profundidade), baseado em características detectadas visualmente nas amostras. As avaliações constam da observação de tamanho e forma dos agregados, presença ou não de feições de compactação ou de degradação do solo, forma e orientação das fissuras, rugosidade das faces de ruptura, resistência à ruptura, distribuição e aspecto do sistema radicular, e evidências de atividade biológica. A partir desses critérios, atribui-se uma pontuação de 1 a 6, onde “6” é indicativo de melhor condição estrutural, e “1” representa o solo totalmente degradado.

A construção dos conceitos adotados na metodologia fundamentou-se, especialmente, nos parâmetros de qualidade estrutural constatados por amplas avaliações realizadas com a metodologia do Perfil Cultural (TAVARES FILHO et al., 1999), que se adequa à avaliação dos solos tropicais, definindo manejos adequados e orientando a adoção de sistemas de produção conservacionistas.

### **1.7. ÍNDICE DE QUALIDADE PARTICIPATIVO (IQP) DO SISTEMA PLANTIO DIRETO**

O IQP é uma metodologia participativa que tem por objetivo avaliar a qualidade do Sistema Plantio Direto (SPD), levando em consideração um conjunto de 8 indicadores relacionados à eficiência do manejo do sistema produtivo visando a rentabilidade com conservação ambiental. Tem como objetivo prever os impactos de cenários futuros, de modo qualitativo ou demonstrativo de tendências, incluindo os seguintes indicadores: intensidade de rotação de culturas, diversidade de rotação de culturas, persistência de resíduos (palhada), frequência de preparo do solo, uso de terraços, avaliação da conservação do solo, fertilização equilibrada e tempo de adoção do SPD (FEBRAPDP, 2011).

A soma das notas dos indicadores (variáveis de 0 a 1, conforme critérios pré-estabelecidos) multiplicado por um fator de ponderação que reflete a importância relativa de cada um face às particularidades regionais, compõe o IQP (valor variável entre 0 e 10). A pontuação obtida define a qualidade do SPD da gleba analisada (ROLLOFF e MELLO, 2011).

De acordo com Bortoluzzi e Min Ma (2019), este questionário foi aplicado nos municípios lindeiros ao reservatório de Itaipu com 195 agricultores, e observou-se que apenas 2,5% das propriedades avaliadas possui uma ótima avaliação no IQP. A grande maioria, 54,3% apresentou uma boa nota do IQP e 43%, ainda tem muitos aspectos a serem melhorados em suas propriedades, no que se refere à conservação de solos.

Segundo Mendes et al., (2019) em um estudo de caso no município de Clevelândia, Paraná, aplicando o IQP para análise da qualidade do SPD, foi possível apontar quais os índices de intensidade de rotação (IR), diversificação de rotação (DR) e persistência da palha (PR) obtidos, e se estes encontram-se ou não dentro dos valores ideais para um SPD de qualidade. Sabendo-se da relevância que a rotação de culturas possui, o índice de IR foi um dos dados que mais causou preocupação, visto que, todos os entrevistados apresentaram um índice crítico de rotação de culturas, desprezando de certa forma os inúmeros benefícios que a rotação pode apresentar ao sistema.

Proposto originalmente por Roloff et al. (2011), e atualizado em sua 2ª versão (IQP2) por Grupo de Trabalho constituído por diversas instituições e liderado pela Federação Brasileira do Sistema Plantio Direto (FEBRAPDP). O IQP2 é expresso por um valor variável de 0 a 10, calculado pela soma da pontuação (0 a 1) atribuída a oito indicadores de acordo com critérios específicos, multiplicada por um fator de ponderação (1 ou 1,5) que reflete a importância de cada. Quanto maior o valor obtido, melhor é a qualidade do manejo do solo no plantio direto.

O IQP permite que se obtenha dos agricultores uma autoavaliação de suas propriedades, o que caracteriza a percepção de seus sistemas produtivos e melhora o entendimento do que é um SPD com qualidade.

## 2. ARTIGO A: AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO NA REGIÃO NORTE E NOROESTE DO PARANÁ

### RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade do solo em diferentes sistemas de produção durante a safra 2018/2019 na região norte e noroeste do Paraná. O trabalho foi realizado na safra 2018/2019, na janela entre a colheita da cultura de inverno e soja, em 24 talhões de propriedades agrícolas com diferentes históricos de manejo do sistema de produção, localizados nas regiões norte e noroeste do Paraná. A caracterização dos talhões e das práticas de manejo utilizadas foi realizada por meio da aplicação de questionário "Índice de qualidade participativo do Sistema Plantio Direto" (IQP), em cada talhão, foram estabelecidos oito pontos amostrais, distribuídos no terço médio, para avaliação da textura, TIE ( $\text{mm h}^{-1}$ ) determinada com auxílio de um infiltrômetro de aspersão de Cornell. e, do índice de qualidade do solo (IQES), obtido pelo diagnóstico rápido da estrutura do solo (DRES). As áreas avaliadas foram selecionadas em propriedades de cooperados da Cocamar Cooperativa Agroindustrial. Em quatro dos oito pontos, foram coletadas amostras de solo na camada de 0-20 cm, cada uma composta por cinco subamostras, para análises granulométricas, a partir dos teores de argila total e dispersa em água, foi obtido o grau de floculação (GF%) das argilas e quantificados os seguintes indicadores químicos de fertilidade: pH; acidez potencial, teores de matéria orgânica do solo, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e alumínio, capacidade de troca de cátions, saturação por bases e coleta da cobertura vegetal morta. Os resultados deste trabalho mostram os impactos positivos proporcionados pela ausência de mobilização do solo e utilização de modelos de produção com maior diversidade biológica e adição de palha e raízes, em escala de lavoura. O IQP2 é uma ferramenta que obteve resultados satisfatórios, útil para diagnosticar a qualidade do sistema de plantio direto.

**Palavras-chave:** Qualidade do manejo. Fertilidade do solo. Diagnóstico do sistema de produção.

### ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate soil quality in different production systems during the 2018/2019 harvest in the north and northwest of Paraná. The work was carried out in the 2018/2019 harvest, in the window between the winter crop and soybean harvest, in 24 plots of agricultural properties with different histories of management of the production system, located in the north and northwest regions of Paraná. The characterization of the stands and the management practices used was carried out through the application of a questionnaire "participatory quality index of the direct planting system" (IQP), in each stand, eight sampling points were established, distributed in the middle third, to evaluate the texture, TIE ( $\text{mm h}^{-1}$ ) determined with the aid of a Cornell sprinkler infiltrometer. And the soil quality index (IQES), obtained by the rapid diagnosis of soil structure (DRES). The evaluated areas were selected in properties owned by members of Cocamar cooperativa agroindustrial. In four of the eight points, samples of soil were collected in the layer of 0-20 cm, each one composed by five subsamples, for granulometric analysis, from the contents of total and dispersed clay in water, the degree of flocculation was

obtained (gf %) of clays and the following chemical fertility indicators were quantified: ph; potential acidity, soil organic matter, phosphorus, potassium, calcium, magnesium and aluminum contents, cation exchange capacity, base saturation and mulch collection. The results of this work show the positive impacts provided by the absence of soil mobilization and the use of production models with greater biological diversity and addition of straw and roots, on a crop scale. The IQP2 is a tool that obtained satisfactory results, useful for diagnosing the quality of the no-tillage system.

**Keywords:** Management quality. Soil fertility. Diagnosis of the production system.

## 2.1 INTRODUÇÃO

O Sistema Plantio Direto (SPD), para ser considerado conservacionista, deve atender três fundamentos: mínimo revolvimento do solo, manutenção de cobertura morta e/ou viva o maior período possível na área e diversificação de culturas, além de um sistema de terraceamento bem dimensionado e operações em nível (LEITE et al., 2009).

Segundo a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2019), no mundo, o equivalente a um campo de futebol é erodido a cada cinco segundos. Este ritmo levará à degradação de mais de 1,5 milhões de quilômetros quadrados até 2050.

De acordo com Bastos et al., (2001) e Franchini et. al., (2016) a erosão é um fenômeno natural constituído basicamente de três eventos sequenciais caracterizados pelo desprendimento das partículas dos agregados do solo, transporte e deposição das partículas carregadas nas seções inferiores do terreno. Ela depende da interação de vários fatores como: erosividade da chuva, erodibilidade do solo, declividade, comprimento de rampa, taxa de infiltração de água no solo e práticas de manejo e de conservação do solo e da água.

A cobertura vegetal, neste caso, favorece a diminuição do impacto direto das gotas reduzindo o escoamento superficial e as taxas de erosão. Ela é considerada a defesa natural do solo ao processo erosivo, interceptando a água da chuva, favorecendo a decomposição de raízes, aumentando o teor de matéria orgânica, melhorando a porosidade e a retenção de água (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2014).

Para um manejo eficiente do solo e da água é importante o conhecimento da capacidade de infiltração de água e as relações com outras

propriedades do solo. A taxa de infiltração estável de água no solo (TIE) é uma característica complexa que integra aspectos relacionados a química, física e biologia do solo, sendo um indicador importante da qualidade integral do solo, pois, várias características interferem neste processo, entre elas: distribuição por tamanho e qualidade do espaço poroso, densidade, resistência a penetração, histórico de uso e cobertura do solo (MARTINS; SANTOS, 2017).

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade do solo em diferentes sistemas de produção durante a safra 2018/2019 na região Norte e Noroeste do Paraná.

## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na safra 2018/2019, na janela entre a colheita da cultura de inverno e soja, em 24 talhões de propriedades agrícolas com diferentes históricos de manejo do sistema de produção, localizados nas regiões norte e noroeste do Paraná, em municípios pertencentes a três núcleos: Londrina, Maringá e Iporã.

A caracterização dos talhões e das práticas de manejo utilizadas foi realizada por meio da aplicação de questionário "Índice de qualidade participativo do Sistema Plantio Direto" (IQP2) junto ao produtor, associado à observação *in loco* da área (ROLOFF et al., 2011).

O questionário englobou, de forma resumida, os seguintes pontos:

- 1) Município, coordenadas geográficas, altitude e área cultivada;
- 2) Tempo de utilização do plantio direto;
- 3) Presença ou não de terraços na área/frequência de transbordamentos de água nos terraços;
- 4) Realização ou não das operações de pulverização e/ou semeadura em nível;
- 5) Existência ou não de sinais de erosão (escoamento superficial, arraste de palha, sulcos e/ou acúmulo de terra);
- 6) Presença ou não de compactação do solo (área total ou de manobras – “cabeceiras”);
- 7) Realização ou não de preparo do solo nos últimos três anos; em caso positivo, identificação do implemento utilizado;

8) Utilização de adubação orgânica e critérios técnicos para definição das doses aplicadas (balanço de nutrientes e análise química do solo);

9) Realização ou não de análises químicas de solo;

10) Espécies vegetais cultivadas nas últimas três safras.

