



KARINE MACIEL DE CARVALHO

**ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO COMO INDICADORES
DE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS NO SISTEMA
CANTAREIRA**

**LAVRAS-MG
2020**

KARINE MACIEL DE CARVALHO

**ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO COMO INDICADORES DE
SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS NO SISTEMA CANTAREIRA**

Monografia apresentado ao Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do curso de Engenharia Agrícola para a obtenção do título de Engenheira Agrícola.

Prof. Dr. Junior Cesar Avanzi

Orientador

M. Sc. Monna Lysa Teixeira Santana

Coorientadora

LAVRAS-MG

2020

KARINE MACIEL DE CARVALHO

**ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO COMO INDICADORES DE SERVIÇOS
ECOSSISTÊMICOS NO SISTEMA CANTAREIRA**

Monografia apresentado ao Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do curso de Engenharia Agrícola para a obtenção do título de Engenheira Agrícola.

APROVADA em: 10 de agosto de 2020

Prof. Dr. Junior Cesar Avanzi

Orientador

M. Sc. Monna Lysa Teixeira Santana

Coorientadora

LAVRAS-MG

2020

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar à Deus, por toda a proteção e sempre guiar o meu caminho.

Aos meus pais e ao meu esposo pelo apoio e incentivo em todas as decisões, e ao amor incondicional.

Ao meu tio Wellington pelo aprendizado transmitido no começo do curso e por toda ajuda durante a graduação.

À toda minha família pela união e exemplo de seres humanos tão nobres.

Ao professor Junior, por toda sua competência e profissionalismo, obrigada pela orientação e conhecimentos transmitidos.

À doutoranda Monna Lysa pela confiança e auxílio na execução deste trabalho, e por todo o aprendizado concedido.

Aos colegas da pós-graduação, iniciação científica e do Departamento de Ciência do Solo, em geral, pela experiência e toda convivência, o qual me proporcionou grande aprendizado e possibilitou cultivar muitas amizades.

Aos amigos feitos durante a graduação, por todos os momentos de alegria, em especial Fernanda, Carolina e Daniele, sem a ajuda de vocês, com certeza, o caminho seria mais difícil.

Ao projeto NEXUS-CNPq (441244/2017-3), pelo financiamento à pesquisa e à bolsa de Iniciação Científica.

RESUMO

O Sistema Cantareira é formado por seis reservatórios localizados ao norte da Região Metropolitana de São Paulo, abastecendo cerca de 46 % da população. É um dos maiores sistemas de abastecimento do mundo. Porém, tem apresentado redução no volume de água dos reservatórios devido ao crescimento da demanda hídrica pelos centros urbanos e aumento da agricultura e pecuária em áreas rurais, sendo agravado pelo manejo inadequado do solo. Como resultado, tem-se uma menor cobertura vegetal nativa, reduzindo o processo de infiltração de água – menor recarga –, e maior escoamento superficial favorecendo os processos erosivos. Por isso, avaliar as propriedades do solo é de suma importância para manter o sistema de recarga de água ativo. Diante do exposto, objetivou-se avaliar os atributos físicos do solo na região do Sistema Cantareira em diferentes usos da terra e; avaliar a sustentabilidade do manejo rotacionado das pastagens. O estudo foi realizado em 2019 na Fazenda Cravorana, localizada no município de Piracaia-SP, nas quatro estações do ano, considerando os usos de mata nativa, eucalipto, pastagem rotacionada e pastagem extensiva, todos sob Argissolo Vermelho Amarelo. Foi determinado a taxa de infiltração de água no solo através do infiltrômetro de Cornell, a resistência a penetração do solo, porosidade total e estabilidade de agregados. A taxa de infiltração, quantidade máxima de água que pode infiltrar no solo em um dado intervalo de tempo, foi maior na área de eucalipto, se mantendo constante com valores próximos de $0,20 \text{ cm min}^{-1}$ aos 150 minutos. A velocidade de infiltração básica de água no solo (VIB) foi maior no uso do eucalipto ($121,13 \text{ mm h}^{-1}$). A microporosidade do solo foi maior no horizonte B, em todos os usos em estudo. Na camada até 15 cm, os usos de mata nativa e eucalipto obtiveram menor resistência a penetração ($< 2 \text{ MPa}$). Nas profundidades entre 15-35 cm, a resistência a penetração foi bem maior nas áreas de eucalipto e mata nativa (3-5 MPa) e, na estação primavera, os usos de mata nativa e pastagem rotacionada estiveram entre 9-12 MPa em profundidades acima de 20 cm. O diâmetro médio ponderado da mata nativa, vegetação natural, teve valor inferior aos outros três usos em estudo. Os dados obtidos de cada experimento identificaram que o solo do uso de pastagem rotacionada não está sendo tão sustentável provavelmente pela taxa de lotação animal. O Argissolo é um solo naturalmente adensado, portanto um manejo correto nos usos de pastagem pode melhorar os serviços ecossistêmicos.

Palavras chaves: Infiltração. Qualidade do solo. Recarga de água. Resistência a penetração. Estabilidade de agregado.

ABSTRACT

The Cantareira System consists of six reservoirs located in north of the Metropolitan Region of São Paulo, supplying about 46% of the population. It is one of the largest supply systems in the world. However, it has been a reduction in the volume of water in the reservoirs due to the growth in water demand by urban centers and an increase in agriculture and livestock in rural areas, being aggravated by inadequate soil management. As a result, there is less native vegetation cover, reducing the water infiltration process - less recharge -, and greater surface runoff, favoring erosive processes. Therefore, evaluating the properties of the soil is of paramount importance to keep the water recharge system active. Given the above, the objective was to evaluate the physical attributes of the soil in the Cantareira System region in different land uses and assess the sustainability of rotated pasture management. The study was carried out in 2019 at Cravona's Farm, located in the municipality of Piracaia-SP, in the four seasons of the year, considering the uses of native forest, eucalyptus, rotated pasture and extensive pasture, all under Red Yellow Argisol. The water infiltration rate in the soil was determined through the Cornell infiltrometer, resistance to soil penetration, total porosity and aggregate stability. The infiltration rate, the maximum amount of water that can infiltrate the soil in a given time interval, was higher in the eucalyptus area, remaining constant with values close to 0.20 cm min⁻¹ at 150 minutes. A velocidade de infiltração básica de água no solo (VIB) was higher in the use of eucalyptus (121.13 mm h⁻¹). Soil microporosity was higher in horizon B, in all uses under study. In the layer up to 15 cm, the uses of native forest and eucalyptus obtained less resistance to penetration (<2 MPa). At depths between 15-35 cm, the resistance to penetration was much higher in the areas of eucalyptus and native forest (3-5 MPa) and, in the spring season, the uses of native forest and rotated pasture were between 9-12 MPa at depths above 20 cm. The weighted average diameter of the native forest, natural vegetation, was lower than the other three uses under study. The data obtained from each experiment identified that the soil from the use of rotated pasture is not being sustainable, probably due to the stocking rate. The Argisol is a naturally dense soil, so correct management of pasture uses can improve ecosystem services.

Keywords: Water infiltration. Soil quality. Water recharge. Penetration resistance. Aggregate stability.

Lista de Figuras

Figura 1 Mapa do estado de São Paulo destacando o Sistema Cantareira e suas bacias hidrográficas	12
Figura 2 Imagem de satélite da Fazenda Cravorana com seus respectivos usos: 1) pastagem extensiva, 2) mata nativa, 3) pastagem rotacionada, 4) eucalipto	16
Figura 3 Infiltrômetro Cornell	19
Figura 4 Penetrômetro de impacto	20
Figura 5 Taxa de infiltração no solo em estudo pelo método do Infiltrômetro Cornell	23
Figura 6: Porosidade total do solo nos quatro usos e horizontes A e B	24
Figura 7 Resistência do solo a penetração monitorada nas estações verão, outono, inverno e primavera	26

Lista de Tabelas

Tabela 1 Análise textural do solo em estudo	21
Tabela 2 Porcentagem de areia, silte, argila, argila dispersa em água e índice de floculação para cada uso nos horizontes A e B	22
Tabela 3 Velocidade de infiltração básica do solo (VIB) em estudo	24
Tabela 4 Valores de microporos e macroporos nos usos em estudo	25
Tabela 5 Análise estatística da resistência do solo penetração de acordo com o Teste de Tukey ($p < 0,05$)	26
Tabela 6 Teor de umidade de água no solo em diferentes estações do ano	28
Tabela 7 Avaliação da estabilidade de agregados e matéria orgânica do solo em estudo	29

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1 Localização do Sistema Cantareira	11
2.2 Classe textural	12
2.3 Infiltração de água no solo	12
2.4 Porosidade do solo	13
2.5 Resistência a Penetração	14
2.6 Estabilidade de Agregados	15
3 MATERIAIS E MÉTODOS	16
3.1 Localização da área estudo	16
3.2 Classe textural	16
3.3 Infiltração Método Cornell	17
3.4 Porosidade do solo	19
3.5 Penetrômetro de Impacto	19
3.6 Estabilidade de Agregados	20
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	21
4.1 Análise textural do solo	21
4.2 Taxa de infiltração e velocidade da água no solo	23
4.3 Porosidade do solo	24
4.4 Resistência a penetração	26
4.5 Estabilidade de agregados	29
5 CONCLUSÃO	30
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

1 INTRODUÇÃO

O Sistema Cantareira foi construído na década de 1970, tornando-se um dos maiores sistemas de captação de água do planeta com capacidade de abastecer nove milhões de pessoas da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Sua superfície ocupa uma área de 227.803 hectares, abrangendo 12 municípios, sendo quatro deles no estado de Minas Gerais e oito em São Paulo (UEZU et al., 2017). Entre os anos de 2013 e 2015, o sistema passou pela pior crise da sua história, chegando a operar com o volume morto. Apesar de 35% da área estar coberta por floresta, 57% das áreas de preservação permanente estavam sendo usadas por atividades antrópicas (UEZU et al., 2017).

