



**MATHEUS ARTUR DOMICIANO**

**RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO E INFILTRAÇÃO DE ÁGUA EM  
SOLOS SOB DIFERENTES USOS NA REGIÃO DO PONTAL DO  
PARANAPANEMA, SP**

**LAVRAS-MG**

**2022**

**MATHEUS ARTUR DOMICIANNO**

**RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO E INFILTRAÇÃO DE ÁGUA EM  
SOLOS SOB DIFERENTES USOS NA REGIÃO DO PONTAL DO  
PARANAPANEMA, SP**

Monografia apresentada à  
Universidade Federal de Lavras,  
como parte das exigências do Curso  
de Engenharia Ambiental e  
Sanitária, para a obtenção do título  
de Bacharel.

Prof. Dr. Junior Cesar Avanzi  
Orientador

Maria Cecília Vieira Totti  
Coorientadora

**LAVRAS-MG  
2022**

## RESUMO

O crescimento populacional e a pressão econômica para a produção de alimentos, matéria-prima e combustíveis, têm contribuído para o avanço de uso em áreas marginais e frágeis, que, quando usadas e manejadas inadequadamente, se tornam degradadas. Para determinar a qualidade do solo são utilizados alguns atributos de solo, dentre os quais pode-se citar a compactação do solo e a infiltração de água, sendo diretamente afetados pelas práticas de manejo. O objetivo deste trabalho foi analisar a resistência do solo à penetração e infiltração de água no solo sob diferentes usos, na região do Pontal do Paranapanema, no Estado de São Paulo. Coletou-se 19 amostras, em áreas de fragmento de mata, restauração, pastagem, cana-de-açúcar, mandioca e cultivo anual. Os solos predominantes na região foram classificados como Latossolo Vermelho e Argissolo Vermelho. A resistência do solo à penetração (RP) foi determinada com penetrômetro de impacto até a profundidade de 0,60 m, tomando-se 10 repetições por ponto amostral. Para a determinação da taxa de infiltração de água no solo foram realizadas três repetições por ponto, utilizando o Infiltrômetro Mini Disk sobre a superfície do solo, garantindo um bom contato hidráulico entre disco e solo. As leituras foram realizadas a cada 30 segundos, até obter uma taxa de infiltração constante, com o aparelho ajustado para sucção de 2 cm. O maior valor de RP observado foi sob o uso de pastagem, que apresentou 10 MPa, na profundidade 0,00-0,20 m no Argissolo, indicando estar severamente compactado. O menor valor de RP, foi encontrado sob o uso do fragmento, que apresentou valores inferiores a 2 MPa em todo perfil de ambos os solos avaliados. O Argissolo mostrou maior capacidade de infiltração de água quando comparado com o Latossolo, com exceção dos usos de cultivo anual e pastagem. No cultivo de mandioca houve alta infiltração no Latossolo, provavelmente devido a formação da raiz, que quando removida, pode desestruturar o solo ocasionando elevado valor de infiltração de água. As diferentes formas de uso do solo promoveram alterações no movimento da água no solo e na resistência do solo a penetração.

**Palavras-chave:** Manejo, Latossolo, Argissolo.

## ABSTRACT

Population growth and economic pressure for the production of food, raw materials and fuels have contributed to the advance of use in marginal and fragile areas, which, when used and managed improperly, become degraded. Some soil attributes are used to determine soil quality, among which soil compaction and water infiltration can be mentioned, which are directly affected by management practices. The objective of this work was to analyze the soil resistance to penetration and infiltration of water into the soil under different uses, in the Pontal do Paranapanema region, in the State of São Paulo. Nineteen samples were collected in areas of forest fragments, restoration, pasture, sugarcane, cassava and annual cultivation. The predominant soils in the region are classified as Red Latosol and Red Argisol. Soil resistance to penetration (RP) was determined with an impact penetrometer to a depth of 0.60 m, taking 10 repetitions per sampling point. To determine the rate of infiltration of water in the soil, three repetitions were performed per point, using the Mini Disk Infiltrometer on the soil surface, ensuring good hydraulic contact between disk and soil. Readings were taken every 30 seconds, until a constant infiltration rate was obtained, with the device adjusted to a suction of 2 cm. The highest RP value observed was under the use of pasture, which presented 10 MPa, at a depth of 0.00-0.20 m in the Argisol, indicating that it was severely compacted. The lowest RP value was found under the use of the fragment, which presented values lower than 2 MPa in the entire profile of both evaluated soils. The Argisol showed greater water infiltration capacity when compared to the Latosol, with the exception of annual crop and pasture uses. In cassava cultivation, there was high infiltration in the Latosol, probably due to the formation of the root, which, when removed, can disrupt the soil, causing a high value of water infiltration. The different forms of land use promoted changes in the movement of water in the soil and in the resistance of the soil to penetration.

**Key words:** Management, Latosol, Argisol.

## **AGRADECIMENTOS**

Sou grato a Deus, pela concepção à vida e oportunidade de concretizar esse sonho.

A minha mãe Sibeles, pelo amor incondicional e por sempre acreditar em mim, que com muito carinho e sem medir esforços, deu todo apoio para que eu concluísse esta etapa. Ao meu pai Edson, que desde o início me apoiou.

A minha namorada Fernanda, que sempre esteve do meu lado, me incentivando, aconselhando e me fortalecendo nesta caminhada.

A Universidade Federal de Lavras por permitir essa oportunidade. Ao meu orientador Dr Junior Cesar e, Co-orientadora Maria Cecília, pelos ensinamentos e apoio, que sem dúvidas foram essenciais para a conclusão desse trabalho. Também aos técnicos e funcionários do DCS pelo auxílio e prontidão.

Aos velhos amigos de infância, e aos feitos durante essa caminhada tornaram essa jornada mais leve. E a todos que contribuíram de alguma forma para a conclusão desse trabalho.

Muito obrigado!

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Localização da área de estudo na região do Pontal do Paranapanema, no Estado de São Paulo, Brasil. ....	18
<b>Figura 2:</b> Precipitação média mensal, em mm, na região do Pontal do Paranapanema, no Estado de São Paulo, Brasil.....	19
<b>Figura 3:</b> Localização dos pontos amostrais na região do Pontal do Paranapanema, no Estado de São Paulo, Brasil.....	21
<b>Figura 4:</b> Usos predominantes do solo na região do Pontal do Paranapanema: a) fragmento de mata, b) restauração florestal, c) pastagem, d) cana-de-açúcar, e) mandioca, f) cultivo anual. ....	22
<b>Figura 5:</b> a)Medição da resistência do solo à penetração, na região do Pontal do Paranapanema b)análise de velocidade de infiltração de água no solo, por meio de infiltrômetro Mini Disk. ....	23
<b>Figura 6:</b> Resistência do solo à penetração em solos sob diferentes usos, na região do Pontal do Paranapanema, SP. ....	27
<b>Figura 7:</b> Velocidade de infiltração de água em solos sob diferentes usos, na região do Pontal do Paranapanema, SP. ....	31

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Caracterização da área de estudo localizada nos municípios de Teodoro Sampaio, Euclides da Cunha Paulista, Sandovalina e Mirante do Paranapanema, Estado de São Paulo, Brasil. ....	20
<b>Tabela 2:</b> Resistência do solo à penetração em solos sob diferentes usos, na região do Pontal do Paranapanema, SP. ....	25
<b>Tabela 3:</b> Velocidade de infiltração de água em solos sob diferentes usos, na região do Pontal do Paranapanema, SP. ....	30

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	9
2.	REFERENCIAL TEÓRICO .....	11
	Manejo do solo .....	11
	Área degradada.....	13
	Recuperação de solos degradados .....	15
	Resistência do solo à penetração .....	16
	Infiltração de água no solo .....	16
3.	OBJETIVO.....	18
4.	MATERIAL E MÉTODOS .....	18
	Delineamento Experimental.....	21
	Avaliação para determinação de resistência a penetração e infiltração de água no solo .....	22
	Atributos do solo .....	23
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
	Resistência à penetração .....	23
	Infiltração .....	29
6.	CONCLUSÕES .....	32
7.	REFERÊNCIAS .....	32

## 1. INTRODUÇÃO

Com o aumento da população mundial, tornam-se cada vez mais necessárias ações que viabilizem fontes de alimentos, espaço e condições para a sobrevivência da sociedade. Historicamente, o uso do solo e a alteração no ambiente nem sempre dão lugar a um novo sistema ecológico sustentável, seja de lavouras ou de pastagens. Com isso, solos utilizados intensamente, e de forma inadequada, são levados à degradação (ALVES, 2001).

A agricultura sempre esteve entre as principais atividades econômicas brasileiras, sendo as commodities os produtos exportados mais expressivos. No que se refere a relação sociedade-natureza, o fato que merece maior atenção são as áreas para o desenvolvimento desta produção de alimentos. Considerando que ela demanda extensos espaços para sua execução, ocasiona diversos problemas ambientais em decorrência do manejo inadequado (SANTOS, 2017). A expansão das terras agrícolas promove o aumento da produção agrônômica visando atender as demandas nacionais e internacionais por alimentos e matéria prima. Apesar disso, esta expansão também promove a supressão da cobertura vegetal nativa para a abertura de novas áreas de cultivo (PARROTTA et al., 1997; GRAU; MITCHELL, 2008; BERTOL, 2016).

Um dos primeiros impactos no solo, em razão da substituição da cobertura vegetal nativa por áreas de cultivos, é a sua degradação (OLDEMAN et al., 1991; NUNES et al., 2018). Para Iori et al. (2012), Blanco-Canqui e Ruis (2018) e Nunes et al. (2018), o uso e o manejo inadequados do solo favorecem a degradação das suas propriedades físicas, químicas e biológicas, principalmente quando este uso substitui uma área que antes era ocupada por cobertura nativa.