Com base nas respostas ao questionário e na observação dos talhões *in loco*, foi determinado o IQP, proposto originalmente por Roloff, et al., (2011), e atualizado em sua 2ª versão (IQP2) em trabalho liderado pela Federação Brasileira do Sistema Plantio Direto (FEBRAPDP). O IQP2 é expresso por valor numérico que varia de 0 a 10, calculado pela soma da pontuação (0 a 1) atribuída a oito indicadores, de acordo com critérios específicos, e, depois, multiplicado por um fator de ponderação (1 ou 1,5), que reflete a importância de cada indicador, conforme equação (1). Quanto maior o valor obtido, melhor é a qualidade do manejo do solo no plantio direto.

$$IQP2 = [1,5 \times (IR + DR + PR + FP)] + [1,0 \times (TE + AC + FE + TA)] \quad (1)$$

Em que,

- IR: Intensidade de rotação;
- DR: Diversidade da rotação;
- PR: Persistência da palhada;
- FP: Frequência do preparo do solo;
- TE: Terraceamento;
- AC: Conservação do solo;
- FE: Fertilização equilibrada;
- TA: Tempo de adoção do sistema.

Os valores “1,5” e “1,0” referem-se aos fatores de ponderação, que representam a importância relativa de cada grupo de indicadores.

Em cada talhão, foram estabelecidos oito pontos amostrais, distribuídos no terço médio, para avaliação da textura, TIE (mm h<sup>-1</sup>) e, do índice de qualidade do solo (IQES), obtido pelo diagnóstico rápido da estrutura do solo (DRES). As áreas avaliadas foram selecionadas em propriedades de cooperados da Cocamar Cooperativa Agroindustrial.

A TIE foi determinada com auxílio de um infiltrômetro de aspersão de Cornell, construído conforme as especificações descritas por Ogden et al. (1997),

com os aperfeiçoamentos indicados por Seratto et al. (2019). Para determinar a TIE foi simulada uma chuva com intensidade de 300 mm h<sup>-1</sup>. O escoamento superficial foi determinado a partir do volume de água coletado por uma mangueira posicionada em um orifício de 1 cm<sup>2</sup> localizado ao nível do solo, na parte externa do cilindro. A TIE foi obtida pela diferença entre o volume de chuva aplicado e o volume de água escoado superficialmente. As avaliações se prolongaram até a estabilização das leituras de escoamento, o que durou em média 60 minutos por ponto.

O DRES (RALISCH et al., 2017), foi realizado através da coleta de amostras na camada superficial do solo por meio de uma pá reta, com dimensões de 0,20 m x 0,25 m x 0,10 m (largura x profundidade x espessura) em cada ponto amostral. As camadas foram identificadas, suas espessuras obtidas e as notas de qualidade estrutural atribuídas para cada camada (Q<sub>ec</sub>). A partir dessas informações, foi determinado o Índice de Qualidade Estrutural do solo da Amostra (IQEA) e, a partir da média dos IQEAs, foi calculado o Índice de Qualidade Estrutural do solo (IQES).

Em quatro dos oito pontos, foram coletadas amostras de solo na camada de 0-20 cm, cada uma composta por cinco subamostras, para análises granulométricas e dos teores de argila dispersa em água (TEIXEIRA et al., 2017). A partir dos teores de argila total e dispersa em água, foi obtido o grau de floculação (GF%) das argilas. Para as mesmas amostras de solo foram quantificados os seguintes indicadores químicos de fertilidade: pH; acidez potencial (H+Al); teores de matéria orgânica do solo (MOS), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e alumínio (Al); capacidade de troca de cátions (CTC); e saturação por bases (V%) (Teixeira et al., 2017).

A cobertura do solo com palha foi determinada em quatro pontos por talhão, coincidentes com os utilizados na coleta de amostras de solo. Em cada ponto, a superfície do solo foi delimitada por uma armação metálica de 0,25 m<sup>2</sup> de área, fotografada com câmera digital e, em seguida, a cobertura vegetal morta contida no interior da armação foi coletada e acondicionada em sacos de papel. As imagens digitais foram processadas por meio do software Siscob (JORGE; SILVA, 2009), determinando-se a porcentagem de cobertura do solo com palha (Cob%). Já as amostras de palha foram submetidas à secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65°C por 72 h e pesadas, sendo os valores convertidos em t/ha (Cob ton).

Os indicadores selecionados foram então enquadrados em cinco classes de interpretação (muito bom, bom, regular, ruim e muito ruim). À exceção do IQP, a interpretação dos demais indicadores foi expressa conjuntamente por área agrícola avaliada, por meio da construção de gráficos do tipo “radar”, com o uso do programa Microsoft Excel®. Para elaborar esse tipo de gráfico, os indicadores envolvidos foram padronizados em um índice, variável de -2 a 3. Essa padronização foi realizada atribuindo-se números variáveis entre -2 e 3 para os limites inferior e superior de cada atributo em cada classe de interpretação.

### **2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

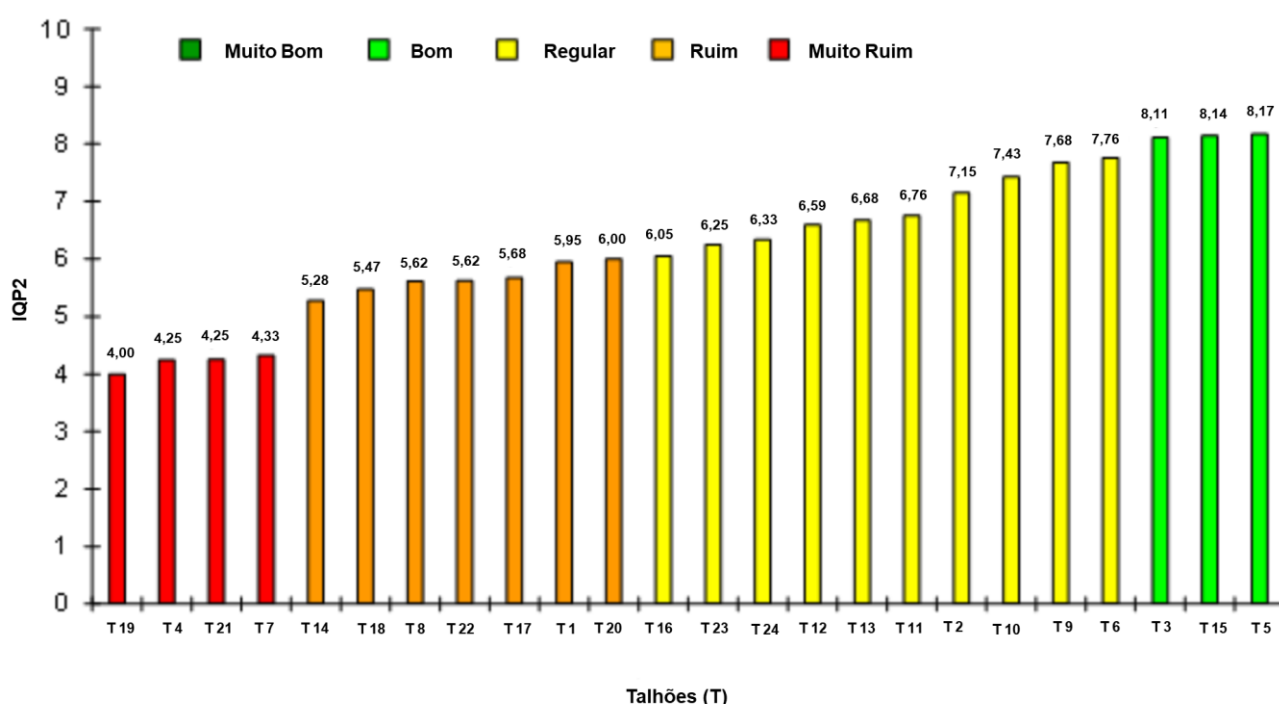
Na Tabela 1 são apresentados os teores de areia, argila e silte na camada de 0-20 cm de profundidade dos 24 talhões avaliados e as sequências de culturas instaladas no verão e inverno.

**Tabela 1.** Localização, caracterização dos modelos de produção (últimas três safras), classe textural, declividade média e teores de areia, silte e argila na camada 0-20 cm de profundidade, nos 24 talhões agrícolas avaliados no Norte e Noroeste do Paraná, safra 2018/2019.

Talhões	Município	Manejo de Culturas					Declividade m m <sup>-1</sup>	Classe textural*
		Inverno	Verão	Areia	Silte	Argila		
						%		
T1	Ângulo	Milho	Soja	69	4	27	0,07	Franco-argilo-arenosa
T2	Floraí	Milho	Soja	80	2	18	0,02	Areia franca
T3	Iporã	Ruziziensis	Soja	90	2	8	0,09	Areia franca
T4	Iporã	Milho	Soja	78	4	18	0,07	Areia franca
T5	Cafezal do Sul	Pasto degradado	Soja	85	2	13	0,07	Areia franca
T6	Jussara	Milho+Ruziziensis	Soja	76	5	20	0,03	Franco-arenoso
T7	Floraí	Milho	Soja	47	10	43	0,07	Argila
T8	Floraí	Milho	Soja	38	8	54	0,04	Argila
T9	Floraí	Milho	Soja	23	27	50	0,04	Argila
T10	Jussara	Milho	Soja	25	18	57	0,05	Argila
T11	Mandaguaçu	Milho	Soja	26	14	60	0,05	Argila
T12	São Jorge do Ivaí	Aveia/Milho+Ruziziensis	Soja	31	19	50	0,07	Argila
T13	Primeiro de Maio	Milho	Soja	14	9	74	0,07	Muito argilosa
T14	Primeiro de Maio	Milho	Soja	16	12	72	0,05	Muito argilosa
T15	Primeiro de Maio	Aveia/Milho+Ruziziensis	Soja	15	13	72	0,05	Muito argilosa
T16	Sertanópolis	Milho/Milheto	Soja	15	14	71	0,05	Muito argilosa
T17	Sertanópolis	Milho	Soja	18	14	68	0,05	Muito argilosa
T18	Sertanópolis	Milho	Soja	18	12	70	0,07	Muito argilosa
T19	Santa Cecília do Pavão	Trigo	Soja	12	16	72	0,08	Muito argilosa
T20	Santa Cecília do Pavão	Trigo	Soja	18	19	63	0,14	Muito argilosa
T21	Santa Cecília do Pavão	Trigo	Soja	15	18	67	0,05	Muito argilosa
T22	São Sebastião da Amoreira	Milho+Ruziziensis	Soja	8	14	78	0,05	Muito argilosa
T23	São Sebastião da Amoreira	Milho	Soja	12	11	77	0,04	Muito argilosa
T24	São Sebastião da Amoreira	Milho+Ruziziensis	Soja	7	13	80	0,02	Muito argilosa

\*Santos et al., 2013.