Nesta região, a pastagem contínua é a principal atividade rural de pequenos e médios produtores, sendo utilizada para a pecuária bovina que produz especialmente leite e carne. Devido à extensiva presença dessa atividade, as mesmas possuem importância social, econômica, cultural e ambiental. Ademais, os sistemas de produção consolidados pela pecuária e pelo reflorestamento promovem efeitos diretos sobre os solos e sobre os recursos hídricos. Portanto, o uso do solo para se produzir renda, alimentos e energia nessa região, promovem dinâmicas e inter-relações entre água, energia e alimento (CHIODI et al., 2012; UEZU et al., 2013).

O solo e a água são elementos fundamentais de sustentação dos sistemas agrícolas e naturais, pois um solo de boa qualidade é capaz de purificar a água, regular o clima, absorver os nutrientes dispostos na superfície e até mesmo evitar a ocorrência de enchentes. Portanto, reverter o quadro de degradação de extensas áreas; otimizar o uso dos solos e da água, com potencial para aumentar a produção agrícola; desenvolver novos insumos e sistemas de produção, capazes de promover a sustentabilidade ambiental, social e econômica pelas gerações presentes e futuras são alguns dos desafios para o manejo e a conservação do solo e da água para os diversos ambientes, usos e estado de degradação das terras (BARDY; TURETTA; ANDRADE, 2010).

O aumento de áreas degradadas em regiões anteriormente produtivas tem sido constatado em diferentes regiões do Brasil. A erosão tem se apresentado sob todas as suas formas (laminar, sulcos e voçorocas), levando solo, sementes, adubos, agrotóxicos e matéria orgânica para os lagos e os rios, até atingir o mar. O resultado é a perda de produção e o empobrecimento dos agricultores; o assoreamento e a contaminação dos corpos hídricos e o desmatamento para abertura de novas áreas de produção, causando perda da biodiversidade nos diferentes biomas brasileiros. Para evitar esta degradação é

necessário planejar as atividades de produção agropecuária de acordo com a aptidão agrícola das terras, manejando o solo de acordo com suas fragilidades e potencialidades (BARDY; TURETTA; ANDRADE, 2010). Através de dados provenientes das mais diversas fontes do meio físico e biótico e de sistemas de informação capazes de integrar estes dados, é possível separar a paisagem em zonas, possibilitando planejar adequadamente o uso, a conservação e a recuperação das terras (BARDY; TURETTA; ANDRADE, 2010).

O manejo do solo interfere diretamente na saúde do solo e, conseqüentemente, provocam modificações na qualidade física do solo, impactando diretamente na recarga dos aquíferos subterrâneos. Dessa maneira, o estudo dessas alterações na qualidade física do solo deve ser respaldado em análises de indicadores que descrevem as funções ambientais do solo e que sejam sensíveis para identificar os impactos, positivos ou não, do uso e manejo do solo.

Sendo assim, o presente trabalho objetivou avaliar os atributos físicos de um Argissolo Vermelho Amarelo do Sistema Cantareira em diferentes usos e a sustentabilidade do manejo rotacionado das pastagens por meio de metodologias aplicadas à física do solo como a taxa de infiltração e resistência do solo a penetração.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Localização do Sistema Cantareira

O Sistema Cantareira é formado por seis reservatórios localizados ao norte da Região Metropolitana de São Paulo (Figura 1). São eles: Jaguari (no rio Jaguari) e Jacareí (no rio Jacareí), ambos em Bragança Paulista; Cachoeira (no rio Cachoeira), em Piracaia; Atibainha (no rio Atibainha), em Nazaré Paulista; Paiva Castro (no rio Juqueri), em Franco da Rocha; e Águas Claras (no ribeirão Santa Inês), em Caieiras, os quais estão conectados por túneis subterrâneos e canais formando cinco bacias hidrográficas. É o maior produtor de água da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), utilizando 33 m³/s de água para abastecer, aproximadamente, 46 % da população (ANA/DAEE, 2013).

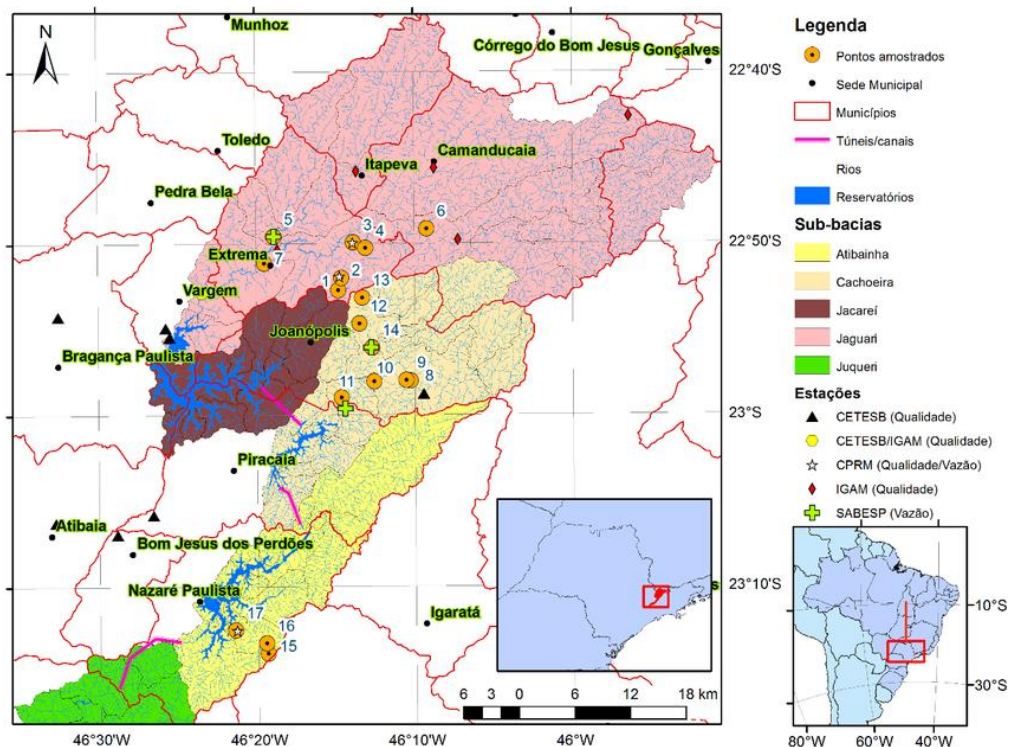


Figura 1 Mapa do estado de São Paulo destacando o Sistema Cantareira e suas bacias hidrográficas. Fonte: Adaptado de Taffarello et al. (submetido).

2.2 Classe textural do solo

A textura do solo é uma propriedade com papel importante nos processos físicos, químicos e biológicos, interferindo no funcionamento dos ecossistemas (BAYER et al., 2006; DILUSTRO et al., 2005; SYLVIA et al., 1999). A proporção relativa de areia, silte e argila define a classe textural do solo e modifica o potencial de estoque de nutrientes, carbono e capacidade de retenção de água nos solos. A textura, por estar relacionada à porosidade e aeração do solo, afeta também a dinâmica de ar neste meio, alterando a atividade microbiana e de enzimas, com implicações sobre a decomposição e mineralização da matéria orgânica (PAUL, 2007; STOTZKY, 1965; SYLVIA et al., 1999).

2.3 Infiltração de água no solo

A infiltração de água no solo é o processo da passagem da água através da superfície do solo (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006). Por meio da melhoria nas condições de infiltração de água no solo há uma redução nos processos erosivos e melhora na recarga dos aquíferos subterrâneos, além de reduzir as vazões máximas dos cursos d'água, sendo um componente determinante do balanço hídrico na

região da zona radicular da cultura (CECÍLIO et al., 2007). Este processo é influenciado por grande número de fatores relacionados ao solo e as condições a que ele é submetido (PRUSKI et al., 1997).