A alta intensidade de produção somada à um sistema de baixa sustentabilidade tem afetado a dinâmica de água no solo, em função do aumento da densidade do solo, da resistência do solo à penetração e da redução da porosidade e da estabilidade de agregados. Isto é resultante do crescente tráfego de máquinas, redução da diversificação de culturas, uso de métodos de irrigação pouco eficientes, pisoteio animal e baixos teores de matéria orgânica do solo (SHAH et al., 2017). Ao longo dos anos, a mecanização da agricultura e a ocupação de terras por culturas agrícolas acarretaram mudanças nas paisagens, principalmente no que se refere à retirada da cobertura florestal. O aumento do escoamento superficial é um dos diversos impactos causados pela retirada das florestas, uma vez que a cobertura e uso da terra exercem influência na capacidade de infiltração de água no solo (SANTOS; ROCHA, 2019).

A região do Pontal do Paranapanema-SP, sofreu alterações na cobertura da terra desde o início de sua ocupação, passando pelo processo de desmatamento e substituição das florestas por diferentes culturas agrícolas (SANTOS; ROCHA, 2019). Historicamente, após a derrubada de praticamente todas as suas matas no início do século XX, o Pontal passou a ter sua área voltada para a produção agrícola de algodão e café. A partir dos anos 1950, a região foi intensamente ocupada por pastagens, especialmente pela produção de pecuária de corte, permanecendo por muitos anos como principal atividade econômica (PIMENTA; ROCHA, 2018).

Na década de 1970, a crise do petróleo trouxe ao Brasil a necessidade de investir em outra matriz energética, uma vez que a produção automobilística cresceu durante o governo de Juscelino Kubistchek, sem deixar de ser totalmente dependente do petróleo. Assim, o projeto PROÁLCOOL (Programa Nacional do Alcool) foi instituído com o objetivo de substituir parte dos veículos movidos à gasolina por veículos movidos a etanol produzido à base de cana-de-açúcar (PIMENTA; ROCHA, 2018). Isto trouxe a necessidade de aumento das áreas de produção de agrocombustíveis. Assim, a atividade canavieira foi introduzida no Oeste Paulista com os primeiros canaviais e plantas agroindustriais construídas e administradas pelos latifundiários da região, atraídos pelos incentivos fiscais e financeiros sendo, portanto, inseridos no circuito da produção do etanol até os tempos de hoje (BARRETO, 2012).

Furquim et al. (2020) ressaltam que a implantação de qualquer sistema produtivo traz modificações no ambiente original, especialmente no solo, a fim de propiciar condições mínimas para o estabelecimento e produção das plantas a serem cultivadas. Essas modificações no solo ocorrem nas propriedades físicas, químicas e biológicas, porém, nem sempre são feitas de forma equilibrada.

O entendimento do comportamento físico de um solo, é de extrema importância, uma vez que ele orienta as devidas atividades a serem executadas no sistema, para que desta forma alcance um adequado desenvolvimento das culturas (CHITERO, 2020). Este diagnóstico envolve a composição textural, o arranjo das partículas e poros, densidade do solo, sua estrutura de agregação, resistência mecânica à penetração, infiltração de água no solo e disponibilidade de água às plantas (KLEIN, 2014).

Portanto, torna-se necessária a elaboração de estratégias de controle da degradação ambiental e o uso de critérios para uma avaliação correta das condições atuais do solo. Assim, recomenda-se práticas de manejo que visam restabelecer, conservar ou aprimorá-las, possibilitando um desenvolvimento de produção vegetal mais sustentável.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### Manejo do solo

O solo é definido como um conjunto de corpos naturais que ocorre na superfície terrestre e é composto por fragmentos rochosos, água, ar, substâncias químicas, organismos vivos e matéria orgânica (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2014). A importância do estudo do solo está relacionada com as funções que este desempenha no meio ambiente, como suporte físico para a vegetação, ciclagem de nutrientes e habitat para a fauna edáfica (BRADY e WEIL, 1999; BOUMA e MCBRATNEY, 2013; MCBRATNEY et al., 2014). São essas diferentes funções que suscitam usos variados deste recurso pela sociedade (BERTOL, 2016).

Na ciência do solo, diversos estudos apontam para pesquisas voltadas para a avaliação da qualidade física dos solos em relação ao seu manejo (BROWN et al., 2018; CAMPOS et al., 2018). Este tema é frequente na literatura mundial em virtude das interferências na produtividade das culturas e sustentabilidade dos ecossistemas ligados ao solo (GUEDES et al., 2012).

No cultivo convencional, o preparo do solo é a primeira operação a ser realizada, pois compreende um conjunto de práticas que, quando usadas de forma adequada permitem alta produtividade da cultura (EMBRAPA, 2013). No entanto, muitas vezes os sistemas de produção colocam o manejo do solo em segundo plano, causando nele um desequilíbrio. Práticas incorretas de manejo do solo podem causar impacto direto em alguns atributos físicos do solo, como exemplo, a formação de camadas compactadas. A compactação do solo se caracteriza pelo aumento da densidade do solo e pelos elevados valores de resistência do solo à penetração (VALADÃO et al., 2015). Além disso, a compactação do solo proporciona a diminuição da distribuição e tamanho dos poros do solo, a redução da infiltração de água, e a diminuição da difusão dos gases e disponibilidade de nutrientes para as plantas (SCAPINELLI et al., 2015).

Segundo o Banco Mundial, os solos agrícolas do mundo vêm se degradando a uma taxa de 0,1% ao ano. Dados que vão de encontro aos estabelecidos pela FAO (Organização para a Alimentação e Agricultura) que aponta a perda de cinco milhões de hectares de terras aráveis por ano, devido às más práticas agrícolas, secas e pressão populacional, além de inúmeras ações antrópicas de exploração inadequada dos recursos naturais englobando o compartimento solo (FAO, 2015).

Quando feito de maneira adequada, o manejo do solo garante que durante a semeadura exista a deposição uniforme das sementes, germinação, emergência, estabelecimento populacional e desenvolvimento da cultura. Além disso, alta produtividade sem degradação do solo (ROSABONI et al., 2019). No entanto, quando realizado de maneira incorreta, pode levar rapidamente um solo à degradação física, química e biológica e, paulatinamente, diminuir o seu potencial produtivo (DEBIASI et al., 2010). Assim, a adoção de sucessivos implementos que pulverizam o solo, como grades e arados, expõe a questão da não conservação e degradação excessiva, resultando na diminuição da taxa de infiltração, erosões e formação de camadas compactadas no solo (ROSABONI et al., 2019).

Como consequência dessa degradação estão o comprometimento da fertilidade das terras e da qualidade das águas. Ou seja, o solo perde a sua funcionalidade e o equilíbrio ecológico em geral. Esse problema é potencializado quando se leva em conta que o processo de regeneração natural do solo é muito lento. Estima-se que sob um clima úmido, são necessários cerca de 500 anos para que se formem uma camada de solo de 2,5 cm de espessura (TAVARES, 2015).

O Plantio Convencional (PC) e o Sistema de Plantio Direto (SPD) estão entre as principais formas de manejo do solo. O critério da sua escolha deve levar em consideração os atributos do solo, como a textura, estrutura e grau de compactação do solo, bem como de acordo com a disponibilidade de equipamentos e de recursos do produtor (NASCENTE et al., 2011).

O SPD executado em concordância com seus fundamentos básicos pode ser classificado como prática conservacionista que confere sustentabilidade aos sistemas produtivos (MARTINS; SANTOS, 2017). Ele resulta em um ecossistema com grau de perturbação menor que o de outras formas de manejo que utilizam uma intensa mobilização do solo (MILAGRES et al., 2018). Desta forma, há um significativo estímulo para a recomposição da biodiversidade do solo, bem como a do ambiente em si, resultante do menor impacto humano no sistema (BARTZ et al., 2014).

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). No entanto, vale ressaltar que o atendimento parcial em seus fundamentos, tem conduzido a perda de qualidade do solo, com o aumento da compactação do solo e consequente redução da capacidade de armazenamento e infiltração de água.

Já o PC envolve os preparos primário e secundário que consistem no revolvimento da camada superficial do solo com uso de equipamentos como o arado e a grade (PEREIRA; RODRIGUES, 2013). Com o tempo, esse solo pulverizado pode ser compactado pelo tráfego de máquinas. A compactação do solo ocorre de maneira frequente em áreas que utilizam máquinas e implementos ou onde o pisoteio de animais é intenso, constituindo um dos mais sérios fatores de restrição ao desenvolvimento das plantas (CAMARGO; ALLEONI, 1997). Os níveis críticos de resistência para o crescimento radicular das plantas variam com o tipo de solo e com a espécie cultivada.

Os atributos físicos diretamente alterados com a compactação do solo são a densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, retenção de água no solo, condutividade hidráulica, resistência do solo à penetração, capacidade de infiltração e movimento de água no solo (ARAÚJO et al., 2013). Essas variáveis podem ser utilizadas para avaliação do solo quanto ao manejo e formação de camadas compactadas, sendo eficiente para validar se técnicas de mitigação são eficientes ou não.

O conhecimento da dinâmica da água no solo é outra ferramenta importante para avaliar o sistema de manejo executado em uma área. Isto porque ela está diretamente relacionada com a produção vegetal, tornando-se fundamental para decisões sobre o uso e manejo dos solos (CALHEIROS et al., 2009).

### **Área degradada**

Segundo o Decreto Federal 97.632/89 (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 1989), áreas degradadas são locais onde há danos ao meio ambiente causados por ações humanas, tendo como consequências a redução ou perda de suas propriedades e características naturais. Existem vários fatores que levam a degradação dos solos, que normalmente acontecem em duas fases, sendo a primeira denominada degradação agrícola e a segunda degradação biológica. O primeiro tipo de degradação consiste em um processo inicial, em que o sistema produtivo apresenta perda da produtividade econômica. Nessa situação há perdas devido à redução do potencial de produção das plantas cultivadas. E a degradação biológica consiste no processo final, no qual ocorre uma grande redução da capacidade de produção de biomassa vegetal (WADT et al., 2003).

Consideram-se degradadas, áreas que apresentam “distúrbios” como: mineração, processos erosivos, ausência ou diminuição da composição vegetal, deposição de lixo, superfície espelhada, compactação do solo, entre outros (ORTIS et al., 2012). Segundo

Martins (2010), área degradada é aquela que, após sofrer um forte impacto, perdeu a capacidade de retornar naturalmente ao estado original ou a um equilíbrio dinâmico, ou seja, perdeu a sua resiliência. Martins (2010) ressalva ainda que, este tipo de área quase ou não possui mais capacidade nenhuma de repor as perdas de matéria orgânica do solo, nutrientes, biomassa, banco de sementes, infiltrar e armazenar água, entre outras, ou quando é possível, o seu retorno ao estado anterior pode ser extremamente lento, sendo necessário o uso de ações antrópicas.