Na Figura 1 observa-se que 11 dos 24 talhões (46%) ficaram com classificação ruim ou muito ruim no IQP2, e na Figura 2, esses mesmos talhões tiveram pelo menos cinco variáveis (das nove analisadas) classificadas como regular, ruim ou muito ruim, evidenciando a eficácia da metodologia do IQP2 para avaliar a qualidade do Sistema Plantio Direto. Exceto os talhões 14 e 22, os demais tiveram as variáveis Cob%, Cob ton, TIE e IQES nas categorias regular, ruim ou muito ruim.



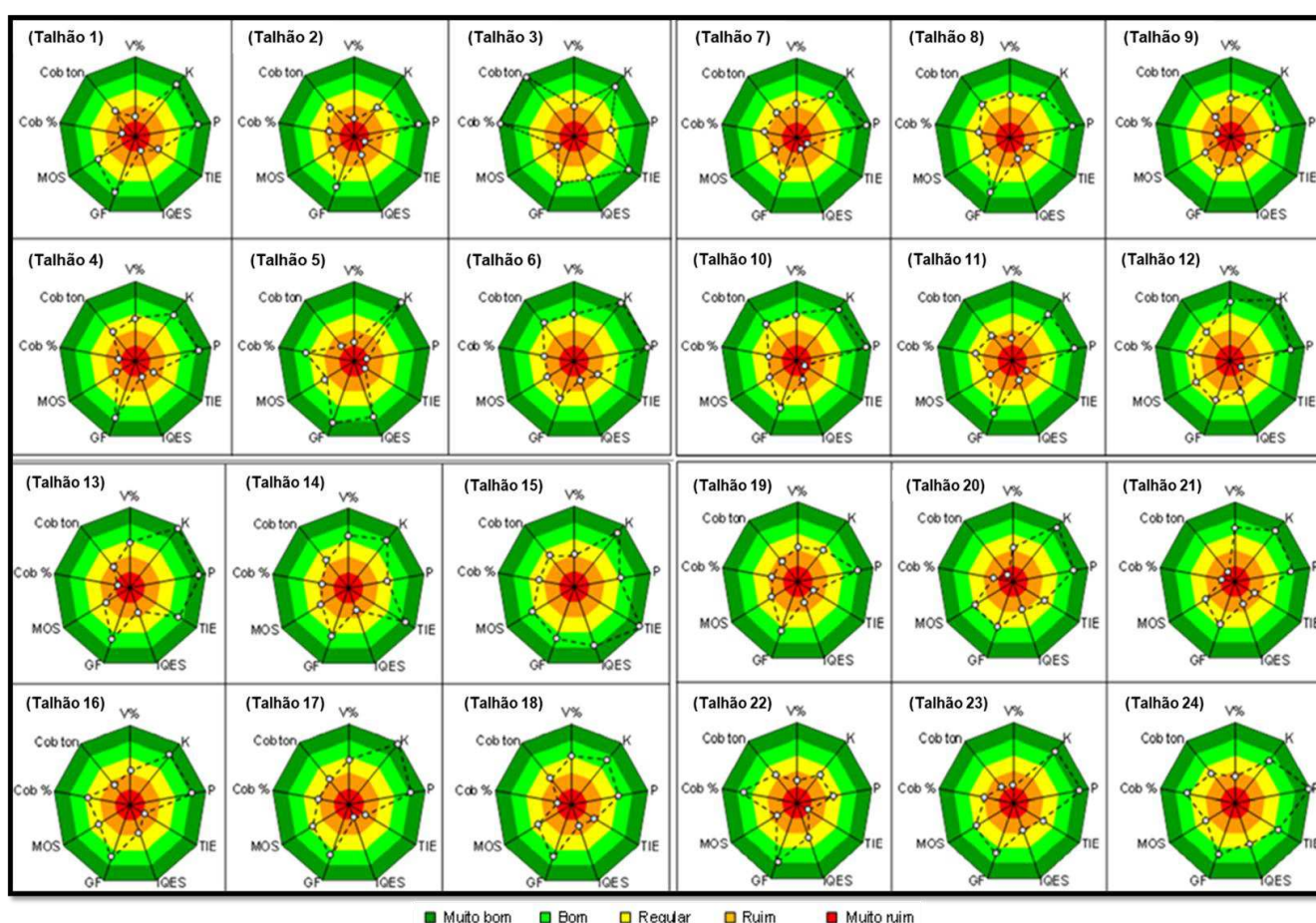
**Figura 1.** Classificação dos talhões, avaliados pelo IQP2, nas regiões Norte e Noroeste do Paraná, safra 2018/2019.

As variáveis físicas e a cobertura do solo, Tabela 1, se expressam como fatores limitantes para a qualidade do sistema de plantio direto (SPD), e, em apenas três talhões (14, 19 e 22) as variáveis fósforo (P) e potássio (K) estiveram presentes como classificação “regular”, evidenciando que manejo destes atributos químicos está sendo realizado adequadamente.

A classificação “regular” do IQP2 (Figura 1) é a categoria com maior número de talhões, 10 (42%). Na Figura 2 há predominância das variáveis nas categorias ruim ou regular, tendo pelo menos quatro das nove variáveis (45%) nesta classificação (exceto o talhão 10, com três variáveis). Novamente, esta distribuição das variáveis refletiu na nota do IQP2, reforçando a ideia de que esta metodologia é

válida para indicar a qualidade do solo no SPD. Vale destacar que, em todos esses talhões os nutrientes P e K se encontram nos níveis bom e muito bom, evidenciando mais uma vez, a discrepância do manejo químico em relação aos físicos, que em seis de 10 talhões tem os atributos IQeS e TIE nas classes ruim ou muito ruim (Figura 2).

Já na classificação “bom” do IQP2, constam apenas três talhões (3, 5 e 15), nos quais quase metade das variáveis se encontram nas classes “bom” e “muito bom” (45%, talhão 5) e 67% nos talhões 3 e 15. Ao contrário do que acontece nos talhões classificadas como “ruim” e muito ruim do IQP2, estes talhões têm as variáveis físicas classificadas como bom ou muito bom. Além disso, ainda focando nestes dois talhões, apenas o talhão 3 tem uma variável classificada como ruim (MOS), enquanto todas as demais estão regulares ou superiores.



**Figura 2.** Índices padronizados de cobertura e de qualidade do solo por talhão agrícola avaliado na região Noroeste Arenito (safra 2018/2019). V% = saturação por bases; K = teor de potássio; P = teor de fósforo; TIE = taxa de infiltração estável de água; IQES = índice de qualidade estrutural do solo, pelo método DRES; GF = grau de floculação da fração argila; MOS = teor de matéria orgânica do solo; Cob % = porcentagem de cobertura do solo; Cob ton = cobertura do solo (massa de palha). Todos os indicadores de qualidade do solo referem-se à camada de 0-20 cm, com exceção do IQES (0-25 cm) e da TIE (superfície do solo).

Em 18 talhões (67%) a TIE e o IQES estavam, ao mesmo tempo, na classe regular, ruim ou muito ruim. Se considerarmos quando pelo menos um destes atributos se encontra nestas classes, a quantidade de talhões sobe para 22 (92%), situação extremamente preocupante, visto a importância da física do solo nos processos de infiltração, condução e retenção de água no solo; aeração; proteção da matéria orgânica; suporte para o crescimento das raízes das plantas e demais formas de vida (STEFANOSKI et al., 2013); dentre outros. Sendo assim, este segmento da qualidade do solo está sendo deixado de lado, quando comparado ao manejo dos nutrientes P e K, já mencionados.

O grau de floculação (GF) indica a capacidade de agregação do solo (VASCONCELOS et al., 2013), ou seja, a união entre as suas partículas, um bom indicador do estado da sua estrutura. Em 19 talhões (79%) o GF se encontra nas categorias bom ou muito bom e cinco talhões na categoria regular, evidenciando resultados satisfatórios deste indicador. Entretanto, por ser um indicador físico da estrutura do solo, este deveria ter um comportamento coerente com o TIE e o IQES (VASCONCELOS et al., 2013), mas isso não aconteceu, já que estes dois últimos indicadores tiveram resultados não satisfatórios, como já mencionado. Corroborando com os resultados, Albuquerque et al. (2005) afirmam que o processo de aumento do GF pode ocorrer de diversas maneiras, nem sempre mudando a estrutura do solo para melhor, conseqüentemente, não afetando beneficemente a infiltração. De acordo com os resultados encontrados, pode-se então inferir que mesmo estando nas categorias boa e muito boa, o GF não pode ser usado isoladamente na avaliação da qualidade do solo.

Vale destacar o talhão 5, como sendo o único que obteve GF na classe muito bom, devido provavelmente ao cultivo de pastagem, na qual não há revolvimento do solo e ocorre acúmulo de matéria orgânica (SALTON et al., 2008), e sistema radicular fasciculado que tende a agregar o solo (GARCIA; ROSOLEN, 2010).

Avaliando P e K, em 75% dos casos (18 talhões) estes nutrientes se encontravam em níveis bom ou muito bom, e isso pode ser explicado pelo uso excessivo de adubos formulados (N-P-K), que quando usados indiscriminadamente, sem análise química de solo, faz com que os teores destes nutrientes se elevem, desequilibrando as relações na saturação por bases, podendo ter efeito maléfico para a absorção de outros nutrientes (KURIHARA et al., 1993).

Mesmo fazendo parte da qualidade química do solo, a V% também não apresenta resultados satisfatórios, uma vez que em 18 talhões (75%) esta variável é regular, ruim ou muito ruim. Este indicador pode ser corrigido através da calagem, que serve como fonte de cálcio e magnésio (nutrientes essenciais às plantas), proporciona ambiente adequado ao crescimento radicular, uma vez que neutraliza o alumínio tóxico e por consequência eleva o pH do solo, fazendo com que outros nutrientes fiquem disponíveis para a absorção pelas raízes das plantas (FONSECA et al., 2010).

A porcentagem de cobertura do solo (Cob%) e a cobertura em toneladas por hectare (Cob ton) tiveram distribuição semelhante nas classificações. Essas duas variáveis apresentaram, respectivamente, nas classificações: muito ruim (talhões 4 e 2), ruim (talhões 7 e 6), regular (talhões 9 e 13), bom (talhões 3 e 2) e muito bom (talhão 1 e 1). Porém, quando uma variável tinha uma determinada classificação, a outra não apresentava necessariamente a mesma classificação, coincidindo em apenas 7,5% dos talhões. Assim, o solo pode estar coberto com uma boa quantidade de palhada, porém, pode não estar distribuída de forma uniforme na área, não exercendo uma proteção do solo muito eficiente. De modo semelhante, pode haver boa cobertura do solo em porcentagem, mas em volume pequeno, não favorecendo os benefícios da palhada no solo.