Segundo BERNARDO et al. (2006), a velocidade de infiltração (VI) depende diretamente da textura e da estrutura dos solos; pode variar com a percentagem de umidade do solo; a temperatura do solo; a porosidade do solo; a existência de camada menos permeável ao longo do perfil; e cobertura vegetal; entre outros.

A determinação da infiltração de água no solo deve ser feita por métodos simples e capazes de representar, adequadamente, as condições em que se encontra o solo. Para tanto, torna-se necessário adotar métodos, cuja determinação baseia-se em condições semelhantes aquelas observadas durante o processo ao qual o solo é submetido (PRUSKI et al., 1997).

A infiltração de água no solo pode ser determinada por diversas metodologias, dentre as quais se destacam: o infiltrômetro de anéis concêntricos (IANC) e o infiltrômetro de aspersores (IAS).

Zwirtes et al. (2013) acrescentam que dentre as metodologias encontradas para quantificar a infiltração de água no solo, o infiltrômetro de Cornell, além de ser um simulador de chuva portátil, conta com sistema de entrada de ar, simulando diferentes intensidades de chuva. Santi (2007) comparando o método de anéis concêntricos e o infiltrômetro de Cornell, afirma que o segundo possui as vantagens de ser mais fácil manuseio, simples instalação e uso eficiente de água para conclusão dos testes.

2.4 Porosidade do solo

Os poros do solo são representados por cavidades de diferentes tamanhos e formas, determinados pelo arranjo das partículas sólidas (HILLEL, 1972; MARQUES, 2000), e constituem a fração volumétrica do solo ocupada com ar e solução (água e nutrientes). Os poros do solo correspondem, portanto, ao espaço onde ocorrem os processos dinâmicos do ar e da solução do solo (HILLEL, 1972).

A porosidade do solo interfere na aeração, condução e retenção de água, resistência à penetração e à ramificação das raízes no solo e, conseqüentemente, no aproveitamento de água e nutrientes disponíveis (TOGNON, 1991). O solo ideal deve apresentar um volume e dimensão dos poros adequados para a entrada, movimento e retenção de água e ar para atender às necessidades das culturas (HILLEL, 1980).

Nos solos, embora não exista uma nítida separação entre poros pequenos e grandes, inúmeras classificações do diâmetro de poros são citadas na literatura, sendo que uma forma mais simplificada separa os poros em duas classes: micro e macroporos. Os microporos, também denominados poros capilares, representam os poros responsáveis pela retenção da água no solo, enquanto os macroporos representam os poros responsáveis pela drenagem e aeração do solo (BRADY, 1979).

Kiehl (1979) classifica como macro e microporos, os poros com diâmetro maior e menor, respectivamente, que 0,06 mm, enquanto Richards (1965) utiliza diâmetro igual a 0,05 mm como limite de separação entre macro e microporos. Já Klein & Libardi (2002), classificam como macroporos, os poros com diâmetro maior que 0,05 mm (que perdem a água em tensões menores que 6 kPa), microporos, aqueles com diâmetro entre 0,05 e 0,0002 mm (que são esvaziados a tensões entre 6 e 1500 kPa) e criptoporos, poros com diâmetro menor que 0,0002 mm (que perdem a água apenas para tensões maiores que 1500 kPa).

Observa-se que existe uma variação muito grande na definição dos limites de diâmetro entre uma classe e outra, verificando-se que não foi estabelecida uma terminologia padrão para classificar os poros do solo quanto ao tamanho (SÃO MATEUS, 1994).

2.5 Resistência a penetração

A resistência do solo à penetração (RP) tem sido utilizada, ao longo de muitos anos, com inúmeras aplicações em diversas áreas da pesquisa agrônômica, sendo várias já consolidadas, tais como: detecção de camadas compactadas, em estudo da ação de ferramentas de máquinas no solo, prevenção de impedimento mecânico ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas, predição da força de tração necessária para execução de trabalhos e para conhecimento de processos de umedecimento e de ressecamento (CUNHA, VIEIRA & MAGALHÃES, 2002).

Para Beutler, Centurion e Silva (2007) os penetrômetros são muito usados para aferição de compactação de solo. É um aparelho que pode ser de uso manual ou eletrônico e seus resultados estão relacionados com a infiltração de água no solo. E afirma que quanto mais compactado o solo, menor o potencial de infiltração.

Valores críticos de resistência à penetração podem variar de 1,5 MPa a 4,0 MPa (Rosolem et al., 1999); no entanto, valores próximos a 2 MPa são, de maneira geral,

aceitos como impeditivos ao crescimento radicular (Blainski et al., 2008). Porém estudos mais recentes apontam que os valores críticos da resistência a penetração se concentram entre 6 e 10 MPa.

2.6 Estabilidade de agregados

Nos solos bem estruturados a presença de agregados grandes e estáveis, os macroagregados, condiciona a ocorrência de poros grandes, pelos quais a água e o ar podem se mover livremente e as raízes de plantas encontram caminhos fáceis para crescer. Em oposição ao conceito de solo bem estruturado, solos de estrutura massiva (adensados ou compactados) apresentam poucos ou raros macroporos, sendo assim, o movimento de água e ar, e o crescimento de raízes são praticamente inexistentes (Carvalho et al., 2014).

As variações na umidade do solo provocam mudanças na sua agregação pelo efeito de umedecimento e secagem atuando tanto na agregação como na desagregação. Na agregação, o processo de secagem promove a aproximação das partículas aumentando a coesão. Na desagregação, o processo de umedecimento promove a fragmentação dos torrões em unidade menores pelo efeito da água que reduz as forças de união entre as partículas (EMERSON & GRUNDY, 1954).

Segundo OLIVEIRA et al. (2015), a adição de compostos orgânicos ao solo promove melhoria de sua qualidade estrutural. Esse benefício pode ser evidenciado pelo uso de indicadores de agregação da fração sólida do solo, uma vez que o incremento de matéria orgânica é relacionado ao aumento na estabilidade de agregados (CALONEGO & ROSOLEM, 2008). Entre esses indicadores, o diâmetro médio ponderado, o diâmetro médio geométrico e o índice de estabilidade de agregados com diâmetro inferior a 0,25 mm são alguns dos parâmetros mais empregados para a avaliação do nível de agregação e estabilidade da estrutura do solo (CASTRO FILHO et al., 1998; WENDLING et al., 2005; SILVA et al., 2014). Cada um desses parâmetros reflete um aspecto diferente da qualidade física do solo: o valor de DMP está diretamente relacionado à porcentagem de agregados com diâmetro superior a 0,25 mm (macroagregados), enquanto o DMG constitui uma estimativa do diâmetro de agregados predominante. O IEA, por sua vez, aponta a condição de agregação total do solo (CASTRO FILHO et al., 1998).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Localização da área em estudo

O presente estudo foi realizado na fazenda Cravorana, localizada no município de Piracaia-SP, considerando os usos de mata nativa, eucalipto, pastagem rotacionada e pastagem extensiva, todos sob Argissolo Vermelho Amarelo (Figura 2). Piracaia está localizada a uma latitude 23°03'14" sul e a uma longitude 46°21'29" oeste, estando a uma altitude de 792 metros. Seu clima é tropical de altitude com temperatura média de 24 °C, com relevo montanhoso e fortemente ondulado e é banhada pelos rios Cachoeira e Atibainha, que fazem parte do Sistema Cantareira.

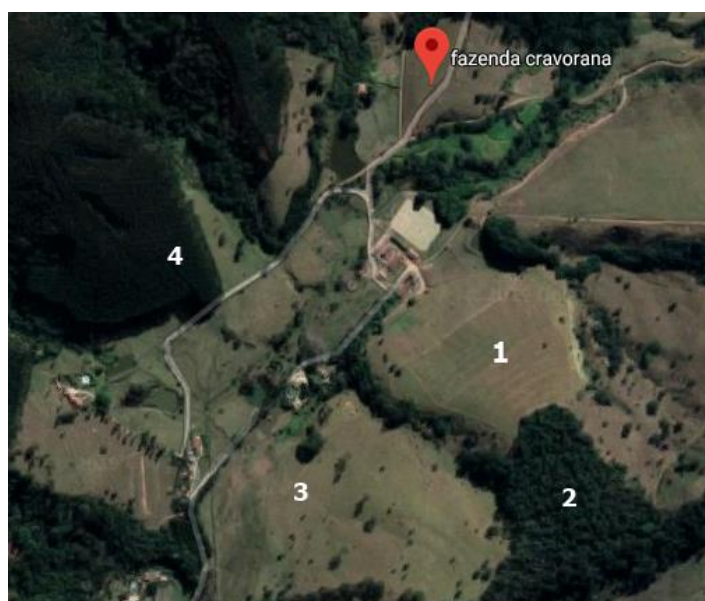


Figura 2 Imagem de satélite da Fazenda Cravorana com seus respectivos usos: 1) pastagem rotacionada, 2) mata nativa, 3) pastagem extensiva, 4) eucalipto. Fonte: google maps

3.2 Classe Textural

Foram coletadas amostras deformadas de solo nas quatro áreas em estudo nos diferentes usos do solo. A análise textural foi realizada pela metodologia segundo Teixeira et al. (2017). Em laboratório, realizou-se uma dispersão mecânica lenta com uma solução e água destilada para poder desagregar o solo. Essa solução foi preparada com hidróxido de sódio (NaOH) e após a agitação, o material disperso foi passado em uma peneira de 0,053 mm para a separação da areia. As partículas foram colocadas em um recipiente para a secagem em estufa, e após 24 horas determinou-se por pesagem a porcentagem de areia contida na amostra.