A utilização dos recursos naturais de forma inadequada, geralmente dá lugar a um sistema ecológico não sustentável. Com isso, solos utilizados intensamente e de forma inadequada, são levados à degradação (BONINI et al., 2015). A definição de degradação do solo está associada à própria definição de qualidade do solo. Doran e Parkin (1994) definem a qualidade do solo, como sendo a capacidade em manter a produtividade biológica, a qualidade ambiental e a vida vegetal e animal saudável na face da terra. O uso correto do solo traz sustentabilidade ao sistema e evita a degradação do solo.

A degradação da qualidade ambiental é decorrente, principalmente, da falta de planejamento para o uso e os fins dos recursos naturais. Ela é uma alteração adversa das características do meio ambiente, em que a produtividade e as funções ecológicas devem ser recuperadas, ainda que para um estado diferente do original (BRASIL, 1981; BRASIL, 2000; SOUZA; PIÑA-RODRIGUEZ, 2013). Quando essa degradação ambiental ocorre, além da capacidade natural de regeneração, é desencadeada uma relação de desequilíbrio no ecossistema (DUARTE et al., 2017).

É importante ressaltar que, independentemente da ausência de avaliações exatas a respeito da extensão de áreas degradadas no Brasil, todas as estimativas apontam que o desmatamento e as atividades agropecuárias são os principais fatores de degradação dos nossos solos. O impacto causado por obras de engenharia (estradas, ferrovias, barragens etc.), por atividades de mineração a céu aberto e por algumas atividades industriais, certamente sensibiliza a população de modo geral, que tende a atribuir a esses fatores a responsabilidade maior pela degradação dos solos (TAVARES, 2015).

A degradação física do solo ocorre devido às alterações nas características relacionadas ao arranjo das partículas do solo (KOBAYAMA et al., 2001). Ou seja, uma das principais causas da deterioração do solo é a modificação dos seus agregados (LEPSCH, 2010). Os indicadores físicos da qualidade do solo estão diretamente relacionados ao pleno desenvolvimento das plantas (REICHERT et al., 2003; BLANCO-CANQUI; RUIS, 2018). Tendo isto em vista, é importante o entendimento de que a

utilização de cada tipo de solo necessita do conhecimento de suas características físico-químicas e de suas potencialidades e restrições (MANFREDINI et al., 2009; BLANCO-CANQUI; RUIS, 2018).

### **Recuperação de solos degradados**

A legislação federal brasileira menciona que o objetivo da recuperação é o “retorno do sítio degradado a uma forma de utilização, de acordo com um plano pré-estabelecido para o uso do solo, visando à obtenção de uma estabilidade do meio-ambiente” (Decreto Federal 97.632/89).

A recuperação de áreas degradadas pode ser definida como um processo de reversão dessas áreas em solos produtivos e autossustentáveis, de acordo com uma proposta preestabelecida de uso do solo (IBAMA, 1990). É também, um processo em constante aprimoramento que exige conhecimento, tecnologia e permanente monitoramento. Trata-se de criar condições para o restabelecimento de complexas redes de relações ecológicas entre solo, plantas, animais e microclima, que permitam o reequilíbrio dinâmico da natureza em áreas hoje desprovidas dessas condições (REIS; ZAMBONIM; NAKAZONO, 1999).

Tendo em vista a necessidade de um estudo aprimorado nos mais distintos indicadores de qualidade de um solo, estando ou não degradados, são utilizadas tecnologias e ferramentas para realizar os diagnósticos, e assim, encontrar possíveis soluções para os mais variados problemas encontrados na qualidade do solo. Desta forma, o monitoramento da qualidade do solo por meio de indicadores físicos é importante para manutenção e avaliação da sua sustentabilidade. Permitindo assim, a obtenção de rendimentos economicamente viáveis, sem degradar os solos (MANFREDINI et al., 2009; SILVA et al., 2011). Dentre os indicadores mais utilizados, destacam-se a densidade do solo, a porosidade, a resistência do solo à penetração (RP) e a infiltração de água no solo.

Deve-se destacar que, muitos indicadores estão amplamente relacionados. Como exemplo tem-se o processo de compactação do solo, onde se verifica o aumento da densidade do solo, que acontece devido ao rearranjo das partículas e redução da porosidade (LANGMAACK et al., 2002). Esse indicador pode ser avaliado por meio da resistência do solo à penetração (RP), que permite a identificação de camadas compactadas, bem como mudanças nas propriedades físicas do solo ao longo dos diferentes horizontes (REICHERT et al., 2010). A avaliação da RP auxilia na

determinação da vulnerabilidade dos solos a processos erosivos (ROSS; FIERZ, 2009) na medida em que a presença de uma camada compactada em subsuperfície altera a capacidade de infiltração, resultando no aumento do volume do escoamento superficial.

### **Resistência do solo à 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, estudo da ação de implementos agrícolas 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 et al., 2002).

Para Vaz, Primavesi e Patrizzi (2002) a resistência à penetração de um solo está diretamente ligada à umidade do mesmo, sendo uma correlação é negativa entre a RP e a umidade do solo. Ou seja, a medida em que há uma maior umidade haverá uma menor RP. Em condição de baixa umidade, a água encontra-se num maior estado de tensão nos poros do solo. Com o aumento do teor de água, decresce a atuação das forças de coesão entre as partículas do solo e o atrito interno, provocando, então, a diminuição da RP (CUNHA et al., 2002).

O penetrômetro de impacto é um instrumento importante na avaliação da compactação do solo. Porém os resultados obtidos por meio dele devem ser inseridos em um contexto maior de avaliação da compactação, com o histórico de produtividade da propriedade em diferentes glebas e abertura de trincheiras para a verificação do sistema radicular (TORRES; SARAIVA, 1999). 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 afirmam que quanto mais compactado o solo, menor o potencial de infiltração.

### **Infiltração de água no solo**

A infiltração é o processo pelo qual a água que atinge a superfície do solo é separada em dois importantes processos: a água que penetra no solo, preenchendo os microporos, atravessando o perfil e lixiviando solutos; e a água que escorre superficialmente, potencialmente contribuindo para a erosão (SILVA et al., 2006). Para

Liu et al. (2011) a infiltração de água no solo é um processo físico de extrema complexidade, dado que o solo é um meio heterogêneo, com ampla variabilidade espacial, apresentando características que sofrem alterações diferenciadas no tempo e no espaço.

De acordo com Bono et al. (2012), a taxa de infiltração de água é a característica que melhor reflete a qualidade estrutural de um solo. Uma boa qualidade estrutural determina, além de maior infiltração, uma redução do escoamento superficial e, em consequência, um melhor controle da erosão. A taxa de infiltração é um fator de grande importância prática nas relações água-solo-planta-atmosfera, visto que, muitas vezes, permite determinar a precipitação efetiva infiltrada e o escoamento superficial do solo. Nos diversos sistemas de plantio, sua influência irá variar de acordo com o conteúdo inicial de umidade, da permeabilidade, das características físicas e químicas do solo, bem como da quantidade de matéria orgânica e do grau de compactação do mesmo (MARCHINI, 2015).

Além dos processos de compactação, fatores como a natureza e propriedades do solo, o manejo empregado e fatores externos, como a chuva, umidade antecedente à chuva, histórico de uso e manejo, cobertura vegetal, atividade biológica, rugosidade superficial e declividade, afetam a infiltração da água no solo (REICHERT et al., 1992; LANGMAACK et al., 2002). Neste sentido, os testes de infiltração indicam a capacidade do solo em receber e armazenar determinado volume de água ao longo do tempo (ROSS; FIERZ, 2009), refletindo características como o tamanho e a distribuição dos poros, estabilidade dos agregados e selamento superficial do solo (REICHERT et al., 2009).

A melhoria nas condições de infiltração de água no solo ocasiona uma redução nos processos erosivos e estimula a recarga dos aquíferos subterrâneos. Também reduz as vazões máximas dos cursos d'água, sendo um componente determinante do balanço hídrico na zona radicular da cultura (CECÍLIO et al., 2007). Este processo é influenciado por grande número de variáveis relativas ao solo e às condições a que ele é submetido (PRUSKI et al., 1997). Dependendo principalmente das condições relacionadas com a superfície e com o preparo e manejo do solo.

O manejo do solo é apresentado como sendo o principal responsável por alterações na taxa de infiltração. A atividade biológica do solo, a cobertura vegetal, a estrutura e sua estabilidade, o padrão de poros e a rugosidade superficial, influem fortemente sobre este parâmetro. A textura do solo, sobretudo o silte, afeta a desagregação e o salpicamento das partículas, provocado pelo impacto das gotas de chuva. Isso contribui para uma redução da porosidade da camada superficial do solo (MARTINS; SANTOS, 2017).

Pode-se acrescentar ainda que em SPD os bioporos exercem forte influência sobre a taxa de infiltração, pois são longos e contínuos e, assim, de alta efetividade para a transmissão de água e ar (OADES, 1993). Porém, podem ocorrer reduções da taxa de infiltração em decorrência do adensamento de partículas e do aumento do nível de compactação nas camadas superficiais do solo (PINHEIRO et al., 2009).