A cobertura do solo tem papel primordial na conservação do solo, pois oferece proteção física às gotas de chuva, que impactam o solo, desprendem as suas partículas que são facilmente carregadas, ou podem obstruir os poros do solo, diminuindo a infiltração de água e aumentando a formação de enxurradas na superfície (PANACHUKI et al., 2011). Adicionalmente, a cobertura morta (e consequentemente a sua massa de raízes, abaixo da superfície) é fonte de matéria orgânica para o solo, que age como uma das variáveis mais importantes, pois melhora os aspectos físicos (agregação, diminui a compactação e aumenta a porosidade), químicos (aumenta a CTC, faz ciclagem de nutrientes) e biológicos (serve de fonte de energia para os microrganismos benéficos).

Porém, sua adição ao sistema, sem critério, nem sempre resulta nos melhores resultados, pois a eficiência desse manejo depende da utilização de rotação de culturas, o quanto mais diversificado possível, que produza grande e diversificada quantidade de resíduos vegetais durante todo o ano (VERNETTI JÚNIOR et al., 2009). Contudo, para haver incremento nos teores de matéria

orgânica no solo, deve ser feito o manejo adequado por longos períodos de tempo, já que esta variável demora a apresentar uma resposta satisfatória (BAYER et al., 2000).

## **2.4 CONCLUSÃO**

Os resultados deste trabalho mostram os impactos positivos proporcionados pela ausência de mobilização do solo e utilização de modelos de produção com maior diversidade biológica e adição de palha e raízes, em escala de lavoura. Além da maior cobertura do solo (porcentagem e massa), a adoção de tais modelos proporciona melhorias na fertilidade estrutural do solo, com a formação de um ambiente favorável ao crescimento de raízes e com maior disponibilidade de água.

O IQP2 é uma ferramenta que obteve resultados satisfatórios, útil para diagnosticar a qualidade do sistema de plantio direto.

Neste trabalho verificou-se falta de atenção à calagem e atributos físicos, de maneira geral, quando comparados com os químicos. Ressaltar que estes atributos, mesmo quando presentes na classe muito boa, devem ser avaliados cuidadosamente, pois a relação de nutrientes pode influenciar na absorção pelas plantas.

### 3. ARTIGO B: AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE TERRACEAMENTO UTILIZANDO IMAGENS AÉREAS E FERRAMENTAS DIGITAIS

#### RESUMO

O objetivo foi avaliar os sistemas de terraceamento implantados em propriedades agrícolas, na bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho, por meio da taxa de infiltração de água no solo e de ferramentas digitais. O trabalho foi desenvolvido em 24 talhões de propriedades agrícolas com diferentes históricos de manejo de sistema de produção, localizadas na bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho no Terceiro Planalto do Paraná no município de Cambé, Paraná, Brasil. Foram estabelecidos três pontos amostrais, distribuídos nos terços superior, médio e inferior do talhão, para avaliação da taxa de infiltração estável por meio do permeâmetro de Guelph, foi realizado O DRES para obter o índice de qualidade estrutural do solo e para caracterização das práticas de manejo utilizadas foi realizado o questionário "índice de qualidade participativo do Sistema Plantio Direto" (IQP2) junto ao produtor, associado à observação *in loco* da área. As imagens aéreas foram obtidas com um veículo aéreo não tripulado (VANT). As imagens geradas foram processadas por meio do software Agisoft Metashape v. 1.5.5, gerando ao final do processo o ortomosaico e o Modelo Digital de Elevação (MDE). Para a construção da base de dados de altimetria e declividade a partir do MDE, foi utilizada uma série de procedimentos utilizando os softwares Qgis, Vesper e Surfer, as bases de dados finais para uso no programa Terraço 4.1 foram geradas no programa Surfer, a partir dos dados krigados. As bases foram geradas com resolução de 1 m e exportadas no formato ASCII GRID, que permite a leitura diretamente no programa Terraço 4.1. Foram comparadas a TIE observada por medida direta e calculada nos projetos simulados para verificar se os sistemas implantados nos talhões agrícolas avaliados eram adequados. O uso de ferramentas digitais em conjunto da análise de taxa de infiltração de água no solo possibilitaram a classificação do terraceamento em propriedades agrícolas, mostrando a necessidade de manutenção de terraços e a importância do uso de práticas conservacionistas.

**Palavras-chave:** Planejamento de terraços. Manejo do solo. Qualidade do plantio.

#### ABSTRACT

The objective was to evaluate the terracing systems implemented in agricultural properties, in the Ribeirão Vermelho watershed, through the rate of water infiltration in the soil and digital tools. The work was carried out in 24 plots of agricultural properties with different histories of production system management, located in the Ribeirão Vermelho watershed in the Third Plateau of Paraná in the municipality of Cambé, Paraná, Brazil. Three sampling points were established, distributed in the upper, middle and lower thirds of the plot, to evaluate the stable infiltration rate using the Guelph permeameter, the DRES was carried out to obtain the structural quality index of the soil and to characterize the practices of management used, the questionnaire "participatory quality index of the Direct Planting System" (IQP2) was carried out with the producer, associated with *in loco* observation of the area. The aerial images were obtained with an unmanned aerial vehicle (VANT). The generated images were processed using Agisoft Metashape v. 1.5.5, generating at the end of the process the orthomosaic and the Digital Elevation Model (DEM). For the

construction of the altimetry and slope database from the MDE, a series of procedures were used using the Qgis, Vesper and Surfer software, the final databases for use in the Terraço 4.1 program were generated in the Surfer program, from of the kriged data. The bases were generated with a resolution of 1 m and exported in ASCII GRID format, which allows reading directly in the Terraço 4.1 program. The EIT observed by direct measurement and calculated in the simulated projects were compared to verify if the systems implemented in the evaluated agricultural fields were adequate. The use of digital tools together with the analysis of water infiltration rate in the soil allowed the classification of terracing in agricultural properties, showing the need for terrace maintenance and the importance of using conservation practices.

**Keywords:** Terrace planning. Soil management. Planting quality

### 3.1 INTRODUÇÃO

A conservação do solo e da água na propriedade rural são princípios básicos para a sustentabilidade ambiental e da produção agrícola (FRANCHINI et al., 2016). O manejo inadequado resulta na degradação do solo por meio do aumento do escoamento superficial, que é o excedente de água da chuva que não infiltra. A erosão é um fenômeno natural que depende da interação de vários fatores como: a erosividade da chuva, a erodibilidade do solo, a declividade, o comprimento de rampa, a taxa de infiltração de água no solo e as práticas de manejo e de conservação do solo e da água. O terraceamento é uma prática conservacionista bem difundida entre os agricultores para o controle da erosão hídrica, no entanto a sua alocação na área, de acordo com os critérios atuais utilizados no Paraná (CAVIGLIONE et al., 2010) tem sido questionada em função do número considerado excessivo de terraços.

O software Terraço 4.1 foi desenvolvido para o planejamento integrado de uso dos recursos hídricos e é aplicado na conservação do solo e da água. Esse software permite realizar simulações usando informações sobre a erosividade da chuva, dados de altimetria e declividade do terreno, forma de construção e dimensões das estruturas de contenção da enxurrada e a taxa de infiltração estável de água no solo (TIE). Este conjunto de informações permite realizar análises criteriosas das características locais, o que resulta em mais opções para o sistema de terraceamento a ser utilizado, facilitando a tomada de decisão de técnicos e produtores rurais (CUNHA et al. 2011).

Identificar a variação espacial e temporal para melhor aplicação das

práticas agrícolas e aproveitamento dos insumos, é uma das premissas da agricultura de precisão, que busca com isso melhorar a produtividade, reduzir o custo de produção e impactos ambientais (JORGE e INAMASU, 2014). O monitoramento de áreas agrícolas pode ser realizado por meio de veículos aéreos não tripulados (VANTS), popularmente conhecidos como drones, e permite a obtenção de imagens aéreas de grandes áreas com baixo custo, com maior frequência e alta resolução (FRANCHINI et al., 2018). Além de monitorar o comportamento das culturas, as imagens aéreas também permitem obter o modelo digital de elevação (MDE) da área. O MDE permite a construção de bases precisas de altimetria e declividade facilitando o trabalho de planejamento do sistema de terraceamento. Outra informação importante para o planejamento de terraços é a TIE, uma vez que afeta diretamente a lâmina de escoamento superficial de água (LES) utilizada para o dimensionamento de terraços e, é fortemente influenciada pelo nível de diversificação de espécies vegetais no sistema de produção (SILVA et al., 2018).

Neste contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar os sistemas de terraceamento implantados em propriedades agrícolas, na bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho, por meio da taxa de infiltração de água no solo e de ferramentas digitais.

### **3.2 MATERIAL E MÉTODOS**

O trabalho foi desenvolvido em 24 talhões de propriedades agrícolas (Figura 1), com diferentes históricos de manejo de sistema de produção, localizadas na bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho no Terceiro Planalto do Paraná (-51° 14' 17,817", -23° 09' 58,403") no município de Cambé, Paraná, Brasil. O clima é classificado como subtropical úmido – Cfa (Köppen), com temperatura anual média de 20,4°C e precipitação de 1466 mm (IAPAR, 2018).



**Figura 1.** Imagem aérea da bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho. Cambé, PR. Fonte: Franchini (24/03/2019).

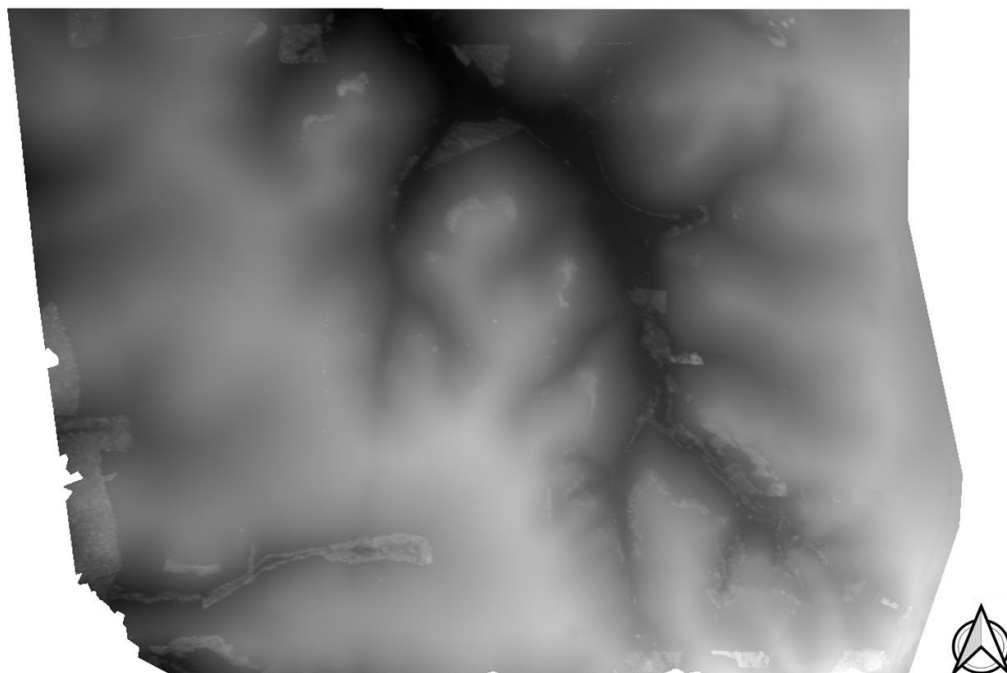
Foram estabelecidos três pontos amostrais, distribuídos nos terços superior, médio e inferior do talhão, para avaliação da taxa de infiltração estável ( $\text{mm h}^{-1}$ ). A metodologia para a determinação da TIE foi realizada pelo permeâmetro de Guelph conforme as especificações descritas por Reynolds e Elric (1983) foi de poço de infiltração, sendo a coluna de água fixada a uma altura de 0,05 m para a obtenção das leituras de fluxo, por meio da régua fixada ao tubo de acrílico, realizadas a cada 3 minutos até a obtenção de valores constantes (Figura 2).