Para a determinação da argila e silte, foi realizado o método da pipeta, adicionando em uma proveta a solução da amostra de solo dispersada sem a presença de areia, agitando a suspensão com um bastão com tampa de borracha durante 1 minuto. Passado o tempo de sedimentação da fração silte, inseriu-se a pipeta a 5 cm de profundidade e pipetou 25 mL da suspensão de argila. Transferiu a solução para um béquer limpo e seco. Posteriormente, levou-se o béquer para secagem em estufa a 105 °C, por 24 horas. Após o tempo de secagem e resfriamento das amostras em um dessecador, estas foram pesadas para obtenção da porcentagem de argila. A porcentagem de silte foi obtida através da diferença entre as frações areia e argila (DAY, 1965).

Para a determinação da argila dispersa em água (ADA), foi adicionado 50 gramas de solo em um copo plástico juntamente com 125 ml de água. Essa mistura foi agitada com um bastão de vidro e deixado em repouso durante a noite. Após, foi levado para agitação mecânica e passado em uma peneira de 0,053 mm. A areia retida na peneira foi lavada e abandonada. O volume foi completado até 1000 ml e a suspensão agitada durante 20 segundos. Depois de 90 minutos, a suspensão foi sifonada e posteriormente foi realizado a leitura no densímetro. Juntamente com essa solução, foi realizada uma prova em branco para a realização do cálculo pela seguinte equação 1:

$$ADA = (a + b) \times 20 \quad (1)$$

onde a = leitura da amostra; b = leitura da prova em branco.

Para determinar o índice de floculação, foi feita a relação entre a argila naturalmente dispersa e a argila total, obtida após dispersão.

3.3 Infiltração método Cornell

A estimativa da velocidade de infiltração básica e a taxa de infiltração de água no solo foi realizada pelo método do Cornell Sprinkle Infiltrometer (CSI) ou infiltrômetro de Cornell (Figura 3), descrito por van Es e Schindelbeck (2003). O CSI é um simulador portátil de chuva com volume de 20,6 L, equipado com 69 tubos gotejadores na sua parte inferior de diâmetros de 0,063 cm e 19 cm de comprimento cada um. Este infiltrômetro é fixado sobre um cilindro de 24 cm de diâmetro e possui um sistema de regulagem de entrada de ar na parte superior que permite simular diferentes intensidades de chuva, para isso basta alterar para mais ou para menos a altura da extremidade inferior do cano de entrada de ar (parte em contato com a água) em relação ao fundo do recipiente que acondiciona a água. Dessa forma, força-se uma entrada maior ou menor de ar ampliando

ou diminuindo, conseqüentemente, a intensidade do gotejamento (SANTI, 2007). A intensidade da chuva (IC) é determinada a partir da equação 2:

$$IC = (H1 - H2)/t \quad (2)$$

onde: IC: intensidade da chuva (cm min⁻¹); H1: leitura inicial do volume de água na régua do infiltrômetro (cm); H2: leitura final do volume de água na régua do infiltrômetro (cm) e t: intervalo de tempo entre uma leitura e outra (minutos).

O CSI permite além da estimativa da taxa de infiltração, determinar o tempo em que se inicia o escoamento superficial e o volume de água escoado (ES), sendo esse último determinado pela equação 3:

$$ES = V/(457,30 * t) \quad (3)$$

onde: ES: volume de escoamento superficial (cm min⁻¹); constante 457,30: área do anel (cm²); t: intervalo de tempo entre as coletas da água escoada (minutos) e V: volume de água coletada (cm³).

Para determinação da VIB utilizou-se a equação 4:

$$VIB = P - \left[\frac{60 * \frac{E}{1000}}{A} \right] \quad (4)$$

onde: VIB = Velocidade de infiltração básica, mm h⁻¹; P = Precipitação do infiltrômetro de aspersão, mm h⁻¹; E = Escorrimento superficial, mL min⁻¹; A = Área da parcela do infiltrômetro de aspersão, m².

A infiltração de água (IA) (cm min⁻¹) foi determinada por diferença entre a IC e o ES (equação 5).

$$IA = IC - ES \quad (5)$$

O tempo do ensaio foi estabelecido em 60 minutos e as leituras foram tomadas a cada 3 minutos, conforme proposto por van Es e Schindelbeck (2003). A taxa de infiltração ao longo do tempo foi ajustada pelo modelo Kostiakov, descrito abaixo (equação 6).

$$I = aT^n \quad (6)$$

onde: I = Infiltração acumulada (mm); T = tempo de oportunidade da infiltração (min); a e n = parâmetros de ajuste da equação.



Figura 3 Infiltrômetro Cornell. Fonte: do autor.

3.4 Porosidade Total (PT)

Foram utilizadas amostras de solo não deformadas coletadas com anel e deixadas em saturação por 24 horas com quantidade de água a uma altura de 2/3 do anel. Depois foi utilizada uma mesa de tensão para as amostras serem submetidas aos potenciais de -6 e -10 kPa e para o potencial matricial de -1500 kPa foi utilizado extrator de Richards (TEIXEIRA et al., 2017). Após a estabilização das amostras em cada potencial, as mesmas foram pesadas e por fim levadas para a estufa a 105 °C por 24 horas para secagem. Com a massa do solo seco, foi determinada a densidade do solo (D_s) pelo método do anel volumétrico (TEIXEIRA et al., 2017) e também a umidade volumétrica do solo (Θ) com a seguinte relação (equação 6).

$$\theta = U * D_s / D_a \quad (6)$$

onde Θ : umidade volumétrica ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); U : umidade gravimétrica (kg kg^{-1}); D_s : densidade do solo (g cm^{-3}); D_a : densidade da água (considerada como 1 g cm^{-3}).

A porosidade total foi estimada como o teor de água do solo na saturação. A macroporosidade foi calculada como a diferença entre o teor de água no solo na saturação e o teor de água no solo no potencial hídrico de -6 kPa. A microporosidade do solo foi estimada como o teor de água do solo no potencial hídrico de -6 kPa.

3.6 Penetrômetro de impacto

A resistência do solo à penetração (RP) em campo foi monitorada pelo índice de cone por meio de um penetrômetro dinâmico de impacto (IAA/PLANALSUCAR-

STOLF) de ponta fina e ângulo de 30° (STOLF et al., 1991) (figura 4). Para isso foi realizado a RP em cada uso do solo em quatro épocas por ano (verão, outono, inverno e primavera), determinando a resistência até a profundidade de 60 cm em 10 pontos, dispostos em um transecto de 8 metros de comprimento.



Figura 4 Penetrômetro de impacto. Fonte: www.soilcontrol.com.br

Posteriormente, foram coletadas amostras em três pontos distintos desse transecto de 8 metros, nas profundidades, 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm, para determinação da umidade atual do solo pelo método da estufa.

3.7 Estabilidade de agregados

A estabilidade de agregados foi realizada pelo método de YODER (1936) a partir da coleta de amostra deformadas de solo. As amostras foram levadas a laboratório e fracionadas em seus pontos de fraqueza. Após secagem, os agregados foram transpassados em peneiras de 8,00 e 4,75 milímetros. O solo retido na peneira de 4,75 mm foi pesado, constituindo 25 gramas de amostra em placas de Petri, e pré-umedecidos por capilaridade com auxílio de papel-filtro. A separação dos agregados em classes de tamanho (2,0; 1,0; 0,5; 0,25 e 0,105 mm) foi feita pela desagregação e peneiramento em meio úmido, utilizando agitador mecânico tipo Yoder. Os agregados obtidos em cada classe de tamanho foram secos em estufa a 110 °C e pesados. Os resultados foram expressos em porcentagem. A avaliação da estabilidade de agregados foi realizada por

meio do diâmetro médio geométrico (DMG) obtido conforme Mazurak (1950) pela equação 7.

$$DMG = 10^{\frac{\sum(n \log d)}{\sum n}} \quad (7)$$

em que n: porcentagem de agregados em cada classe de tamanho; d: diâmetro médio da classe de agregados.

Análises estatísticas

As análises estatísticas dos dados foram realizadas com o auxílio do programa Sisvar, do software R (R CORE TEAM, 2018) e na plataforma RStudio (R STUDIO TEAM, 2018). Análise de variância (ANOVA) e teste Tukey ($p < 0,05$) foram aplicados na avaliação de diferenças estatísticas e na distinção de médias.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise textural do solo

Na tabela 1 é apresentada a classe textural da área de estudo para cada uso do solo, e segundo a classificação de Santos et al. (2018), o solo foi classificado como Argissolo Vermelho Amarelo.