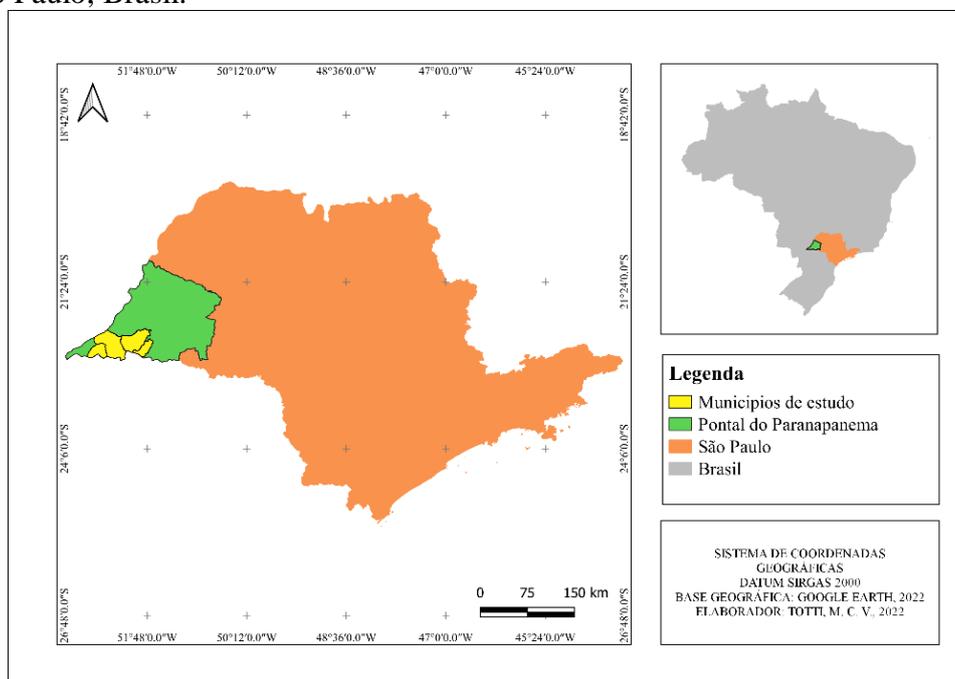
### 3. OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a resistência do solo a penetração e a taxa de infiltração de água em solos sob diferentes usos, na região do Pontal do Paranapanema, no Estado de São Paulo.

### 4. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido na região do Pontal do Paranapanema, nos municípios de Teodoro Sampaio, Euclides da Cunha Paulista, Sandovalina e Mirante do Paranapanema, localizados no extremo oeste do estado de São Paulo, na região Sudeste do Brasil (Figura 1).

**Figura 1:** Localização da área de estudo na região do Pontal do Paranapanema, no Estado de São Paulo, Brasil.

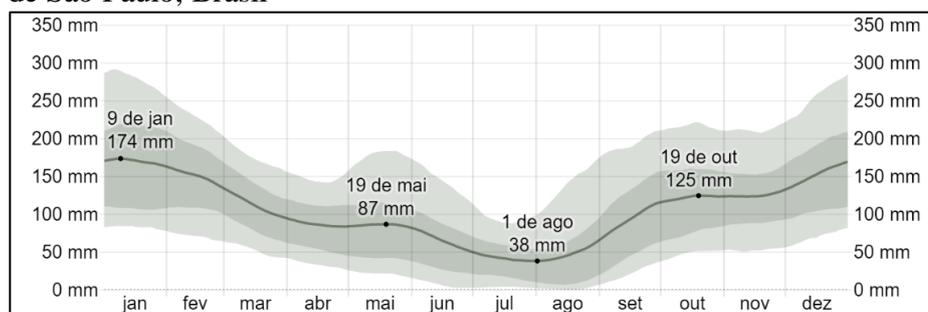


Fonte: TOTTI (2022).

O Pontal do Paranapanema está situado em uma área de transição climática, apresentando um período seco no inverno e um período chuvoso durante o verão (Figura

2). O clima é predominantemente continental e, segundo Köppen, há dois tipos climáticos na região: Aw e Cwa. Ao longo do ano, em geral a temperatura varia de 16 °C a 33 °C, e raramente é inferior a 11 °C ou superior a 37 °C. A região está inserida no bioma Mata Atlântica, e a altitude máxima não passa de 500 m acima do nível do mar.

**Figura 2:** Precipitação média mensal, em mm, na região do Pontal do Paranapanema, no Estado de São Paulo, Brasil



Fonte: TOTTI (2022).

Os solos predominantes na região, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (SANTOS et al., 2018), foram classificados como Latossolo Vermelho e Argissolo Vermelho, conforme Tabela 1.

**Tabela 1:** Caracterização da área de estudo localizada nos municípios de Teodoro Sampaio, Euclides da Cunha Paulista, Sandovalina e Mirante do Paranapanema, SP.

Ponto	Bacia	Solo	Uso	Relevo
1	Lago Azul	LV a/m	Cana	O S
2	Lago Azul	PV a/m	Restauração	O S
3	Lago Azul	LV ma	Restauração	O S
4	Lago Azul	PV a/m	Cana	O S
5	Lago Azul	LV a/m	Mandioca	O S
6	Faz. Rosanela	PV a/m	Fragmento	P
7	Faz. Rosanela	PV a/m	Mandioca	O S
8	Faz. Rosanela	LV ma	Anual	O S
9	Faz. Rosanela	PV a/m	Anual	O S
10	Faz. Nova Rosanela	LV ma	Anual	O S
11	Faz. Nova Rosanela	LV a/m	Cana	O S
12	Faz. Nova Rosanela	PV a/m	Cana	O S
13	Faz. Nova Rosanela	LV a/m	Fragmento	P
14	Morro do Diabo	PV a/m	Mata	P
15	Nelore	PA a/r	Restauração	O S
16	Nelore	LV m	Pastagem	O S
17	Nelore	PA a/r	Restauração	O S
18	Faz. Ponte Branca	LV ma	Pastagem	O S
19	Faz. Ponte Branca	PV a/m	Pastagem	O

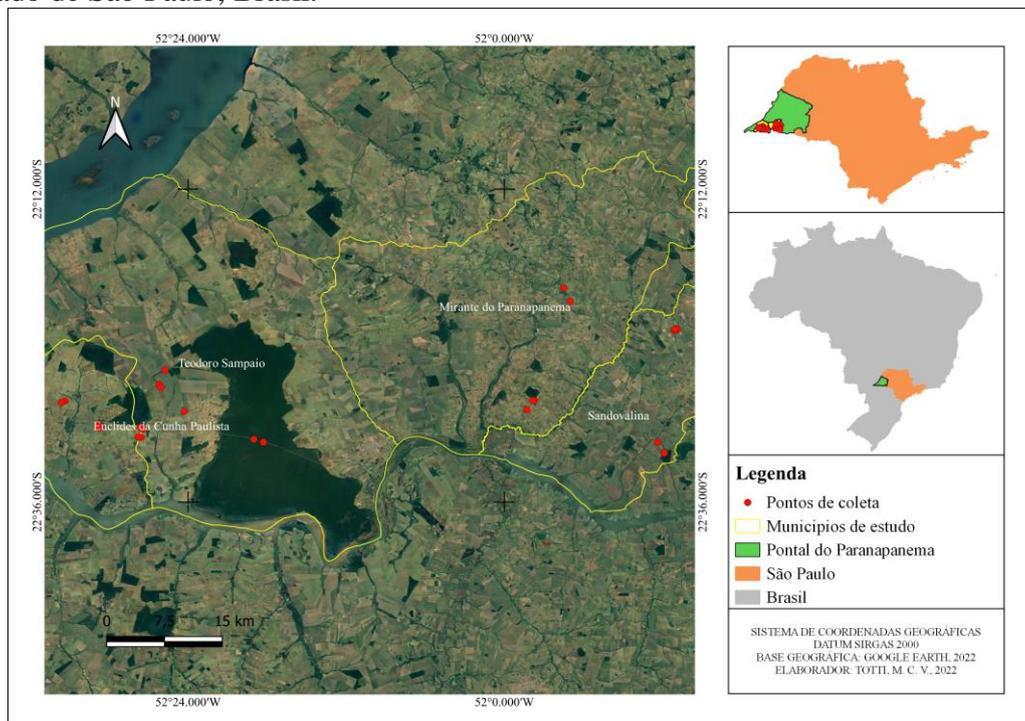
LV = Latossolo Vermelho; LA Latossolo Amarelo; PV = Argissolo Vermelho; PA = Argissolo Amarelo m = textura média; a/m = textura arenosa na superfície e média na subsuperfície; a/r = textura arenosa na superfície e argilosa na subsuperfície; ma = textura média alta; mb = textura média baixa; O = Ondulado; O S = Ondulado Suave; P = Plano.

A área de estudo faz parte de um projeto de reflorestamento da empresa China Three Gorges Brasil Energia Ltda (CTB Brasil), gerenciado pelo Instituto de Pesquisas Ecológicas (IPÊ). O projeto atende diferentes condicionantes ambientais relacionadas à recuperação da mata ciliar de Unidades de Conservação nos Estados de São Paulo e Paraná.

### Delineamento Experimental

A área de estudo conta com 19 pontos amostrais (Figura 3), distribuídos em 6 bacias hidrográficas, nos municípios de Teodoro Sampaio, Euclides da Cunha Paulista, Sandovalina e Mirante do Paranapanema.