**Figura 2.** Permeômetro de Guelph (A); poço de infiltração construído para obtenção das leituras de fluxo (B).

Para determinação dos valores de TIE, foi utilizado o software ONEHEAD, conforme Vieira (1998).

As imagens aéreas foram obtidas com um veículo aéreo não tripulado (VANT) do tipo asa fixa (Batmap), equipado com câmera multiespectral (Rededge-M) de 5 bandas (azul, verde, vermelho, borda do infravermelho e infravermelho próximo). As imagens geradas foram processadas por meio do software Agisoft Metashape v. 1.5.5 (AGISOFT, 2019), gerando ao final do processo o ortomosaico e o Modelo Digital de Elevação (MDE) (Figura 3). Não foram utilizados pontos de controle georreferenciados no solo para correção de distorções nas imagens geradas.



**Figura 3.** Imagem do Modelo Digital de Elevação (DEM) da bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho. Cambé, PR.

Para a construção da base de dados de altimetria e declividade a partir do MDE, foi utilizada uma série de procedimentos utilizando os softwares Qgis (QGIS, 2020), Vesper (MINASNY et al., 2006) e Surfer (GOLDEN SOFTWARE INC, 1999). A resolução do MDE foi reduzida de aproximadamente 0,10 m para 20 metros no Qgis e remodelada por meio de geoestatística no Vesper. Os dados krigados foram retornados ao Qgis para o cálculo da declividade. Os dados de declividade também foram remodelados no Vesper, o modelo mais bem ajustado à altitude e à declividade foi o gaussiano, com distância máxima de 200 metros e número de lags variando entre 5 e 9, de acordo com as características das áreas.

Para seleção do modelo e dos parâmetros foram utilizados os menores valores do índice AIC e da raiz quadrada do desvio padrão (RMSE). As bases de dados finais para uso no programa Terraço 4.1 foram geradas no programa Surfer, a partir dos dados krigados. As bases foram geradas com resolução de 1 m e exportadas no formato ASCII GRID, que permite a leitura diretamente no programa Terraço 4.1.

Foram comparadas a TIE observada por medida direta e calculada nos projetos simulados para verificar se os sistemas implantados nos talhões agrícolas avaliados eram adequados. Quando a TIE observada for igual ou superior a TIE determinada no projeto o sistema de terraceamento foi considerado adequado,

caso contrário, foi considerado inadequado.

O DRES (RALISCH et al., 2017), foi realizado através da coleta de amostras na camada superficial do solo por meio de uma pá reta, com dimensões de 0,20 m x 0,25 m x 0,10 m (largura x profundidade x espessura) em cada ponto amostral. As camadas foram identificadas, suas espessuras obtidas e as notas de qualidade estrutural atribuídas para cada camada ( $Q_{ec}$ ). A partir dessas informações, foi determinado o Índice de Qualidade Estrutural do solo da Amostra (IQEA) e, a partir da média dos IQEAs, foi calculado o Índice de Qualidade Estrutural do solo (IQES).

Para caracterização dos talhões e das práticas de manejo utilizadas foi realizado o questionário "Índice de qualidade participativo do Sistema Plantio Direto" (IQP2) junto ao produtor, associado à observação *in loco* da área (ROLOFF et al., 2011).

### **3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Analisando os resultados de TIE das 24 áreas agrícolas (Tabela 1), os talhões foram classificados com baixa (<30; 2 áreas), média (30-60; 4 áreas) e alta (60-90; 18 áreas) taxa de infiltração ( $\text{mm h}^{-1}$ ), conforme escala sugerida por Silva et al. (2017). O menor valor observado para TIE ( $20 \text{ mm h}^{-1}$ ) foi no talhão 5, com histórico de manejo de Soja/Milho/Aveia tendo realizada escarificação no ano anterior, enquanto a maior TIE observada foi de  $102 \text{ mm h}^{-1}$  no talhão 10, manejado com Soja/Milho sem a realização de escarificação no ano anterior.

**Tabela 1.** Características dos terraços projetados mais bem ajustados com os terraços implantados nos talhões agrícolas avaliados, TIE observada e classificação do sistema implantado.

Talhão	Histórico de manejo	Calculado			N° terraços na área	TIE (mm h <sup>-1</sup> ) Observada	Classificação
		Altura (cm)	TIE (mm h <sup>-1</sup> )	N° terraços			
1	Soja/Milho	50	30	12	0	72	Inadequado
2	Soja/Milho	50	20	10	7	65	Inadequado
3	Soja/Milho <sup>1</sup>	50	20	13	6	52	Inadequado
4	Soja/Milho <sup>1</sup>	50	30	12	4	73	Inadequado
5	Soja/Milho/Aveia <sup>2</sup>	50	30	6	4	20	Inadequado
6	Soja/Milho <sup>1</sup>	50	50	12	5	71	Inadequado
7	Soja/Milho/Aveia	50	50	9	10	96	Adequado
8	Soja/Milho <sup>1</sup>	40	60	13	9	58	Inadequado
9	Soja/Milho	50	55	13	9	53	Inadequado
10	Soja/Milho	50	30	15	9	102	Inadequado
11	Soja/Milho	40	40	20	5	75	Inadequado
12	Soja/Milho+braquiária	30	60	15	10	87	Inadequado
13	Soja/Milho	50	40	19	19	73	Adequado
14	Soja/Milho	50	30	10	2	90	Inadequado
15	Soja/Milho	50	30	11	13	72	Adequado
16	Soja/Milho+braquiária	50	40	12	14	70	Adequado
17	Soja/Milho+braquiária	50	50	11	13	86	Adequado
18	Soja/Milho+braquiária	50	35	11	11	62	Adequado
19	Soja/Milho+braquiária	40	45	24	10	62	Inadequado
20	Soja/Milho	50	30	13	7	85	Inadequado
21	Soja/Milho	40	40	22	10	28	Inadequado
22	Soja/Milho+braquiária	40	45	18	9	87	Inadequado
23	Soja/Milho	50	45	9	9	98	Adequado
24	Soja/Milho	50	30	22	19	50	Inadequado

<sup>1</sup> realizado preparo do solo. <sup>2</sup> realizado escarificação no ano anterior.

Quando comparados os dois talhões (5 e 7) que possuem o mesmo histórico de manejo (Soja/Milho/Aveia), diferindo apenas na escarificação realizada no talhão 5, as TIE são, respectivamente de 20 e 96 mm.h<sup>-1</sup>. Com isso, pode-se concluir que a escarificação pode ser o fator que leva a menor taxa de infiltração de água no solo, porém contrariando vários autores (CASTRO et al., 2010; SCHIAVO e COLODRO, 2012; GIRARDELLO et al., 2011), ou seja, a baixa infiltração na área escarificada pode ocorrer devido a outros fatores, como composição granulométrica do solo, quantidade e qualidade de poros e umidade antecedente à avaliação.

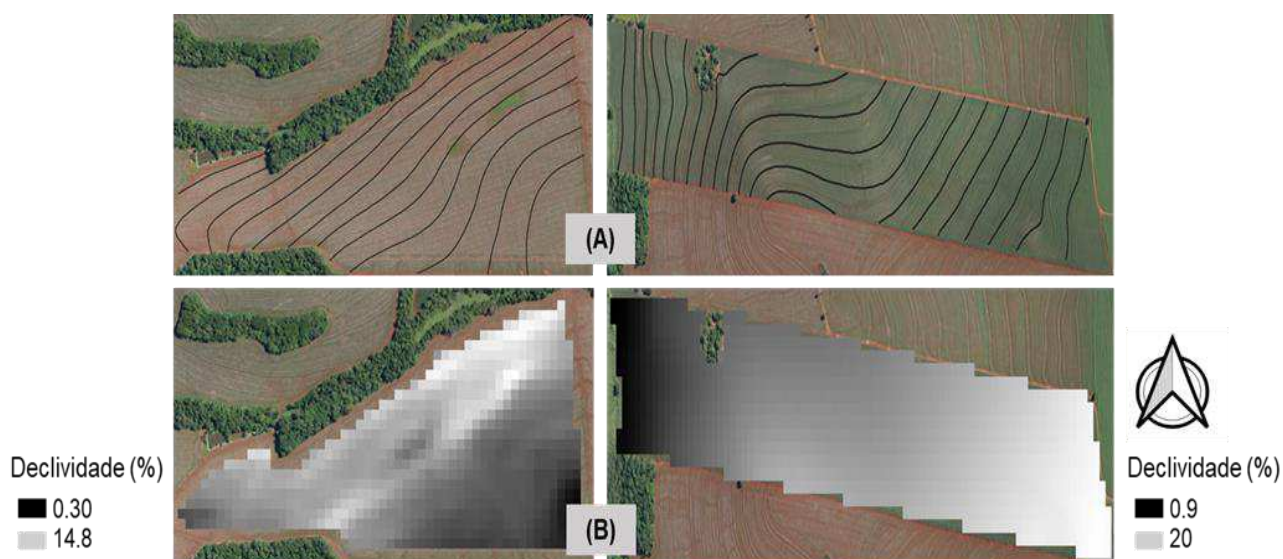
Os valores médios dos diferentes históricos de manejo, indicam maior TIE para os sistemas que não realizaram algum tipo de preparo no solo, tendo valor médio de 74,3 mm h<sup>-1</sup> contra 54,8 mm h<sup>-1</sup> para os talhões que realizaram preparo do solo ou escarificação no ano anterior. Sistemas que adicionaram outra cultura além da soja seguida de milho 2<sup>a</sup> safra, obtiveram maiores valores médios de

TIE, sendo  $96 \text{ mm h}^{-1}$  para os talhões que realizaram Soja/Milho/Aveia, seguido de Soja/Milho + braquiária ( $75,5 \text{ mm h}^{-1}$ ) e nos talhões onde foi cultivado apenas soja seguido de milho 2ª safra, valor médio de TIE  $71,9 \text{ mm h}^{-1}$ .

Esses resultados reforçam a importância da diversificação de culturas dentro dos sistemas de manejo, pois os diferentes sistemas radiculares proporcionam maior agregação do solo, além de favorecer a continuidade de poros que estão diretamente ligados aos processos de infiltração de água no solo (STURMER et al., 2009).