Tabela 1: Classe textural do solo em estudo.

Solo	Uso	¹ H	Classe Textural ² SBCS
Argissolo Vermelho Amarelo	Mata nativa	A	Franco Argilosa
		B	Argila
Argissolo Vermelho Amarelo	Pastagem extensiva	A	Franco-argilo arenosa
		B	Franco-argilo arenosa
	Pastagem rotacionada	A	Franco-argilo arenosa
		B	Argilo arenosa
Eucalipto		A	Franco-argilo arenosa
		B	Argila

¹H: Horizonte do solo; ²SBCS: Sistema Brasileiro de Classificação de Solo. Fonte: do autor.

De acordo com a tabela 2, o maior valor encontrado de argila foi no uso de eucalipto com 56,04 %, sendo ele no horizonte B. A porcentagem de silte foi maior no

horizonte B da mata nativa, com 17,98 %. A porcentagem de areia foi maior no horizonte A no uso de pastagem extensiva, com 62,06 %. A porcentagem de argila dispersa em água foi maior no uso de eucalipto e no horizonte B, com 37,83 %, visto que foi o uso com maior índice de argila em sua constituição. Já o índice de floculação foi maior no horizonte A e no uso de mata nativa, com 46,03%.

Os valores dos atributos indicam a existência de relação entre os teores de ADA e IF nos quatro usos. Como exemplo, o menor valor de ADA foi acompanhado de maior valor do IF nos quatro usos e nas duas profundidades, indicando maior agregação do solo sob vegetação natural. A ADA e o IF podem sofrer interferência de outros fatores, como a maior ou menor atividade bacteriana, decorrente dos níveis de acidez do solo (PRADO; NATALE, 2003).

Tabela 2: Valores de argila, silte, areia, argila dispersa em água e índice de floculação para cada uso nos horizontes A e B.

Solo	Uso	Horizonte	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	¹ ADA (%)	² IF (%)
	Mata	A	37,76	22,18	40,07	20,38	46,03
	Nativa	B	44,48	17,98	37,54	30,12	32,29
Argissolo	Pastagem	A	25,47	12,47	62,06	16,51	35,16
Vermelho	extensiva	B	28,19	14,51	57,30	19,79	29,81
Amarelo	Pastagem	A	23,01	15,95	61,05	14,40	37,42
	rotacionada	B	39,58	12,89	47,53	29,59	25,24
	Eucalipto	A	33,54	17,85	48,61	20,37	39,27
		B	56,04	15,18	28,79	37,83	32,50

¹ADA: argila dispersa em água; ²IF: índice de floculação. Fonte: do autor.

Segundo Rosa Júnior et al. (2006) esses atributos apresentaram valores elevados nos quatro usos para o tipo de solo estudado, textura argilosa, devido à expansão e contração quando exposto a umedecimento e secagem. Caracterizando maior potencialidade ao arraste pelas águas das chuvas, bem como a compactação pelo pisoteio dos animais, contribuindo para aumentar os teores de ADA.

Oades (1988) informa que o fenômeno da dispersão-floculação é muito influenciado pela matéria orgânica do solo, a qual afeta o desenvolvimento da estrutura. O Argissolo apresenta horizonte sub-superficial do tipo Bt, ou seja, há um gradiente textural em profundidade com aumento na quantidade de argila. Com maiores teores de

argila em profundidade, a quantidade de argila dispersa em água também aumenta. Por essa razão, os maiores valores obtidos foram nos usos de mata nativa e de eucalipto, devido à alta quantidade de matéria orgânica constituinte na sua superfície, de acordo com Oades (1988). Pois essa pode agir como agente cimentante no solo (ROCHA, 2007)

É importante ressaltar que do ponto de vista agrícola, Lemos & Silva (2005) afirmam que a floculação é um índice importante para o controle da erosão, já que propicia a formação de agregados estáveis e maior permeabilidade do solo.

4.2 Taxa de infiltração e velocidade da água no solo

Os valores encontrados da taxa de infiltração de água no solo referente às diferentes condições de usos avaliados neste estudo, foram bem distintos (figura 5). A taxa de infiltração de água no solo foi maior na área de eucalipto, se mantendo constante com valores próximos de $0,20 \text{ cm min}^{-1}$ aos 150 minutos, seguida pela mata nativa, em torno de $0,09 \text{ cm min}^{-1}$, pastagem rotacionada e pastagem extensiva (pastagem contínua) com proximidade de $0,02 \text{ cm min}^{-1}$.

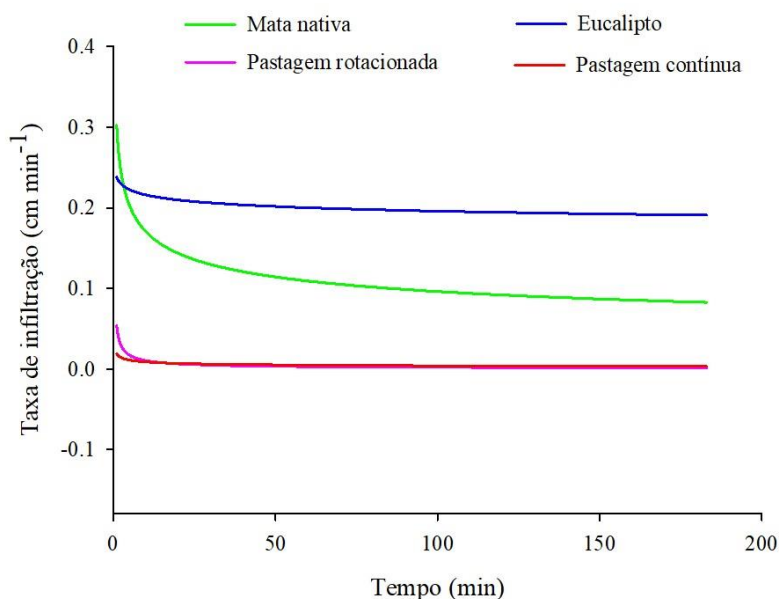


Figura 5 Taxa de infiltração do solo em estudo pelo método do Infiltrômetro Cornell. Fonte: do autor.

A área de eucalipto apresentou maior velocidade de infiltração básica com $121,13 \text{ mm h}^{-1}$, seguido pelos usos de mata nativa com $54,15 \text{ mm h}^{-1}$, pastagem extensiva com $4,94 \text{ mm h}^{-1}$, pastagem rotacionada com $4,09 \text{ mm h}^{-1}$ (tabela 3). Este resultado se deve

aos solos sofrerem alterações diferentes nas suas estruturas físicas em um determinado período de tempo (SALTON et al., 2002).

Tabela 3: Velocidade de infiltração básica do solo (VIB) em estudo

Cidade	Solo	Uso	VIB ¹ mm h ⁻¹
Piracaia	Argissolo Vermelho Amarelo	Mata nativa	54,15
		Pastagem extensiva	4,94
		Pastagem rotacionada	4,09
		Eucalipto	121,13

¹VIB: velocidade de infiltração básica. Fonte: do autor.

Os resultados indicam uma possível compactação do solo na área de pastagem extensiva e pastagem rotacionada, que pode ter sido provocado pelo pisoteio animal e ausência de manejo. O pisoteio animal provoca um aumento da densidade e microporosidade do solo, ocasionando desta forma redução da macroporosidade, principalmente na camada superficial do solo (SALTON et al., 2002). Mesmo estas camadas compactadas pelo pisoteio animal serem pouco espessas, seus efeitos sobre as propriedades físicas do solo influenciam acentuadamente as condições de infiltração de água (BRANDÃO et al., 2006), pois é através das camadas superficiais que a água deve passar, para infiltrar no solo.

Já a mata nativa e eucalipto, possuem uma VIB maior e conseqüentemente uma alta retenção de água devido a relação da cobertura vegetal constituinte no local. Sidiras & Roth (1987) e Roth et al. (1988) já constataram essa relação com os valores de cobertura do solo, estudando diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. Para Eltz et al. (1984), o efeito da cobertura do solo é evitar o impacto das gotas de chuva sobre a superfície do solo, impedindo a desagregação e a formação de crostas superficiais.

4.3 Porosidade total do solo

Observa-se pela figura 6 que, os menores valores de porosidade total foram encontrados no horizonte B, sendo 0,47 cm³ cm⁻³ para pastagem rotacionada (PR), 0,45 cm³ cm⁻³ para pastagem extensiva (PC), 0,48 cm³ cm⁻³ para mata nativa (MN) e eucalipto (E). Os valores obtidos para pastagem rotacionada, pastagem extensiva e mata nativa, no horizonte A, foram de 0,51 cm³ cm⁻³ e para eucalipto foi de 0,50 cm³ cm⁻³.