**Figura 3:** Localização dos pontos amostrais na região do Pontal do Paranapanema, no Estado de São Paulo, Brasil.

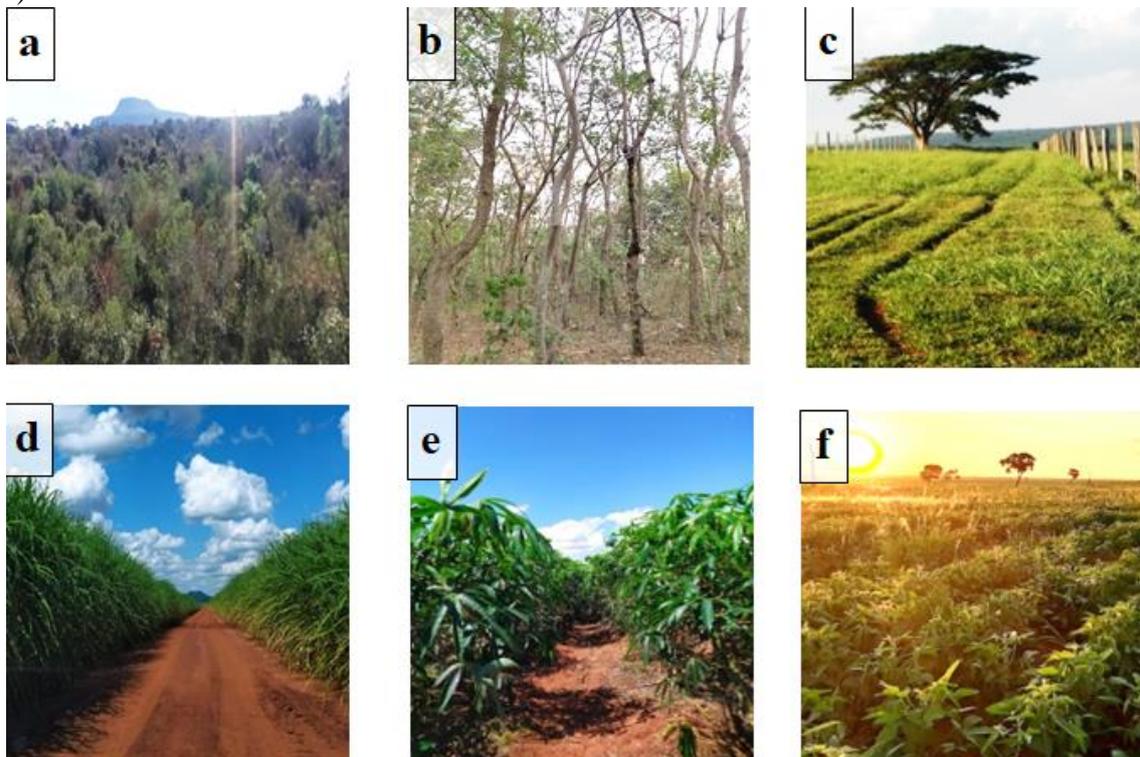


Fonte: TOTTI (2022).

Foram considerados os usos e os tipos de solo predominantes em cada bacia para se obter os usos do solo mais comuns na região. Em cada combinação solo vs uso, foram feitas análises de taxa de infiltração de água e resistência do solo a penetração.

Os usos mais comuns na região foram separados em seis categorias, sendo fragmento de mata, restauração florestal, pastagem, cultivo de cana-de-açúcar, cultivo de mandioca e cultivo anual, este representado pelos cultivos de soja e milho, conforme Figura 4.

**Figura 4:** Usos predominantes do solo na região do Pontal do Paranapanema: a) fragmento de mata, b) restauração florestal, c) pastagem, d) cana-de-açúcar, e) mandioca, f) cultivo anual.



Fonte: TOTTI (2022).

Para seguir um padrão de homogeneidade, as áreas descritas como fragmento de mata são consideradas áreas nativas, sem envolvimento antrópico relevante; as áreas de restauração florestal são as que o processo de restauração ocorreu há mais de cinco anos; as áreas de pastagem são aquelas com pouca manutenção de fertilidade e reforma, porém com medidas de controle de erosão; as áreas de cultivo de cana-de-açúcar e de mandioca são aquelas produzidas em larga escala; e as áreas de cultivo de milho e soja implantadas por meio do cultivo convencional.

#### **Avaliação para determinação de resistência a penetração e infiltração de água no solo**

Para o monitoramento da resistência a penetração e infiltração de água no solo foram realizadas avaliação em campo nos locais definidos, em fevereiro de 2022.

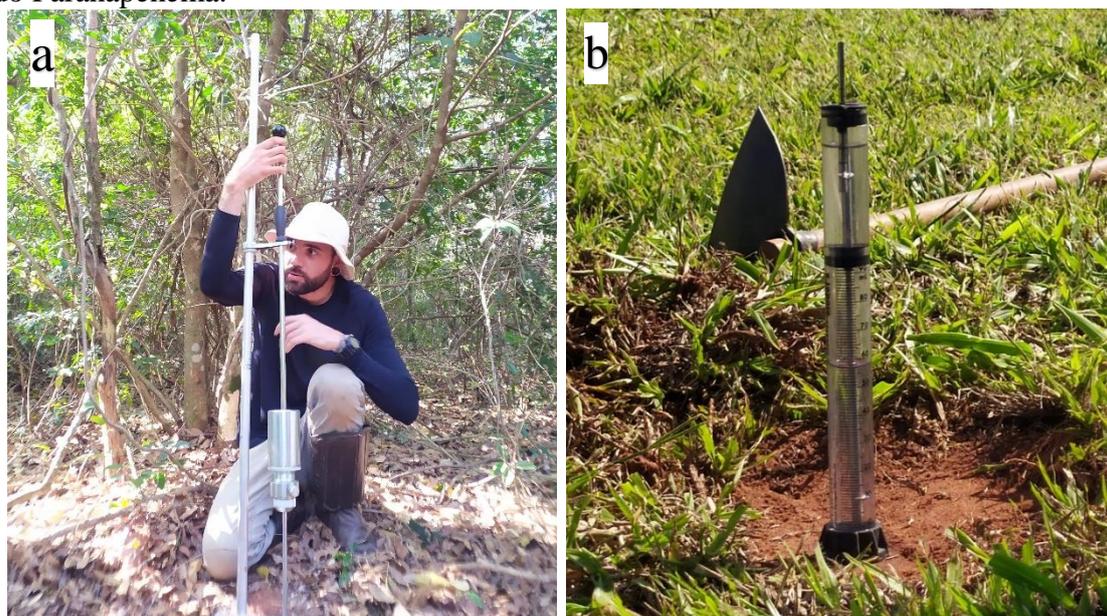
Os valores dos atributos físicos para cada camada de solo foram submetidos à análise de variância utilizando-se o software R (R CORE TEAM, 2018). Foi aplicado o teste scott-knott para significância e o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) para comparação de médias.

## Atributos do solo

**Resistência do solo à penetração:** a resistência do solo à penetração (RP) foi determinada com penetrômetro de impacto Stolf (Figura 5a) até a profundidade de 0,60 m, tomando-se 10 repetições por ponto amostral.

**Infiltração:** Foram realizadas em três repetições por ponto amostras a taxa de infiltração de água no solo, utilizando o Infiltrômetro Mini Disk (ZANG, 1997). O mini infiltrômetro foi colocado na superfície do solo, sobre a superfície do solo, garantindo que houvesse um bom contato hidráulico entre o disco e o solo (Figura 5b). As leituras foram realizadas de 30 em 30 segundos, até obter infiltração constante, sendo o aparelho ajustado para uma sucção  $h_0$  igual a 2 cm.

**Figura 5:** Medição da resistência do solo à penetração (a), e análise de velocidade de infiltração de água no solo, por meio de infiltrômetro Mini Disk (b), na região do Pontal do Paranapanema.



## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Resistência à penetração

Na Tabela 2 estão apresentados os valores de resistência à penetração para os diferentes usos dos solos na região do Pontal do Paranapanema. Observa-se que o comportamento do solo diverge estatisticamente entre os sistemas de uso do solo em todas as profundidades. Apesar disso, o fragmento se mostrou o mais uniforme em praticamente

todo o perfil, em ambos os solos analisados, com os menores valores encontrados. Já o maior valor de resistência à penetração encontrado (9,78 MPa) foi apresentado pelo uso pastagem, em área de Argissolo, na profundidade 5-10 cm.

**Tabela 2:** Resistência do solo à penetração em solos sob diferentes usos, na região do Pontal do Paranapanema, SP.

Prof. (cm)	Latossolo						Argissolo					
	Frag.	Rest.	Past.	Cana	Man.	Anu.	Frag.	Rest.	Past.	Cana	Man.	Anu.
	----- (MPa) -----											
0-5	0,60 Cc	0,58 Cc	0,88 Fc	1,34 Eb	0,56 Dc	1,2 Db	0,67 Bc	0,67 Cc	3,77 Da	1,44 Db	0,56 Dc	0,56 Cc
5-10	1,55 Bd	2,78 Bc	3,55 Cc	3,45 Cc	0,65 Dd	4,66 Ab	0,98 Bd	2,95 Bc	9,78 Aa	4,20 Bb	0,85 Dd	1,49 Cd
10-15	2,03 Ac	4,60 Ab	4,77 Bb	4,77 Bb	1,08 Cd	5,31 Ab	1,63 Ad	5,41 Ab	7,88 Ba	4,48 Bb	1,15 Cd	2,80 Ac
15-20	1,90 Ad	5,00 Ab	5,14 Ab	5,83 Aa	2,12 Bd	4,68 Ab	1,87 Ad	5,16 Ab	6,04 Ca	4,81 Ab	1,15 Cd	3,64 Ac
20-25	1,88 Ac	4,87 Ab	4,52 Bb	6,02 Aa	2,47 Ac	4,15 Ab	2,09 Ac	4,81 Ab	4,92 Db	5,29 Aa	1,50 Cc	4,12 Ab
25-30	1,78 Ad	4,60 Ab	3,77 Cb	5,73 Aa	2,64 Ad	3,47 Bc	1,91 Ad	4,90 Aa	4,22 Db	5,27 Aa	2,31 Ad	4,80 Aa
30-35	1,72 Ae	4,11 Ab	3,11 Dc	5,32 Aa	2,61 Ad	3,27 Bc	1,77 Ae	5,29 Aa	3,65 Dc	5,19 Aa	2,55 Ad	4,70 Ab
35-40	1,66 Bd	3,43 Bb	2,81 Db	4,64 Ca	2,47 Ac	3,14 Bb	1,75 Ad	5,16 Aa	3,09 Eb	4,50 Ba	2,43 Ac	4,37 Aa
40-45	1,58 Bd	3,02 Bc	2,62 Ec	4,07 Cb	2,32 Ac	2,70 Cc	1,69 Ad	5,04 Aa	2,74 Ec	4,09 Bb	2,23 Ac	3,90 Ab
45-50	1,57 Bd	2,87 Bc	2,86 Dc	3,46 Cb	2,12 Bd	2,63 Cc	1,61 Ad	4,95 Aa	2,63 Ec	3,63 Bb	1,91 Bd	3,73 Ab
50-55	1,52 Bd	2,72 Bc	2,46 Ec	3,05 Db	2,15 Ad	2,33 Cc	1,61 Ad	4,98 Aa	2,47 Ec	3,11 Cb	1,92 Bd	3,01 Bb
55-60	1,53 Bc	2,56 Bb	2,40 Eb	2,70 Db	1,95 Ac	2,27 Cb	1,61 Ac	5,00 Aa	2,29 Eb	2,67 Cb	1,91 Bc	2,47 Bb

Legenda: Frag. = Fragmento de mata; Rest. = Restauração florestal; Past. = Pastagem; Cana = Cultivo de cana-de-açúcar; Man. = Cultivo de mandioca; Anu. = Cultivo anual. Médias seguidas da mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente entre as camadas do solo, e médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem estatisticamente entre os usos do solo.