Aumentar quantidade de água infiltrada no solo e o armazenamento dessa água, é de extrema importância para o desenvolvimento da cultura, mas além da importância para as culturas, reflete diretamente na conservação do solo e da água no sistema. Pois ao ocorrer maior infiltração de água, menor será a quantidade de água escoada para as partes mais baixas do terreno, dando início aos processos erosivos. Pensando em conter essa água que não é infiltrada no solo, realiza-se a construção de terraços agrícolas (FERRO-VÁZQUEZ et al., 2017).

Realizando as simulações no software Terraço 4.1, variando a altura dos terraços de base larga e a TIE, permitiram identificar a combinação que mais bem se ajustava ao posicionamento do sistema de terraceamento implantado nos talhões agrícolas avaliados, conforme apresentado na Tabela 1 e Figura 4A, a TIE calculada para os talhões variou de  $20 \text{ a } 60 \text{ mm h}^{-1}$  e a altura do terraço de  $30 \text{ a } 50 \text{ cm}$ .



**Figura 4.** Configuração dos terraços projetados e alocados no talhão (A) e declividade do talhão (B).

Comparando a TIE observada com a calculada, apenas 2 talhões (5 e 21) tiveram o valor de TIE observada menor que TIE calculada, indicando que nesses talhões haveria maior probabilidade de rompimento dos terraços, considerando os parâmetros utilizados durante o cálculo do sistema de terraceamento. Nos demais talhões a TIE observada maior que a TIE calculada indica que o sistema a ser implantado pode ser considerado adequado.

O uso de terraceamento em áreas agrícolas é muitas vezes negligenciado por parte dos produtores que visam a maior área útil para o plantio em vez de priorizar a conservação do solo. A comparação entre a quantidade de terraços necessários na área e a quantidade que realmente as áreas possuem, confirma esse problema.

Como apresentado na tabela 1, apenas 7 talhões (29,16%) correspondem a quantidade necessária de terraços na área. Em talhões que apresentem TIE observada superior a TIE calculada, se a quantidade de terraços for inferior ao calculado, indica a possibilidade de rompimento dos terraços, pois o dimensionamento dele não comportará o volume total de água escoado entre o espaçamento entre terraços maior que o dimensionado. Essa situação ocorre em 13 áreas (54%), mostrando que mesmo que a construção no campo esteja dentro dos cálculos de dimensionamento, ainda há grande chance de rompimento.

Por outro lado, há excesso de terraços no campo, frente ao calculado, em 4 áreas, podendo levar ao excesso de manobras de máquinas agrícolas, causando grande pisoteio das culturas e compactação do solo, levando justamente ao contrário do desejado, que é a menor infiltração de água no solo (CRUZ et al., 2014).

Com isso, classificou-se as áreas em situação “Inadequada”, em 17 áreas (71% das áreas), resultado indesejável, visto a importância da técnica de terraceamento para a conservação da água e solo. Analisando as notas do IQP2 para os talhões (Tabela 2), observa-se que a conservação do solo não está sendo priorizada pelos produtores, visto que 83,4% das áreas estão classificadas como nível crítico para IQP2 e 16,6% como nível de alerta. Esse resultado corrobora com o problema levantado na análise da quantidade de terraços, vez que um dos índices para a nota do IQP2 é o terraceamento da área.

**Tabela 2.** Histórico de manejo, notas de IQeA, IQP2 e classificação dos talhões avaliados.

Talhão	Histórico de manejo	IQeA	IQP2	Classificação
1	Soja/Milho	1.6	3.925	Crítico
2	Soja/Milho	2.1	3.925	Crítico
3	Soja/Milho <sup>1</sup>	1	3.925	Crítico
4	Soja/Milho <sup>1</sup>	1.4	3.925	Crítico
5	Soja/Milho/Aveia <sup>2</sup>	2.5	4.925	Crítico
6	Soja/Milho <sup>1</sup>	2	3.925	Crítico
7	Soja/Milho/Aveia	1.9	5.425	Crítico
8	Soja/Milho <sup>1</sup>	2	3.925	Crítico
9	Soja/Milho	2.3	4.925	Crítico
10	Soja/Milho	2.1	4.925	Crítico
11	Soja/Milho	2.5	5.3	Crítico
12	Soja/Milho+braquiária	2.4	5.3	Crítico
13	Soja/Milho	2.6	4.925	Crítico
14	Soja/Milho	2.1	4.925	Crítico
15	Soja/Milho	2.8	4.925	Crítico
16	Soja/Milho+braquiária	2.6	6.592	Alerta
17	Soja/Milho+braquiária	2.5	6.592	Alerta
18	Soja/Milho+braquiária	2.7	6.592	Alerta
19	Soja/Milho+braquiária	1.9	6.592	Alerta
20	Soja/Milho	1.8	3.925	Crítico
21	Soja/Milho	2.8	3.925	Crítico
22	Soja/Milho+braquiária	2	5.425	Crítico
23	Soja/Milho	1.5	4.025	Crítico
24	Soja/Milho	2.5	3.925	Crítico

<sup>1</sup> realizado o prepare do solo. <sup>2</sup> realizado escarificação no ano anterior.

Todas as notas de IQeA atribuídas para os talhões indicam a degradação da estrutura do solo, correspondendo com as notas baixas do IQP2. Os talhões que realizaram a maior diversidade de cultura obtiveram maiores notas de IQEA, sendo nota média 2,2 para soja/milho/aveia e 2,35 para soja/milho+braquiária, frente a nota 2,06 da soja/milho. Devido ao incremento da diversificação de raízes, palhada de diferentes qualidades e conseqüentemente o aumento da biodiversidade do solo que promovem a melhoria da estruturação do solo, o que irá afetar positivamente na TIE, como já observado na Tabela 1, que os talhões que promoveram maior diversificação de cultura obtiveram maiores valores de TIE (OLIVEIRA et al., 1999; CASTRO FILHO et al., 1998; BLANCO-CANQUI et al., 2010).

As notas baixas de IQP2 mostraram que os produtores nesses

talhões avaliados não estão realizando a conservação do solo de maneira correta, o que foi confirmado com as notas do IQeA. Além disso, a quantidade de terraços presentes na área (Tabela 1) inferior à necessária, indica o elevado risco de erosão nos talhões estudados, já que baixa estruturação, problemas de compactação e pouca cobertura do solo, associados com o maior comprimento de rampa, vez que não foi construído a quantidade de terraço indicada, aumentam o potencial erosivo da área.

Solos com notas baixas de IQeA refletem em menores resistências ao cisalhamento, então mesmo que a maioria dos talhões (75%) apresentaram TIE classificada como alta, essa TIE não solucionará problema causado pela baixa conservação de solo (notas baixas de IQP2).

A metodologia utilizada no estudo contribuiu para o entendimento de que o funcionamento do sistema de terraceamento implantado nos talhões está intimamente relacionado com a qualidade estrutural do solo, representada pela TIE. Desta forma, o manejo do sistema de produção assume uma importância bem maior para o controle do processo erosivo do que a que vem sendo considerada, em detrimento das meras dimensões físicas dos terraços. A metodologia pode ser melhorada pelo uso de pontos de controle georreferenciados que permitiriam medir a altura dos terraços.

### **3.4 CONCLUSÃO**

O uso de ferramentas digitais em conjunto da análise de taxa de infiltração de água no solo possibilitaram a classificação do terraceamento em propriedades agrícolas, mostrando a necessidade de manutenção de terraços e a importância do uso de práticas conservacionistas.

**REFERÊNCIAS**

AGISOFT                      METASHAPE                      1.5.5, Software,                      2019  
<https://www.agisoft.com/downloads/installer/>

ALBUQUERQUE, J. A.; ARGENTON, J.; BAYER, C.; WILDNER, L. P.; KUNTZE, M. A. G. Relação de atributos do solo com a agregação de um Latossolo vermelho sob sistemas de preparo e plantas de verão para cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 3, p. 415-424, 2005.

ANGURO-JARAMILLO, R.; VANDERVAERE, J.P.; ROULIER, S.; THONY, J.L.; GAUDET, J.P.; VAUCLIN, M. Field Measurement of soil hydraulic properties by disc and ring infiltrometers: A review and recent developments. **Soil & Tillage Research**, Madison, v.55, p.1-29, 2000.

ANDRADE, R.S.; STONE, L.F. & SILVEIRA, P.M. Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. **R. Bras. Eng. Agríc. Amb.**, 13:411-418, 2009.

ARCOVA, F.C.S.; CICCIO, V. Características do deflúvio de duas microbacias hidrográficas no laboratório de hidrologia florestal Walter Emmench, Cunha - SP. **Revista do Instituto Florestal de São Paulo**, São Paulo, v.9, n.2, p.153-70, 1997.

ARCOVA, F.C.S.; CESAR, S.F.; CICCIO, V. Qualidade da água em microbacias recobertas por floresta de Mata Atlântica, Cunha, São Paulo. **Revista do Instituto Florestal de São Paulo, São Paulo**, v.10, n.2, p.185-96, 1998.

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.

BALOTA, E. L. et al., Soil quality in relation to forest conversion to perennial or annual cropping in southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 4, p. 1003- 1014, 2015.

BASTOS, C. A. B.; GEHLING, W. Y. Y. & MILITISKY, J., 2001. Estudo Sobre a Erodibilidade de Solos Residuais Não Saturados a partir das Propriedades Geomecânicas. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, nº 2, maio, p. 9-18.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO<sub>2</sub>. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.599-607, 2000.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2006. 625 p.

BERTOL, I. Erosão hídrica em Cambissolo húmico distrófico sob diferentes preparos do solo e rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 18:267-271, 1994.

BERTOL, O. J. RIZZI, N. E.; BERTOL, I.; 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, 2014.

BLANCO-CANQUI, H.; STONE, L.R.; STAHLMAN, P.W. Soil response to long-term cropping systems on an Argiustoll in the central Great Plains. **Soil Science Society of America Journal**, v.74, p.602-611, 2010.

BORGES, E.; ANTONINO, A.C.D.; DALL'OLIO, A.; AUDRY, P. & CARNEIRO, C.J.G. Determinação da condutividade hidráulica e da sortividade de um solo não-saturado utilizando-se permeâmetro a disco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 34:2083-2089, 1999.

BOLLINGER, A.; MAGID, J.; JORGE, T.; AMADO, C.; NETO, F.S.; RIBEIRO, M.; CALEGARI, A.; RALISCH, R.; NEERGAARD, A. Taking stock of the Brazilian “Zero-Till Revolution”: A review of landmark research and farmer practice. **Advances in Agronomy**, v.91, p. 47-110, 2006.

BONO, J. A. M.; MACEDO, M. C. M.; TORMENA, C. A.; NANNI, M. R.; GOMES, E. P.; MULLER, M. M. L. Infiltração de água no solo em um Latossolo Vermelho da região sudoeste dos cerrados com diferentes sistemas de uso e manejo. **R Bras Ci Solo**. 2012 ;36: 1845-1853.