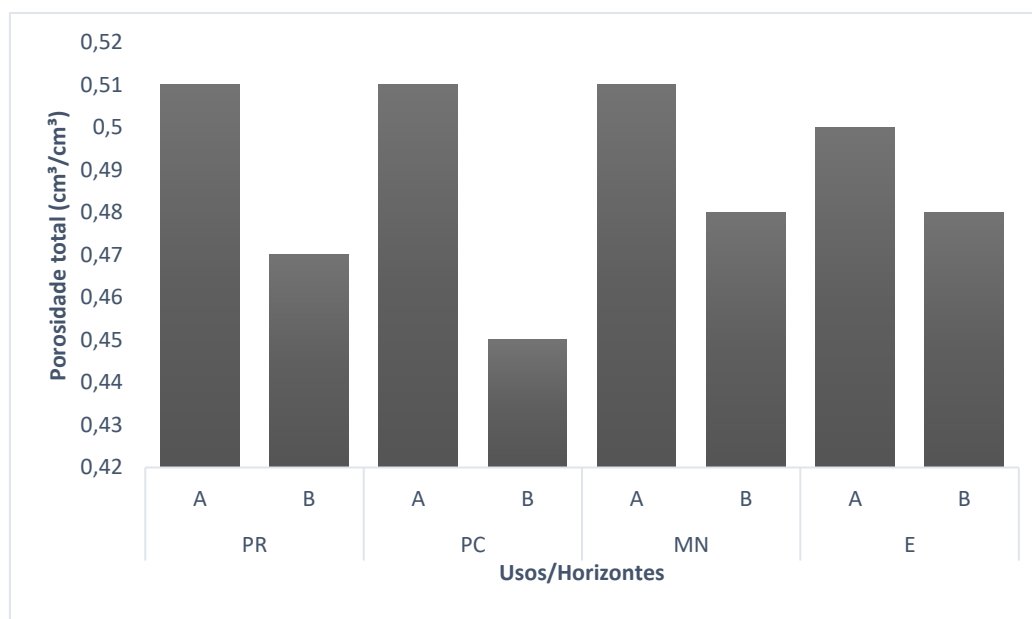


Figura 6: Porosidade total do solo nos quatro usos e horizontes A e B. Fonte: do autor.

Na tabela 4, são apresentados os valores de macro e microporosidade dos solos estudados. Conforme Baver et al. (1972), um solo apresenta condições ideais de aeração para o desenvolvimento das plantas quando a macroporosidade é superior a 10%. Portanto, o valor de macroporosidade para os solos de pastagem extensiva e mata nativa, ambos no horizonte B, encontram-se abaixo das condições ideais, porém foram também os usos que apresentaram os maiores valores de microporosidade, evidenciando que nestes solos a porosidade é constituída predominantemente por poros pequenos.

Tabela 4: Valores de microporos e macroporos nos usos em estudo.

Uso	Horizonte	Microporos cm³ cm ⁻³	Macroporos cm³ cm ⁻³
Pastagem rotacionada	A	0,36	0,15
	B	0,37	0,10
Pastagem extensiva	A	0,39	0,12
	B	0,37	0,08
Mata nativa	A	0,36	0,15
	B	0,41	0,07
Eucalipto	A	0,33	0,17
	B	0,34	0,14

Fonte: do autor.

4.4 Resistência a penetração

De acordo com a figura 7, nas estações verão e outono, e na camada até 15 cm, os usos de mata nativa e eucalipto obtiveram menor resistência a penetração (< 2 MPa), uma vez que não ocorreu intervenção antrópica em sua camada superficial.

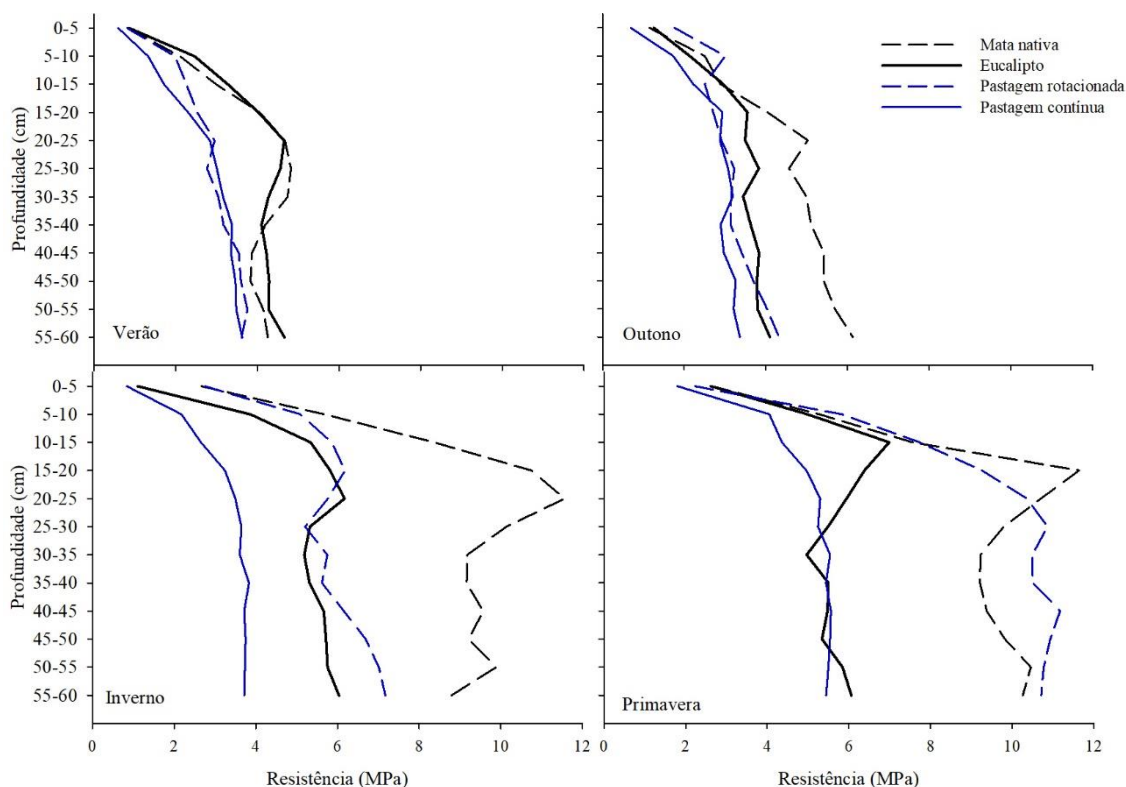


Figura 7 Resistência do solo a penetração monitorada nas estações verão, outono, inverno e primavera. Fonte: do autor.

Em profundidades de 15-35 cm, a resistência a penetração foi bem maior nas áreas de eucalipto e mata nativa (3-5 MPa), na estação verão. Isso se deve ao processo radicular das plantas que interferem na resistência do solo a penetração e também por ser um solo com horizonte Bt, adensado naturalmente.

Já na estação primavera, os usos de mata nativa e pastagem rotacionada estiveram entre 9-12 MPa em profundidades acima de 20 cm.

A pastagem contínua (pastagem extensiva) e pastagem rotacionada não obtiveram diferença significativa nas estações verão e outono, de acordo com a tabela 5.

Tabela 5: Análise estatística da resistência do solo a penetração de acordo com o Teste de Tukey ($p < 0,05$).

Profundidade (cm)	Verão			
	MN	E	PR	PC
0-20	2,50 bcA	2,66 cA	1,89 abA	1,48 aA

20-40	4,61 bC	4,18 bB	2,98 aB	3,09 aB
40-60	4,02 aB	4,11 aB	3,63 aC	3,48 aB
	Outono			
Profundidade (cm)	MN	E	PR	PC
0-20	2,64 aA	2,47 aA	2,50 aA	1,89 aA
20-40	4,92 bC	3,60 aB	3,11 aA	3,01 aA
40-60	5,67 bB	3,88 aB	3,86 aB	3,20 aB
	Inverno			
Profundidade (cm)	MN	E	PR	PC
0-20	6,87 cA	4,03 bA	4,97 bA	2,23 aA
20-40	10,01 cB	5,50 bB	5,70 bAB	3,64 aB
40-60	9,36 cB	5,79 bB	6,52 bB	3,73 aB
	Primavera			
Profundidade (cm)	MN	E	PR	PC
0-20	7,04 cA	5,16 abA	6,26 bcA	3,79 aA
20-40	9,94 bB	5,25 aA	10,56 bB	5,38 aB
40-60	10,03 bB	5,21 aA	10,90 bB	5,51 aB

As médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem significativamente na profundidade do solo e a mesma letra maiúscula na coluna não diferem significativamente entre o uso do solo, de acordo com o Teste de Tukey ($p < 0,05$). Fonte: do autor.

Estudos consideram que valores de RP superiores a 1,5 MPa reduzem o crescimento de raízes que são prejudicadas mediante valores próximos a 5 MPa (BENGOUGH; MULLINS, 1990; MATERECHERA et al., 1991). Nesse caso, pode-se considerar que os valores de RP obtidos no solo nos quatro usos em estudo, o tornam mais limitante ao desenvolvimento das raízes das plantas.