Os menores resultados de resistência à penetração obtidos foram verificados nas áreas de cultivo de mandioca (0,56 MPa) e cultivo anual (0,56 MPa), ambos em Argissolo. Os sistemas de restauração, cultivo anual, cana-de-açúcar e pastagem apresentaram valores mais elevados, quando comparados com os demais usos, em todas as profundidades avaliadas. A compactação do solo nas diferentes profundidades é caracterizada por valores maiores que 2,0 MPa em Latossolo, limite crítico sugerido por Tormena (1998). Limite este, que pode influenciar o desenvolvimento das culturas. Segundo Voguel e Fey (2016), isso ocorre devido ao intenso tráfego de máquinas agrícolas em áreas cultivadas e ao intenso pisoteio animal nas áreas de pastagem, fazendo com que haja o aumento dos valores da resistência do solo à penetração.

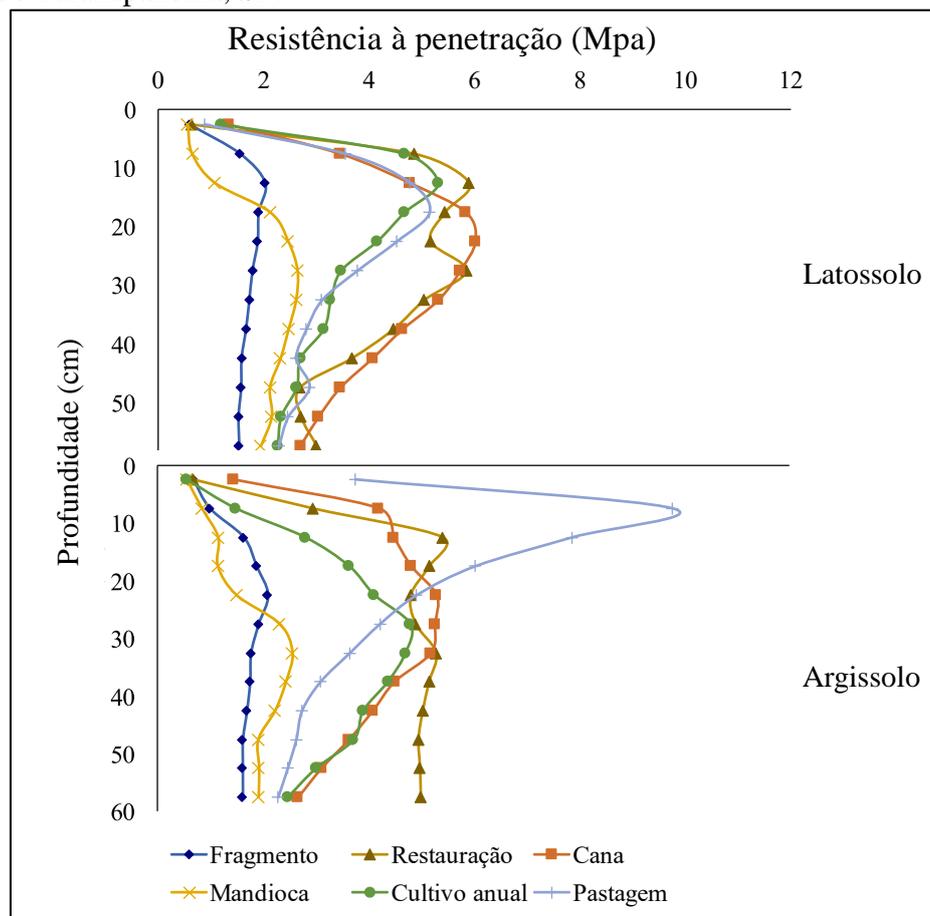
A caracterização dos efeitos do uso do solo na área de estudo indica um pico de resistência à penetração na profundidade de 5-10 cm até a camada 25-30 cm. Neste contexto, e de acordo com Tormena (1998), todos os sistemas de manejo estudados, com exceção do fragmento em ambos os solos, induziram à formação de camadas compactadas a partir da profundidade 0-10 cm, em níveis que possivelmente afetam o desenvolvimento radicular das culturas. Muitos fatores influenciam na determinação da resistência à penetração (RP), tais como a textura do solo, umidade, a mineralogia da fração argila, a presença de pedras, a densidade e a estrutura do solo, a porcentagem de matéria orgânica no solo (MOS) e os diferentes manejos empregados (SILVEIRA et al., 2010; TAVARES et al., 2014).

Para o sistema de pastagem (Figura 6), as camadas mais compactadas foram observadas nas profundidades até 20 cm. Nas camadas a partir de 20 cm houve redução nos valores de resistência à penetração. Estes dados corroboram com Senra et al. (2007) e Magalhães et al. (2009), os quais verificaram em seus estudos, uma alta resistência nas primeiras camadas do solo, principalmente nos perfis de 0-5 cm até 25-30 cm. Torres et al. (2012) comparando a resistência mecânica do solo à penetração em área de pastagem de Tifton 85 com e sem irrigação, também verificaram elevados valores de resistência nas camadas de 0-5 cm e 15-20 cm em áreas não irrigadas, semelhantes aos obtidos neste estudo.

Esta compactação é proveniente da ausência de revolvimento nesta camada e do efeito do pisoteio animal (LIMA et al., 2013). Isto se deve à elevada pressão exercida pelo casco do animal sobre o solo, em função da elevada massa corporal aplicada em uma pequena área de contato (IMHOFF et al., 2000). Este argumento foi comprovado por estudos realizados por Trein et al. (1991) e Lanzasova et al. (2007) os quais observaram

que a alta taxa de lotação de animais em curto espaço de tempo promove a compactação na camada superficial do solo. De acordo com Debiasi e Franchini (2012), o comportamento da RP está relacionado com a pressão de pastejo, de modo que pouca carga animal resulta no aumento da compactação até 10 cm e maior carga animal resulta no aumento da compactação a partir dos 10 cm.

**Figura 6:** Resistência do solo à penetração em solos sob diferentes usos, na região do Pontal do Paranapanema, SP.



Pode-se verificar ainda na Figura 6, que o Argissolo nas camadas mais profundas (a partir de 40 cm) apresenta compactação de significativamente maior na área de restauração em relação aos demais usos em estudo. Esse resultado, segundo White (1975) pode estar relacionado ao crescimento radicular mais pronunciado nesta camada, o que tende a comprimir o solo entre as raízes e assim formar maior compactação. Tal sugestão é reforçada por autores como Reichert et al. (2005), que destacam que a expansão radial e axial das raízes provoca a compactação do solo, por meio das forças mecânicas aplicadas pelas raízes no solo.

A RP foi menor para o uso fragmento, em todas as profundidades avaliadas (Figura 6), com valores inferiores a 2,0 MPa em ambos os solos. A justificativa para estes resultados, é que em solo de mata há uma alta quantidade de bioporos oriundos da atividade biológica, aliado a manutenção das características estruturais do solo como a alta porosidade e a baixa densidade do solo (ZWIRTES et al., 2013), o que de certa forma, favorece uma menor RP.

De forma semelhante, Silva e Cabeda (2005), verificaram que os atributos relacionados à resistência à penetração do solo foram influenciados pelos sistemas de uso e manejo, sendo os solos sob fragmento os de menor resistência à penetração. Isso se deve ao fato de que o fragmento apresenta naturalmente uma melhor estruturação do solo devido ao equilíbrio que este sistema se encontra e, com isso, proporciona as menores resistências (VOGUEL; FEY, 2016).

No sistema cultivo anual sob Latossolo verifica-se que a região de maior resistência à penetração esteve nas camadas de 5-25 cm de profundidade. Esse fato se deve ao uso frequente de implementos agrícolas trabalharem sempre numa mesma profundidade, o que pode resultar no aumento da compactação do solo (CAMPOS et al., 1995). Outro aspecto que pode resultar em maiores valores de RP, em áreas com lavouras, segundo Correa et al. (2014), é a presença de um sistema radicular mais desenvolvido até a profundidade de 15 cm. Com relação à redução da resistência do solo à penetração a partir de 20 cm, este é um fator atribuído ao não revolvimento do solo na implantação da cultura, fazendo com que não houvesse o efeito de “pé de grade”, o que pode levar a uma menor compactação nesta camada a partir de 20 cm de profundidade.

O cultivo anual, nas camadas de 0-5 e 5-10 cm em Argissolo, apresentou valores menores de resistência à penetração, comparativamente aos resultados encontrados no Latossolo, evidenciando o possível efeito desagregador do solo ocasionado pelos implementos agrícolas, o que, de certa forma, aumenta a porosidade total desse perfil e melhora as condições de desenvolvimento radicular (SILVA; CABEDA, 2005)

No Argissolo, a camada compactada se apresenta nas profundidades de 10-45 cm. Fato a ser considerado para este comportamento é a abertura do sulco nas entrelinhas da cultura, para aplicação do composto, que pode ter ocasionado a compactação no fundo do mesmo (IBIAPINA et al., 2014). Além disso, a camada compactada do Argissolo está mais em profundidade devido ao gradiente textural do Argissolo, onde faz que que apresente maior quantidade de argila em profundidade do que em superfície (SANTOS et al., 2018), fazendo com que a camada compactada apareça nesta profundidade.

Os valores de RP apresentados pelo cultivo anual e de cana são superiores a 3,0 MPa, a partir da camada 5-10, se estendendo até a camada de 55-60 cm. Segundo Debiasi et al. (2010) cerca de 45% das áreas cultivadas com culturas anuais no Paraná, apresentam camada com grau de compactação variável, geralmente localizada entre 10 e 20 cm de profundidade, impedindo que as culturas expressem seu potencial produtivo. Valores de RP na faixa de 1,19 MPa à 1,5 MPa em Argissolos, e de 2,1 MPa à 3,2 MPa em Latossolos Vermelho têm sido propostos como críticos ao crescimento radicular de culturas anuais, sendo seu efeito mais prejudicial quando o solo se encontra com baixa umidade (SUZUKI et al., 2007).