BORTOLUZZI, J; MA, J. M. Diagnóstico do SPD através do Índice de Qualidade Participativo (IQP). **Federação Brasileira de Plantio Direto e Irrigação**, 2019. Disponível em: <<https://febrapdp.org.br/noticias/785/diagnostico-do-spd-atraves-do-indice-de-qualidade-participativo-igp>> Acesso em: 06 e agosto de 2020.

BROWN, G.W. **Forestry and water quality**. 2<sup>nd</sup> ed. Oregon: [s.n.], 1988. 142 p.

BRAGA, J. C. **Modelo hidrológico de parâmetros distribuídos para obtenção do hidrograma de escoamento superficial**. 2000. 86 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG. 2000.

BRANDÃO, V. S., CECÍLIO, R. A., PRUSK, F. F. & SILVA, D. D. **Infiltração de Água no Solo**, 47 p. Universidade Federal de Viçosa, 2006.

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

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

CAVIGLIONE, J. H.; FIDALSKI, J.; ARAUJO, A. G.; BARBOSA, G. M. C.; LLANILLO, R. F.; SOUTO, A. R. **Espaçamento entre terraços em plantio direto**. Londrina: IAPAR, 2010 (Boletim Técnico 71).

COBUCCI, T. Manejo integrado de plantas daninhas em sistema de plantio direto. In: ZAMBOLIM, L. **Manejo Integrado Fitossanidade: cultivo protegido, pivô central e plantio direto**. Viçosa: UFV, 2001. p. 583-624.

COGO, N.P. Effect of residue cover, tillage induce roughness, and slope length on erosion and related parameters. **West Lafayette**, Purdue University, 1981. 346p. (Dissertação de Mestrado).

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. **Hidrologia Aplicada**. McGraw – Hill, Santa Fé de Bogotá, Colômbia, 1995.

CHIODEROLI, Carlos A. et al. Consorciação de braquiárias com milho outonal em plantio direto sob pivô central. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v. 30, n. 6, p. 1101-1109, Dec. 2010.

CIVIDANES, Francisco Jorge; YAMAMOTO, Fábio Takeshi. Pragas e inimigos naturais de soja e milho cultivados em sistemas diversificados. **Sci. Agric. (Piracicaba, Brasil)**, Piracicaba, v. 59, n. 4, p. 683-687, dezembro de 2002

CRUSCIOL, C.A.C.; SORATTO, R.P.; BORGHI, E. & MATEUS, G.P. Benefits of integrating crops and tropical pastures as systems of production. **Better Crops**, 94:14-16, 2010.

COSTA C.C., CECÍLIO Filho A.B., REZENDE B.L.A., BARBOSA J.C. e GRANGEIRO L.C. (2007) Viabilidade agrônômica do consórcio de alface e rúcula, em duas épocas de cultivo. **Horticultura Brasileira**, 25:34-40.

CRUZ, D. L. S.; VALE-JÚNIOR, J. F.; CRUZ, P. L. S.; CRUZ, A. B. S.; NASCIMENTO, P. P. R. R. Atributos físicos-hídricos de um Argissolo Amarelo sob floresta e savana naturais convertidas para pastagem em Roraima. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 2, p. 307- 314, 2014.

CUNHA, F. F.; LEAL, A. J. F.; ROQUE, C. G. Planejamento de sistemas de terraceamento utilizando o software Terraço 3.0. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium**, Ituiutaba, v. 2, n. 1, p. 182-196, 2011.

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

DECHEN, S. C. F.; TELLES, T. S.; GUIMARÃES, M. DE F.; MARIA, I. C. DE. Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo. **Bragantia**, 2015. doi.org/10.1590/1678-4499.0363.

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

DENARDIN, J.E.; KOCHHANN, R.A. DENARDIN, N.D. **Considerações sobre adensamento e compactação em manejo de Latossolos**. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, Aracajú, 2001. Anais... Aracajú, Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. p.317-325.

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; SANTI, A.; FAGANELLO, A.; SATTLER, A. **Efeito da consorciação milho-braquiária (*Brachiaria brizantha*) na mitigação da compactação do solo**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2008.13 p. (Embrapa Trigo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 54). Disponível em: <[http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/bp/p\\_bp54.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/bp/p_bp54.htm)>. Acesso em: 06 out. 20208.

ELRICK, D.E.; REYNOLDS, W.D. Infiltration from Constant-Head Well Permeameters and Infiltrimeters. In: TOPP, G.C.; TOPP, G.C.; REYNOLDS, W.A.; GREEN, R.E., eds. *Advances in measurement of soil physical properties: Bringing theory into practice*. Madison, **Soil Science Society of America**, 1992, p.1-24.

FEBRAPDP – Federação Brasileira de Plantio Direto e Irrigação. Metodologia Participativa para Avaliação da Qualidade do Sistema Plantio Direto na Bacia do Paraná 3. **Manual de Campo**. Ponta Grossa, PR. 99 p., 2011.

FERREIRA, D. F. **Estatística multivariada**. Lavras: Editora Ufla, 2008. 662 p.  
FONSECA, G.C.; CARNEIRO, M.A.; COSTA, A.R.; OLIVEIRA, G.C. & BALBINO, L.C. Atributos físicos, químicos e biológicos de Latossolo Vermelho distrófico de Cerrado sob duas rotações de cultura. **Pesq. Agropec. Trop.**, 37:22-30, 2007.

FERRO-VAZQUES, C.; LANG, C.; KAAL, J.; STUMP, D. When is a terrace not a terrace? The importance of understanding landscape evolution in studies of terraced agriculture. **Journal of Environmental Management**, v. 202, n. 3, p. 500-513, 2017.

FONSECA, M. R.; FERNANDES, A. R.; SILVA, G. R.; BRASIL, E. C. Teor e acúmulo de nutrientes por plantas em função do fósforo e da saturação por bases. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 53, n. 2, p. 195-205, jul-dez 2010.

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.

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

FRANCHINI, J. C.; PRUSKI, F. F.; ARAUJO, R.; DEBIASI, H.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; CONTE, O.; SANTOS, E. L. **Avaliação do sistema de terraços após manutenção e readequação em uma fazenda na região norte do Paraná.** In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA, 35., Londrina, 2016. Resumos expandidos... Londrina: Embrapa Soja, 2016. p. 52-54. (Embrapa Soja. Documentos, 372).

FRANCHINI, J. C.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; JORGE, L. A. de C.; DEBIASI, H.; DIAS, W. P.; GODOY, C. V.; OLIVEIRA JUNIOR, A. de; CORREA, F. B.; OLIVEIRA, M. C. N. de. **Uso de imagens aéreas obtidas com drones em sistemas de produção de soja.** Londrina: Embrapa Soja, 2018. 39 p. (Embrapa Soja. Documentos, 408).

FREITAS, L. de; OLIVEIRA. Indicadores da Qualidade Química e Física do solo Sob Diferentes Sistemas de Manejo. **Revista UNIMAR Ciências**, Marília -SP, v.6, p. 8-25, 2017.

GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Agregados em um Latossolo sob sistema plantio direto e rotação de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p.1489-1498, 2010.

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

GIRARDELLO, V. C.; AMADO, T. J. C.; NICOLOSO, R. S.; HORBE, T. A. N.; FERREIRA, A. O.; TABALDI, F. M.; LANZANOVA, M. E. Alterações nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob plantio direto induzidas por diferentes tipos de escarificadores e o rendimento da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n.6, p. 2115-2126, 2011.

GOLDEN SOFTWARE INC. Surfer for windows, 1999.  
<https://www.goldensoftware.com/products/surfer>

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos (org.).** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994.458p.

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

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

HOOKE, C.; JOHNSON, M. Impact of agricultural diversification on the insect community of cruciferous crops. **Crop protection, Guildford**, v. 22, n. 2, p. 223–238, 2003.

IAPAR. Médias históricas em estações do IAPAR. Londrina: IAPAR. Disponível em <<http://www.iapar.br/>>. Acesso em: 10 agosto, 2020.

JORGE, L. A. de C.; INAMASU, R. Y. Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em agricultura de precisão. In: BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.;

- KLUTHCOUSKI, J.; YOKOYAMA, L. P. **Opções de integração lavoura-pecuária**. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. Integração lavoura-pecuária. Embrapa Arroz e Feijão. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p. 131-141.
- KURIHANA, C. H.; FAQUIN, V.; BORKET, C. M.; SFREDO, G. J. Nutrição mineral e crescimento da soja sob influência do equilíbrio entre Ca, Mg e K. **Ciência e Prática**, v. 17, n. 4, p. 381-387, 1993.
- LAWALL, S. Modificações na dinâmica hidrológica dos solos em resposta as alterações de uso e cobertura na Bacia do Bonfim, Região Serrana do Rio de Janeiro. Dissertação (Mestrado em Ciência, com ênfase em Geografia) – **Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro**, Rio de Janeiro. 2010.
- LEITE, M. H. S.; COUTO, E. G.; AMORIM, R. S. S.; COSTA, E. L.; MARASCHIN, L. Perdas de solo e nutrientes num Latossolo Vermelho-Amarelo ácrico típico, com diferentes sistemas de preparo e sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.689-699, 2009.
- LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. Ed. 2, São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo, 346p., 2012.
- LIMA, W.P. **Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas**. São Paulo: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1986. 242p.
- LIMA, Cícero Aurélio Grangeiro; SILANS, Alain Passerat de. Variabilidade espacial da infiltração de água no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 12, p. 2311-2320, dez. 1999.
- LLANILLO, R. F.; RICHART, A.; FILHO, J. T.; GUIMARÃES, M. F.; FERREIRA, R. 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, abr/jun, 2006.
- MARTINS, F. P.; SANTOS, E. L. Taxa de infiltração da água e a resistência do solo a penetração sob sistemas de uso e manejo. **Acta Igrazu**, Cascavel, v.6, n.4, p. 28-40, 2017.
- MEYER, L. D.; HARMON, W. C. Multiple intensity rainfall simulator for erosion research on row sideslopes. **Transactions of the ASAE**, v. 22, n. 1, p. 100-103, 1979.
- MENDES, R. F. **Estudo das propriedades Geotécnicas de solos residuais não saturados de Ubatuba (SP)**. 2008. 236f. Tese (Doutorado em engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2008.
- MENDES, T. A., de MELLO, N. A., e dos SANTOS TELLES, C. (2019). O Índice de Qualidade Participativo a partir da análise da qualidade do sistema de plantio direto: Um estudo de caso no município de Clevelândia (PR), Brasil. **Revista De Extensão E Estudos Rurais**, 8(1), 103-122.

MINASNY, B.; MCBRATNEY, A. B.; WHELAN, B. M. Vesper 1.62 – **spatial prediction software for precision agriculture**. Sidney: Australian Centre for Precision Agriculture (ACPA), University of Sydney, 2006.