A resistência a penetração é fortemente influenciada pela umidade do solo. A umidade altera a coesão entre as partículas do solo (Beltrame et al., 1981). Assim, quando o solo está seco ou apresenta baixa quantidade de água, suas partículas apresentam-se mais próximas e difíceis de serem separadas por qualquer força externa, justificando os valores altos encontrados nas estações inverno e primavera, que são estações com menor índice de pluviosidade.

Os valores obtidos da umidade do solo, para diferentes profundidades e em diferentes estações do ano, se encontram na tabela 6.

Tabela 6: Teor de umidade de água no solo em diferentes profundidades e estações do ano.

Profundidades estação verão (cm)			
USO	0 – 20 cm	20 – 40 cm	40 – 60 cm
Mata Nativa	0,2537	0,2211	0,2271
Eucalipto	0,2487	0,2301	0,2515
Pastagem rotacionada	0,2565	0,2295	0,2477
Pastagem extensiva	0,3247	0,2592	0,2799
Profundidades estação outono (cm)			
USO	0 – 20 cm	20 – 40 cm	40 – 60 cm
Mata Nativa	0,2177	0,2153	0,2151
Eucalipto	0,2461	0,2468	0,3081
Pastagem rotacionada	0,2206	0,2355	0,2554
Pastagem extensiva	0,2610	0,2699	0,2829
Profundidades estação inverno (cm)			
USO	0 – 20 cm	20 – 40 cm	40 – 60 cm
Mata Nativa	0,1612	0,1538	-
Eucalipto	0,2030	0,1886	0,2014
Pastagem rotacionada	0,1675	0,1651	0,1772
Pastagem extensiva	0,3339	0,2290	0,2519
Profundidades estação primavera (cm)			
USO	0 – 20 cm	20 – 40 cm	40 – 60 cm
Mata Nativa	0,1393	0,1294	-
Eucalipto	0,1955	0,2585	0,2923
Pastagem rotacionada	0,1415	0,1499	-
Pastagem extensiva	0,1837	0,2136	0,2548

(-) Não foi possível coletar nessas profundidades. Fonte: do autor.

Nas estações verão e outono, não houveram diferenças nos valores absolutos obtidos entre os quatro usos em estudo e nas três diferentes profundidades. Já nas estações inverno e primavera, algumas profundidades não foram possíveis de serem determinadas. Como são estações com um menor índice de precipitações de chuva, o solo se encontrava muito seco, não sendo possível a coleta da amostra em determinadas profundidades.

Com os resultados obtidos nas quatro estações, pôde-se observar que em alguns usos quanto maior a profundidade, mais úmido o solo estará, pois ele não se encontrará

exposto ao sol como a parte superficial do solo além de também ser uma das características da classe de solo argiloso, quanto maior for sua profundidade, maior será a recarga de água devido ao alto índice de microporos, de acordo com Beltrame (1981).

4.5 Estabilidade de agregados

De acordo com a tabela 7, os resultados obtidos de DMG e DMP indicam que no horizonte A, independentemente do tipo de uso do solo, os agregados possuem um diâmetro maior em relação ao horizonte B. Pode-se dizer também que os valores do DMG e DMP não foram influenciados pelos sistemas de manejo adotados, apenas nas profundidades das diferentes áreas estudadas. A redução do DMP em profundidade pode estar associada à redução da matéria orgânica e ao menor efeito da compressão do solo pelo pisoteio animal (pastagem), nas camadas mais inferiores.

Tabela 7: Avaliação da estabilidade de agregados e matéria orgânica do solo em estudo

Solo	Uso	Horizonte	¹ DMG	² DMP	³ MO (dag/kg)
Argissolo Vermelho Amarelo	Mata nativa	A	4,12	4,65	4,93
		B	2,56	3,69	1,03
	Pastagem extensiva	A	4,44	4,81	2,65
		B	4,38	4,73	1,79
	Pastagem rotacionada	A	4,48	4,80	3,03
		B	2,13	3,42	1,36
	Eucalipto	A	4,77	4,92	2,92
		B	3,57	4,28	1,10

¹DMG: diâmetro médio geométrico; ²DMP: diâmetro médio ponderado; ³MO: matéria orgânica.

Fonte: do autor.

Não houve diferença estatística pelo teste de Tukey.

Esses dados podem indicar que na área de mata nativa, a matéria orgânica constituinte na superfície do solo é um ótimo indicador na preservação dos agregados. O tamanho dos agregados e sua estabilidade apresentam forte influência nos fluxos de ar e água no solo. Além disso, de acordo com Kemper & Chepil (1965), a distribuição do tamanho de agregados do solo é importante, porque o tamanho dos agregados determina a suscetibilidade ao movimento (erosão) pelo vento e água, bem como as dimensões do espaço poroso de solos cultivados. Provavelmente, os agregados dos usos em pastagem extensiva e pastagem rotacionada, são formados devido a compactação, onde os macroagregados ficam unidos por forças eletrostáticas e são destruídos pela ação da água

na determinação por via úmida, o que causa erosão devido ao transporte dos sedimentos que são destruídos pela água da chuva.

5 CONCLUSÃO

O infiltrômetro de Cornell demonstrou ser uma ferramenta prática para determinar a infiltração de água no solo demonstrando que os sistemas de manejos afetam as características físico-hídricas do solo.

O solo da pastagem rotacionada não está sendo tão sustentável, provavelmente pelo manejo e lotação dos animais que tem sido adotado na fazenda e também pelo pouco tempo em que a pastagem se tornou rotacionada.

O Argissolo é um solo naturalmente adensado, portanto um manejo correto nos usos de pastagem pode melhorar os serviços ecossistêmicos.

A camada superficial e principalmente a mais profunda do solo, evidencia uma maior disponibilidade de água em relação às camadas subsuperficiais, por ser uma característica da classe de Argissolo, com isso a resistência do solo a penetração está relacionada com a umidade.

O diâmetro médio ponderado de agregados (DMP) apresenta poucas diferenças entre os usos do solo, tendo maior influência na profundidade devido a diminuição da matéria orgânica e do menor efeito da compressão do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA & DAEE. Dados de referência acerca da outorga do Sistema Cantareira. 16 de agosto 2013 – V 1.1.

BARDY, R. P.; TURETTA A. P.; ANDRADE, A. G. Manejo e Conservação do Solo e da Água no Contexto das Mudanças Ambientais. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 2010.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, NL, v. 86, p. 237-245, 2006.

BELTRAME, L.F.S.; GONDIN, L.A.P. & TAYLOR, J.C. Estrutura e compactação na permeabilidade de solos do Rio Grande do Sul. *R. Bras. Ci. Solo*, 5:145-149, 1981.

BENGOUGH, A. G.; MULLINS, C. E. Mechanical impedance to root growth: a review of experimental techniques and root growth responses. *The Journal of Soil Science*, Oxford, v. 41, p. 341–358, 1990.

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

- BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; SILVA, A.P. Comparação de penetrômetro na avaliação da compactação de latossolos. Jaboticabal: *Revista Engenharia Agrícola*. v.27, n.1, p.146-151, 2007.
- Blainski, E.; Tormena, C. A.; Fidalski, J.; Guimarães, R. M. L. Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo à penetração. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.975-983, 2008.
- BRADY, N. C. *Natureza e propriedades dos solos*. 5. ed. São Paulo: F. Bastos, 1979. 647 p.
- BRANDÃO, V. S.; CECILIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. *Infiltração da água no solo*. 3. ed. Viçosa: UFV, 2006. 120 p.
- CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. Estabilidade de agregados do solo após manejo com rotações de culturas e escarificação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n. 04, p.1399-1407, 2008.
- CARVALHO, M. A.; RUIZ, H. A.; COSTA, L. M.; PASSOS, R. R.; ARAÚJO, C. A. S. Composição granulométrica, densidade e porosidade de agregados de Latossolo Vermelho sob duas coberturas do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 18, n. 10, p. 1010-1016, 2014.
- 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 sistema de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.22, n.3, p.527-38, 1998.
- CECÍLIO, R. A.; MARTINEZ, M. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.; ATAÍDE, W. F. Substituição dos parâmetros do modelo de Green-Ampt-Mein-Larson para estimativa da infiltração em alguns solos do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 1141-1151, 2007.
- CHIODI, R. E.; SARCINELLI, O.; UEZU, A. Atividades produtivas rurais, uso dos recursos naturais e políticas públicas na área afetada pelo Sistema Produtor de Água Cantareira. In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 51., 21-24 jul. 2013, Belém. Anais... Belém: UFRN, 2013. 1 CD-ROOM.
- CUNHA, J.P.A.R. da; VIEIRA, L.B.; MAGALHÃES, A.C. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes densidades e teores de água. *Engenharia na Agricultura*, Viçosa, v.10, n.1-4, p.1-7, 2002.
- DAY, P.R.: Particle fractionation and particle-size analysis, In: BLACK, C.A. (ed.) *Methods of soil analysis*, Madison: American Society of Agronomy, vol. 1: 545-566, 1965.
- DILUSTRO, J. J.; COLLINS, B.; DUNCAN, L.; CRAWFORD, C. Moisture and soil texture effects on soil CO₂ efflux components in southeastern mixed pine forests. *Forest Ecology and Management*, Elmsford, NL, v. 204, p. 87-97, 2005.
- ELTZ, F.L.F.; CASSOL, E.A.; SCOPEL, I. & GUERRA, M. Perdas de solo e água por erosão em diferentes sistemas de manejo e coberturas vegetais em solo Laterítico Bruno Avermelhado distrófico (São Jerônimo) sob chuva natural. *R. Bras. Ci. Solo*, 8:117-125, 1984.
- GONÇALVES, A.D.M.A; LIBARDI, P.L. Análise da determinação da condutividade hidráulica do solo pelo método do perfil instantâneo. *R. Bras. Ci. Solo*, 37:1174-1184, 2013.
- HILLEL, D. *Soil and water: physical principles and processes*. 3. ed. New York: Academic, 1972. 288 p.
- HILLEL, D. *Fundamentals of soil physics*. New York: Academic, 1980. 413 p.