Secco (2009), estudando o efeito do estado de compactação do solo em um Latossolo Vermelho Distrófico, encontrou resultados em que a RP na faixa de 2,65 a 3,26 MPa ocasionaram decréscimos na produtividade de trigo (18,3%), milho (34,0%) e soja (24,3%). Segundo Beutler et al. (2006) um solo com RP a partir de 2,24 MPa, em um Latossolo Vermelho com 330 g kg<sup>-1</sup> de argila, apresentou decréscimo de 32% na produtividade da soja.

Nos sistemas implantados com cultivo de mandioca houve menor valor de RP quando comparados com os demais usos, com exceção do fragmento. Possivelmente, isso ocorre devido a formação do sistema radicular da mandioca, que quando removido, em fase de colheita, pode desestruturar o solo, ocasionando na modificação da capacidade de infiltração de água no solo (TORMENA et al., 2002).

Há também uma tendência de redução da resistência à penetração em profundidade, o que se deve ao efeito do secamento do solo em superfície. Com o aumento da umidade em profundidade ocorre, simultaneamente, a redução da RP (CAMPOS et al., 2012).

### **Infiltração**

Os resultados de velocidade de infiltração de água no solo estão apresentados na Tabela 3. A forma como a infiltração apresentou nos perfis das diferentes condições de uso corrobora com a assertiva que o manejo favorece modificações de ordem física, modificando variáveis relacionadas a drenagem e organização de partículas do solo, exercendo influência na infiltração e movimentação de água no mesmo.

A infiltração de água indica diferenças no comportamento hidrodinâmico do solo em função da alteração de sua estrutura (SOUZA; ALVES, 2003). Considerando-se que a infiltração de água reflete as condições físicas do solo, como estrutura, porosidade e ausência

de camadas compactadas, deduz-se que nos solos estudados elas sofreram modificações acentuadas em função do manejo.

**Tabela 3:** Velocidade de infiltração de água em solos sob diferentes usos, na região do Pontal do Paranapanema, SP.

<b>Fragmento</b>	<b>Restauração</b>	<b>Pastagem</b>	<b>Cana</b>	<b>Mandioca</b>	<b>Anual</b>
<b>Latossolo</b>					
0,83 Bd	3,58 Ac	4,42 Ab	3,15 Bc	2,11 Bd	6,50 Ab
<b>Argissolo</b>					
3,17 Ac	4,72 Ab	2,67 Bc	5,17 Ab	10,5 Aa	2,53 Bc

Médias seguidas da mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente entre os tipos de solo, e médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem estatisticamente entre os usos do solo.

Os valores de infiltração de água em Argissolo sob os usos de cultivo anual e pastagem, obtiveram valores menores em relação ao Latossolo. Para Streck et al. (2008), as limitações dos Argissolos estão relacionadas com a drenagem e com a mudança textural abrupta. Os Argissolos, de maneira geral, apresentam elevado gradiente textural e menor porosidade no horizonte B quando comparados aos Latossolos (SANTOS et al., 2018). A maior concentração de argila em subsuperfície causa redução da velocidade de infiltração em relação aos horizontes mais superficiais (BORTOLUZZI et al., 2008).

A área de Latossolo sob o cultivo anual apresentou o segundo maior valor de velocidade de infiltração (6,50 cm/h), isso pode ocorrer devido ao manejo do solo nestas áreas. Sarvasi (1994) estudando a dinâmica da água, erosão hídrica e produtividade das culturas em função do preparo do solo, observou que o cultivo anual apresentou resultados satisfatórios quanto a infiltração de água no solo.

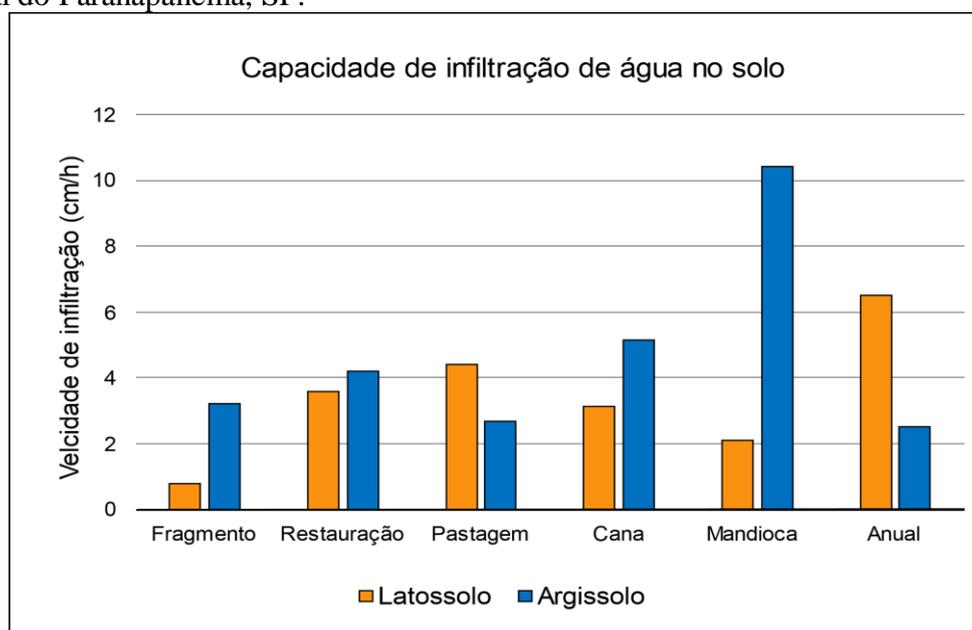
O uso do solo de mandioca, em Argissolo foi o que apresentou maior velocidade de infiltração entre os usos em estudo (10,5 cm/h). Isso pode ser explicado pela desestruturação do solo devido à colheita da mandioca, que provoca um aumento significativo na velocidade de infiltração de água no solo (TORMENA et al., 2002). Em geral, o revolvimento do solo aumenta a entrada de água no perfil devido a maior rugosidade na superfície, menor escoamento (MANCUSO et al., 2014).

Já nas áreas de Latossolo, sob este mesmo uso, a velocidade de infiltração foi menor. Os Latossolos, além de profundos, apresentam distribuição mais uniforme de argila ao longo do perfil, elevada estabilidade de agregados e baixo conteúdo de silte em relação à argila (KER, 1997).

As áreas de cana-de açúcar também apresentaram maiores valores de velocidade de infiltração de água no Argissolo. De acordo com Silva (2002), a decomposição das raízes das plantas após a colheita da cana forma canalículos no solo, aumentando a taxa de infiltração de água, melhorando sua estrutura pela adição de matéria orgânica, elevando a capacidade de retenção de água e redução da velocidade de escoamento da enxurrada.

As comparações feitas entre fragmento e os demais perfis analisados, apresentaram diferenças estatísticas significativas (Tabela 3), com exceção do cultivo de mandioca que mostrou resultados de infiltração próximos do fragmento, apresentando os mesmos valores referentes às variações estatísticas sob Latossolo. Observa-se também que o uso do solo com fragmento apresentou os menores valores de infiltração em relação às demais formas de uso (Figura 7). Este fato sugere que a acomodação de partículas ao longo dos anos, a grande adição de resíduos vegetais e a ausência de revolvimento podem se refletir em maior coesão entre as partículas e agregados do solo (SOANE, 1990).

**Figura 7:** Velocidade de infiltração de água em solos sob diferentes usos, na região do Pontal do Paranapanema, SP.



Nas áreas de pastagem foram observados baixos valores de infiltração, resultado também verificado por Pinheiro et al. (2009). Estudos de Miguel et al. (2009), realizados em área com pastagem perene, concluíram que a infiltração de água no solo diminui em função da intensidade de pisoteio. Para Minosso et al. (2017), apesar das áreas de pastagem manterem uma cobertura vegetal constante, grande parte dos macroporos são

preenchidos por raízes e o pisoteio dos animais acaba compactando as camadas superficiais do solo. Segundo Sousa (2003) as modificações na distribuição das partículas do solo provocam diminuição no tamanho dos poros, especialmente daqueles de tamanho maior (macroporos) o que produz uma redução na área da seção transversal para o fluxo de água, juntamente com percursos mais tortuosos para o movimento de fluido afetando, assim, o processo de infiltração, de acordo com os manejos utilizados.

## 6. CONCLUSÕES

A área de pastagem foi que apresentou maior valor de RP em superfície, diferente de fragmento que apresentou baixo valor de RP, constatando a qualidade física do solo sob fragmento, tendo-o como referência.

O cultivo de mandioca apresentou maior valor de infiltração, devido a formação radicular da planta, e ao revolvimento do solo em fase de colheita.

O intenso uso da terra, com poucas técnicas de manejo e conservação do solo, associado às limitações naturais dos solos acabam condicionando alterações das propriedades físicas dos solos e desencadeando compactação.

Desta forma, é fundamental a continuidade dos estudos da qualidade física dos solos, bem como dos processos de degradação na região do Pontal do Paranapanema.

## 7. REFERÊNCIAS

ALVES, M.C. **Recuperação do subsolo de um Latossolo Vermelho usado para terrapleno e fundação da usina hidrelétrica de Ilha Solteira**. Ilha Solteira: Universidade Estadual Paulista, (Tese de Livre Docência). 83p. 2001.

ARAÚJO, F.S.; SOUZA, Z.M.; SOUZA, G.S.; MATSURA, E.E. e BARBOSA, R.S. Espacialização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho em dois sistemas de colheita de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, p.651-660, 2013.

BARRETO, M. J. **Territorialização das agroindústrias canavieiras no Pontal do Paranapanema e os desdobramentos para o trabalho**. Presidente Prudente: Universidade Estadual Paulista/Faculdade de Ciências e Tecnologia, (Dissertação de Mestrado em Geografia), 244f, 2012.