MONTENEGRO, S. M. G. L.; MONTENEGRO, A. A. A. **Aproveitamento Sustentável de Aquíferos Aluviais no Semiárido**. In: Cabral, J. J. S.; Ferreira, J. P. C. L.; Montenegro, S. M. G. L.; Costa. (ed.). Água subterrânea: aquíferos costeiros e aluviões, vulnerabilidade e aproveitamento. Recife: UFPE, 2004. cap.2, p.61-117.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e metodologias de aplicação**. 3 ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2003.

OLIVEIRA, M. W.; TRIVELIN, P. C. O.; PENATTI, C. P.; PICCOLO, M. C. Decomposição e liberação de nutrientes da palhada de cana-deaçúcar em campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 12, p. 2359-2362, 1999.

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; ALMEIDA, R. J. de; MELLO, J. M. de; GAVILANES, M. L. Estrutura fitossociológica e variáveis ambientais em um trecho de mata ciliar do córrego Vilas Boas, Reserva Biológica do Poço Bonito, Lavras, MG. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 67-85, 1994.

OGDEN, F.L. Infiltração Saghafian. Green e Ampt com redistribuição, **J. Irrig. Drenar. Eng.** 123, 386 - 393, 1997.

OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; RESCK, D. V. S.; CURI, N. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 2, p. 327-336, 2004.

PERROUX, K.M.; WHITE, I. Designs for disc permeameters. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 52:1205-1215, 1988.

PEREIRA, V.P. **Solo: manejo e controle de erosão hídrica**. Jaboticabal: FCAV, 1997. 56 p.

PEREIRA JR, E. B.; HAFLE, O. M; GOMES, E. M.; GOMES, ANDRADE. M. E. L.; SANTOS, L. G.; DELFINO, F. I. MEL. Avaliação dos atributos físicos do solo submetido à práticas de manejo, em agroecossistemas do Semiárido. **Revista ACTA Tecnológica-Revista Científica**, v.5, n.2, p.43-51. 2010.

PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P.T.S. de; RODRIGUES, D.B.B. Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo Vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1777- 1785, 2011.

POTT, C. A; ROSIM, D. C; DE MARIA, CLERICI, I. Velocidade de Infiltração de água (VIB): Para que serve e como avaliar essa importante propriedade dos solos. **O Agrônomo**, v. 57, p.27-28, 2005.

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

PRUSKI, F. F.; VENDRADE, V.; OLIVEIRA, E. F. de; BALBINO, L. C.; FERREIRA, P. A.; WERLANG, L.; CARVALHO, L. Infiltração da água num Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 1, p. 77-84, 1997.

PRUSKI, F. F.; BRANDÃO, V. S.; SILVA, D. D. **Escoamento superficial**. Viçosa: UFV, 2004. 87p.

RALISCH, R.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; TOMAZI, M.; HERNANI, L. C.; MELO, A. S.; SANTI, A.; MARTINS, A. L. S.; BONA, F. D. de. **Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo - DRES**. Londrina: Embrapa Soja, 2017. 64p (Embrapa Soja. Documentos, 390).

RAMAKRISHMA, K. E DAVIDSON, E.A. Intergovernmental negotiations on criteria and indicators for the management, conservation, and sustainable development of forests: what role for forest soil scientists? In: ADAMS, M.B.;

RAMAKRISHNA, K. & DAVIDSON, E.A. The contribution of soil science to the development of and implementation of criteria and indicators of sustainable forests management. Madison, **Soil Science Society of America**, 1998. p.1-15.

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

RESENDE, A. V. de; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 109-134. REYNOLDS, W.D.; ELRICK, D.E. Determination of hydraulic conductivity using a tension infiltrometer. **Soil Sci. Soc.Am. J.**, 55:633-639,1991.

REYNOLDS, W. D.; ELRICK, D. E.; TOPP, G. C. A reexamination of the constant head well permeameter method for measuring saturated hydraulic conductivity a bovethe water table. **Soil Science**, v. 136, n. 4, p. 250-268, 1983.

RIBEIRO, G. F; PEREIRA, S. Y. e IWASHITA, F. Estudo comparativo entre métodos de cálculo da condutividade hidráulica através de ensaios com permeâmetro Guelph. Campo Grande, MS: **XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 2009.

ROKHMANA, C. A. The Potential of UAV-based Remote Sensing for Supporting Precision Agriculture in Indonesia. **Procedia Environmental Sciences**, Elsevier B.V., v. 24, p. 245 - 253, 2015. ISSN 18780296. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878029615001000>>.

ROLOFF, G., LUTZ, R. A. T., MELLO, I. Índice de Qualidade Participativo do Plantio Direto. Boletim Técnico. FEBRAPDP. 27 p., Abril, 2011. Ponta Grossa, PR.

- SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.S.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.11-21, 2008.
- SANTI, A. L. **Relações entre indicadores de qualidade do solo e a produtividade das culturas em áreas com agricultura de precisão**. 2007. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- SANTOS, Glenio G.; GRIEBELER, Nori P.; OLIVEIRA, Luiz F. C. de. Chuvas Intensas Relacionadas à Erosão Hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. V.14, n.2, p.115- 123, 2009.
- SANTOS, H.G. dos, JACOMINE, P.K.T., ANJOS, L.H.C. dos, OLIVEIRA, V.A. de, LUMBRERAS, J.F., COELHO, M.R., ALMEIDA, J.A. de, CUNHA, T. J. F., OLIVEIRA, J.B. (Eds.), 2013. **Sistema brasileiro de classificação de solos**, 34. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos.
- SANTOS, T.E.M.; SOUZA, E.R.; MONTENEGRO, A.A.A. Modeling of soil water infiltration with rainfall simulator in different agricultural systems. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, n.6, p. 513-518, 2016.
- SEGANFREDO, M. L.; ELTZ, F. L. F.; BRUM, A. C. R. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em sistemas de culturas em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 287-291, 1997.
- SCHIAVO, J. A.; COLODRO, G. Agregação e resistência à penetração de um Latossolo Vermelho sob sistema de integração. **Bragantia**, v. 71, n. 3, p. 406-412, 2012.
- SHEPHERD, T. G. **Visual soil assessment**. Volume 1: Field guide for pastoral grazing and cropping on flat to rolling country. Palmerston North: Horizons.mw & Landcare Research, 2000. 84p.
- SILVEIRA, A.L.L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C.E.M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. São Paulo: EDUSP, 2001. p. 35-51.
- SILVA, V. R.; REINERT, D.; REICHERT, J. M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, n. 1, p.191-199, 2000.
- SILVA, R. V.; SANTOS, E. L.; PEREIRA, G. S.; HASS, I. J.; FURLANETTO, R. H.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C. **Infiltração de água no solo em diferentes sistemas de manejo na região norte do Paraná**. In: JORNADA ACADÊMICA DA EMBRAPA SOJA, 13., 2018, Londrina. Resumos expandidos... Londrina: Embrapa Soja, 2018. p. 188-194.
- SILVA, G.J. **Desenvolvimento de plantas de soja, milho, algodão e Brachiaria brizantha, submetidas a quatro graus de compactação de um Latossolo**

**Vermelho-Escuro distrófico.** Cuiabá, Universidade Federal do Mato Grosso, 2004. 122p. (Tese de Mestrado)

SILVA JÚNIOR, M.A.B.; SILVA, S.R.; SOARES, W.A. Parâmetros de infiltrabilidade em solo urbano para modelo chuva-vazão. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v.12, n.3, p.135-143, 2019.

SLONEKER, L.L. E MOLDENHAUER, W.C. Measuring the amounts of crop residue remaining after tillage. **J. Soil Water Cons.**, 32:231-236, 1977.

SOPPER, W. E. Effects of timber harvesting and related management practices on water quality in forested watersheds. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.4, n.1, p.24-9, 1975.

SOUZA NETO, J. M. **Formação de pastagens de Brachiaria brizantha cv. Marandu com o milho como cultura acompanhante.** 1993. 58 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1993.

SOUZA, M. D. **Desenvolvimento e utilização de um simulador de chuvas para estudos de atributos físicos e químicos do solo relacionados a impactos ambientais.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 37).

SOTO, M. A. A. **Estudo da Condutividade Hidráulica em Solos Não Saturados.** Tese de mestrado. Departamento de Engenharia Civil, Universidade São Carlos, São Carlos, Brasil, 118 p. 1999.

SOTO, M.; CHANG, K.; VILAR, O. Análise do método do permeâmetro guelph na determinação da condutividade hidráulica saturada. **Águas Subterrâneas**, v.23, n.01, p.137-152, 2009.

STEFANOSKI, D. C.; SANTOS, 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.

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

TAVARES FILHO, J.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M. F.; MEDINA, C. C.; BALBINO, L. C.; NEVES, C. S. V. J. Método do perfil cultural para avaliação do estado físico de solos em condições tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 393-399, 1999.

TOWNSEND, C. R. et al. Renovação de pastagens degradadas em consórcio com milho na Amazônia Ocidental. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 18., 2000, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: ABMS. CDROM.

VASCONCELOS, R. R. A.; BARROS, M. F. C.; SILVA, E. F. F.; GRACIANO, E. S. A.; FONTENELE, A. J. P. B.; SILVA, N. M. L. Características físicas de solos salino-sódicos do semiárido pernambucano em função de diferentes níveis de gesso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 12, p. 1318-1325, 2013.

VAZHEMIN, I.G. Chemical composition of natural waters in the VYG river basin in relation to the soil of Central Karelia. **Soviet Soil Science**, Silver Spring, v.4, n.1, p.90-101, 1972.

VERNETTI JÚNIOR, F.J.; GOMES, A.S.; SCHUCH, L.O.B. Sustentabilidade de sistemas de rotação e sucessão de culturas em solos de várzea no Sul do Brasil. **Ciência Rural**, v.39, p.1708-1714, 2009.

VIEIRA, S.R. Permeâmetro: novo aliado na avaliação de manejo do solo. **O Agrônomo**, Campinas, v 47-050, p. 32-33, 1998.

VIEIRA, S.R.; MILLETE, J.; TOPP, G.C. & REYNOLDS, W.D. Handbook for geostatistical analysis of variability in soil and climate data. In: ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V. & COSTA, L.M., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2002. v.2, p.1-45.

ZANETTI, S.S., AGRIZZI, D. V., SCÁRDUA, M. D., FUKUNAGA, D., OLIVEIRA, K. D. Estimativas do escoamento superficial em uma sub bacia hidrográfica no município de Rio Novo do Sul, ES. In: SANTOS, A. R., PELUZIO, J. B. E., PELUZIO, T. M. O., SANTOS, G. M. A. D. A. (Orgs). **Geotecnologias aplicadas aos recursos florestais**. Alegre-es, CCA-UFES, 2012.p. 139-157.

ZHANG, F.; SHEN, J.; LI, L.; LIU, X. An overview of rhizosphere processes related with plant nutrition in major cropping systems in China. **Plant and Soil**, v.260, p.89-99, 2004.