- JÚNIOR, E.; PERES, J.R.R. *Uso agrícola dos solos brasileiros*. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2002. 174p.
- KAISER, D. R. et al. Dielectric constant obtained from TDR and volumetric moisture of soils in southern Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 34, n.3, p. 649-658, mai./jun. 2010.
- KEMPER, W.D. & CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A., ed. *Methods of soil analysis. Part 1*. Madison, Wisconsin, America Society of America, 1965. p.499-510.
- KIEHL, E. J. *Manual de edafologia: relações solo-planta*. São Paulo: Ceres, 1979. 262 p.
- KLEIN, V. A. *Física do Solo - Passo Fundo*: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2008. 212p.
- KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Condutividade hidráulica de um Latossolo Roxo, não saturado, sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 32, n. 6, p. 945-953, 2002.
- LEMONS, C.F.; SILVA, E.T. Comparação das características morfológicas, mineralógicas, químicas e físicas do solo entre áreas de cultivo com plantio direto e plantio convencional. *Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais*, Curitiba, 3:11-18. 2005.
- MARQUES, J. D. de O. Horizontes pedogenéticos e sua relação com camadas hidráulicas do solo. 2000. 86 f. Dissertação (Mestrado) Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2000.
- MAZURAK, A.P. *Effect of gaseous phase on water-stable synthetic aggregates*. *J. Soil Sci.*, 65 (1950), pp.
- OADES, J. M. The retentions of organic matter in soils. *Biogeochemistry*, Dordrecht, 5:35-70, 1988.
- OLIVEIRA, D. M. S.; LIMA, R. P.; JAN VERBURG, E. E. Qualidade física do solo sob diferentes sistemas de manejo e aplicação de dejetos líquidos suíno. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 19, n. 3, p. 280–285, 2015.
- PAUL, E. A. *Soil microbiology, ecology and biochemistry*, Third edition. Burlington, USA: Academic Press, 2007, 532p.
- PRADO, R. M.; NATALE, W. Alterações na granulometria, grau de floculação e propriedades químicas e de um Latossolocar e no grau de floculação de um Latossolo Vermelho Distrófico, sob plantio direto e reflorestamento. *Acta Scientiarum: Agronomy*, Maringa, v.25, n.1, p.45-52, 2003.
- 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.
- RAMOS, M. R. et al. Soil, water and nutrient loss under conventional and organic vegetable production managed in small farms versus forest system. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*, Kassel, v. 115, n. 1, p. 131–40, 2014.
- RICHARDS, L. A. Physical conditions of water in soil. In: BLACK, C. A. (Ed.). *Methods of soil analysis*. Madison: American Society for Testing and Materials, 1965. p. 128-152.
- ROCHA WW, BORGES SR, VICTÓRIA EP, NUNES AB. Resistência ao cisalhamento do solo do ponto de vista ambiental. In: Abreu MHN, organizador. *Ciências Ambientais: Abordagem multidisciplinar*. Belo Horizonte: Universidade do Estado de Minas Gerais; 2007. p.87-124.
- RODRIGUES, S.; SILVA, A.P.; GIAROLA, N.F.B.; ROSA, J.A. Permeabilidade ao ar em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.35, p.105-114, 2011.

- ROSA JUNIOR, E. J. et al. Calcário e gesso como condicionantes físico e químico de um solo de cerrado sob três sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v.36, n.1, p.37-44, 2006.
- Rosolem, C. A.; Fernandez, E. M.; Andreotti, M.; Crusciol, C. A. C. Crescimento radicular de plântulas de milho afetado pela resistência do solo à penetração. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.34, p.821-828, 1999.
- ROTH, C.H.; MEYER, B.; FREDE, H.G. & DERPSCHE, R. Effect of mulch rates and tillage systems on infiltrability and other soil physical properties of an Oxisol in Paraná, Brazil. *Soil Till. Res.*, 11:81-91, 1988.
- SALTON, J. C.; FABRÍCIO, A. C.; MACHADO, L. A. Z.; OLIVEIRA, H. Pastoreio de aveia e compactação do solo. *Revista Plantio Direto*, Passo Fundo, v. 69, n. 1, p. 32-34, 2002.
- SANTI, A. L. *Relações entre indicadores de qualidade do solo e a produtividade das culturas em áreas com agricultura de precisão*. 2007. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- SANTOS, R. M. et al. Montagem e acurácia de um sistema experimental de pesagem para calibração de sensores de umidade de solo. *Ciência e agrotecnologia*, Lavras, v. 30, n. 6, p. 1162-1169, nov./dez. 2006.
- SÃO MATEUS, M. S. C. Determinação em laboratório da condutividade hidráulica de solos não saturados. 1994. 186 f. Dissertação (Mestrado) Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.
- SIDIRAS, N. & ROTH, C.H. Infiltration measurements with double-ring infiltrometers and a rainfall simulator under different surface conditions on an Oxisol. *Soil Till. Res.*, 9:161-168, 1987.
- SILVA, A. P. et al. Indicadores da qualidade física do solo. In: VAN LIER, Q. de J. (Ed.). *Física do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p. 241-280.
- SILVA, A. S.; SILVA, I. D. F.; BANDEIRA, L. B., DIAS, B. O.; SILVA NETO, L. D. F. Argila e matéria orgânica e seus efeitos na agregação em diferentes usos do solo. *Ciência rural*, v. 44, n. 10, p. 1783-1789, 2014.
- STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.15, n.2, p.229-35, 1991.
- STOTZKY, G. In: Black, C.A., ed. *Methods of soil analysis*, 2 edition. Madison: American Society of Agronomy, p. 1551-1572, 1965.
- SYLVIA, D. M.; FUHRMANN, J. J., HARTEL, P. G.; ZUBERER, D. A. *Principles and applications of soil microbiology*. New Jersey: Prentice Hall, 1999, 550p.
- TAFFARELLO, D. et al. (submetido). Payments for Ecosystem Services in the Atlantic Forest, Brazil: A Climate Change Adaptation Option. *Ecosystem Services: Science, Policy and Practice*. Submissão Nº ECOSER – D – 15- 00085.
- TEIXEIRA, P. C. et al. *Manual de Métodos de Análise de Solo*. Brasília: Embrapa Solos, 2017.
- TOGNON, A. A. Propriedades físico-hídricas do Latossolo Roxo da região de Guairá-SP sob diferentes sistemas de cultivo. 1991. 85 f. Dissertação (Mestrado) Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1991.
- UEZU, A.; SARCINALLI, O.; CHIODI, R. E.; JENKINS, C. N.; MARTINS, C. S. *Atlas dos serviços ambientais do sistema Cantareira*. 1. ed. - São Paulo: Memnon Edições Científicas: IPÊ - Instituto de Pesquisas Ecológicas, 2017.
- VAN ES, H.; SCHINDELBECK, R. *Field procedures and data analysis for the cornell sprinkle infiltrometer*. Ithaca, NY: Cornell University, Department of Crop and Soil Sciences Series R03-01, 2003. 8 p.

- van GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44:892-898, 1980
- WANG, Q.; OTSUBO, K. & ICHINOSE, T. Digital map sets for evaluation of land productivity. Disponível em:
- WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. *Pesquisa agropecuária brasileira*, Brasília, v.40, n.5, p.487-494, 2005.
- YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. *J.Am. Soc. Agr.*, 28:337-351, 1936.
- ZWIRTES, A.L; SPOHR, R.B; BARONIO, C.A; MENEGOL, D.R; ROSA, G.M; MORAIS, M.T. Utilização do infiltrômetro de Cornell e dos anéis concêntricos para determinação da infiltração de água em um Latossolo Vermelho. Londrina: *Ciências Agrárias*, v.34, n.6 2013.