BARTZ, M.L.C.; BROWN, G.G.; ROSA, M.G.; KLAUBERG-FILHO, O.; JAMES S.W.; DECAËNS, T.; BARETTA, D. Earthworm richness in land-use systems in Santa Catarina, Brazil. **Applied Soil Ecology**, 2014, 83, 59-70.

BASSO, C. J.; PIAS, O. H. C.; SANTI, A. L.; BIER, D. R.; PINTO, M. A. B. **Variabilidade da produção do Tifton 85 e sua correlação com os atributos físicos do solo.** Brazilian Journal of Agricultural Sciences/Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v. 9, n. 4, 2014. Disponível em: . doi: 10.5039/agraria.v9i4a4395

BELTRAME, L. F. S.; GONDIN, L. A. P.; TAYLOR, J. C. Estrutura e compactação na permeabilidade de solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 5, p. 145-149, 1981.

BERTOL, I. **Conservação do solo no Brasil: histórico, situação atual e o que esperar para o futuro.** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo.** 9.ed. São Paulo: Ícone, 2014.

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.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; SILVA, A.P.; BARBOSA, J.C. Intervalo hídrico ótimo e produtividade de cultivares de soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**: Campina Grande, v.10, n.3, p.639-45, 2006.

BLANCO-CANQUI, H. RUIS, S.J. No-tillage and soil physical environment. **Geoderma**, v.326, n.1, p.164-200, 2018.

BONINI, C.S.B., ALVES, M.C. e MONTANARI, R. Recuperação da estrutura de um Latossolo vermelho degradado utilizando lodo de esgoto. **Agrária (Recife. Online)**, 10 (1), 34-42. 2015.

BONO, J. A. M.; MACEDO, M. C. M.; TORMENA, C. A.; NANNI, M. R.; GOMES, E. P.; MÜLLER, M. M. L. Infiltração de água no solo em um Latossolo vermelho da região sudoeste dos cerrados com diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Brasília, v.36, p. 1845-1853, fev., 2012.

BORTOLUZZI, E.C.; PERNES, M.; TESSIER, D. **Mineralogia de partículas envolvidas na formação de gradiente textural em um Argissolo subtropical.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.32, p.997-1007, 2008.

BOUMA, J.; MCBRATNEY, A.B. Framing soils as an actor when dealing with wicked environmental problems. **Geoderma**, v. 200, n.1, p. 130-139, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.02.011>

BRADY, N.C.; WEIL, R. R. **The nature and properties of soils.** Upper Saddle River, Prentice Hall, Inc., 881 p. 1999.

BROWN, V.; BARBOSA, F. T.; BERTOL, I.; MAFRA, A. L.; MUZEKA, L. M. Efeitos no solo e nas culturas após vinte anos de cultivo convencional e semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v. 13, n. 1, p1-7, 2018.

CALHEIROS, C. B. M.; TENÓRIO, F. J. C.; CUNHA, J. L. X. L.; SILVA, E. T.; SILVA, D. F.; SILVA, J. A. C. Definição da taxa de infiltração para dimensionamento de sistemas

de irrigação por aspersão. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 6, p. 665-670, 2009.

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

CAMPOS, B.C. *et al.*: Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo do solo, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, p.121-126, 1995.

CAMPOS, M. C. C.; OLIVEIRA, I. A.; SANTOS, L. A. C.; AQUINO, R. E.; SOARES, M. D. R. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e umidade em áreas cultivadas com mandioca na região de Humaitá, AM. **Revista Agro@Mambiente**, Boa Vista, v. 8, n. 1, p. 09-16, abr. 2012.

CAMPOS, S. A.; SOUZA, C. M.; GALVÃO, J. C. C.; NEVES, J. C. L. Atributos químicos e físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico sob plantio direto. **Revista Agrarian**, v. 11, n. 41, p. 230-240, 2018.

CARDUCCI, C. E., OLIVEIRA, G. C., ZEVIANI, W. M., LIMA, V. M. P., SERAFIM, M. E. **Distribuição bimodal de poros em solos sob sistema de manejo conservacionista da cultura do café**. Engenharia Agrícola, 33 ( 2 ) ( 2013 ), pág . 291-302

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.

CHITERO, J. G. M.; BONINI NETO, A.; BONINI, C. S. B.; HEINRICHS, R.; SOARES FILHO, C. V.; MATEUS, G. P.; BISI, B. S.; COSTA, N. R.; PIAZENTIN, J. C.; MEIRELLES, G. C.; GABRIEL FILHO, L. R. A. Análise da recuperação física de solos degradados via Redes Neurais Artificiais por meio de uma interface gráfica. **Research, society and development**, v. 9, p. 257973719, 2020.

COSTA, M. A. T.; TORMENA, C. A.; LUGÃO, S. M. B.; FIDALSKI, J.; NASCIMENTO, W. G.; MEDEIROS, F. M. Resistência do solo à penetração e produção de raízes e de forragem em diferentes níveis de intensificação do pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 993-1004, 2012. Disponível em: . doi: 10.1590/S0100-0683 2012000300029

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.

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J.C. Atributos físicos do solo e produtividade da soja em sistema de integração lavoura-pecuária com braquiária e soja. **Ciência Rural**, Santa Maria-RS, v.42, n.7, p.1180-1186, 2012.

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

DORAN, J.W. e PARKIN, T.B. (1994) Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W. et al. (Eds) Defining soil quality for a sustainable environment. Madison: ASA / SSSA.

DUARTE, T. E. P. et al. O papel da cobertura vegetal nos ambientes urbanos e sua influência na qualidade de vida nas cidades. **Desenvolvimento em questão**, Ijuí, v. 40, p. 175-203, jan./mar.,2017.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA — EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Editora Atlas, 2013.

FERREIRA, M. M, FERNANDES, B., CURI, N. **Influência da mineralogia da propriedade das propriedades nas físicas de Latossolos da região sudeste do Brasil** Revista Brasileira de Ciência do Solo , 23 ( 1 ) ( 1999 ) , pp . 515-524

**Food and Agricultural Organization - FAO**. Disponível em Acesso em: 28 de abril de 2015

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.

FURQUIM, L. C., SOUZA, E. J., SILVA, N. F., NUÑEZ, D. N. C., CABRAL, J. S. R., SANTINI, J. M. K., LEÃO, B. C. S. e STONE, L. F. Infiltração de água e resistência do solo à penetração em sistemas de cultivo integrados em área de pastagem degradada. **Colloquium Agrariae**, 16 (5), 82-95. 2020.

GOEDERT, W. J. **Manejo dos solos do Cerrado do Brasil : Uma revisão** Journal of Soil Science , 34 , pp. 405-428. 1983.

GRAU, H.R.; MITCHELL A. Globalization and land-use transitions in Latin America. **Ecology and Society**, v.13, n.2, p.01-12, 2008. <https://doi.org/10.5751/ES-02559-130216>

GUEDES, E. M. S.; FERNANDES, A. R.; LIMA, H. V.; SERRA, A. P.; COSTA, J. R.; GUEDES, R. S. Impacts of different management systems on the physical quality of in amazonian oxisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1269-1277, 2012.

IBAMA. (1990). **Manual de Recuperação de áreas degradadas pela mineração**. IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente Brasília: IBAMA.

IBIAPINA, T. V. B.; SALVIANO, A. A. C.; NUNES, L. A. P. L.; MOUSINHO, F. G. de.; LIMA, M. G. de.; SOARES, L. M. S. Resistência à penetração e agregação de um Latossolo Amarelo sobmonocultivo de soja e de eucalipto no cerrado do Piauí. **Científica**: Jaboticabal, v.42, n.4, p.411-418, 2014

IMHOFF, S.; SILVA, A. P. DA; TORMENA, C. A. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília-DF, v. 35, n. 7, p. 1493-1500, 2000.

IORI, P.; DIAS JÚNIOR, M. de S.; SILVA, R.B. da. Resistência do solo à penetração e ao cisalhamento em diversos usos do solo em áreas de preservação permanente. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.28, n.1, p. 185-195, 2012.

Ker, J. C. **Latosolos do Brasil: Uma revisão**. Geonomos , 5 ( 1 ) ( 1997 ) , pp . 17-40

KLEIN, V. A. **Física do solo**.3. ed. Passo Fundo: UPF, 263p., 2014.

KOBYIAMA, M.; MINELLA, J.P.G.; FABRIS, R. Áreas degradadas e sua recuperação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.22, n.210, p.10-17, 2001.

KOPPEN, W. **Climatologia**: com um estúdio de los climas de la tierra. México. Ed. Fondo de Cultura Econômica. Version de Pedro R. Hendrichs, p. 487, 1948

LANGMAACK, M.; SCHRADER, S.; RAPP-BERNHARDT, U.; KOTZKE, K. Soil structure rehabilitation of arable soil degraded by compaction. **Geoderma**, v.105, n.1, p.141–152, 2002.

LANZANOVA, M. E.; NICOLOSO, R. S.; LOVATO, T.; ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C.; REINERT, D. J. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 31, n, 2, p. 1131-1140, 2007.

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

LIMA, I. M. A.; ARAÚJO, M. C.; BARBOSA, R. S. Avaliação das propriedades físicas do solo em sistemas silvipastoris, região centro-norte, estado do Piauí. **Agropecuária Científica do Semiárido**, Campina Grande-PB, v. 9, n. 1, p. 117-124, 2013a.

LIU, H., LEI, T. W., ZHAO, J., YUAN, C.P., FAN, Y. T., QU, L. Q. Effects of rainfall intensity and antecedent soil water content on soil infiltrability under rainfall conditions using the run off-on-out method. **Journal of Hydrology**, v. 396. p. 24-32. 2011.

MAGALHÃES, W. Z.; CREMON, C.; MAPELI, N. C.; SILVA, W. M.; CARVALHO, J. M.; MOTA, M. S. Determinação da resistência do solo a penetração sob diferentes sistemas de cultivo em um Latossolo sob Bioma Pantanal. **Revista Agrarian**, Dourados-MS, v. 2, n. 6, p. 21-32, 2009.

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

MANFREDINI, S.; DIAS, S.M.F.; NETO, J.P.de Q.; OLIVEIRA, D.de.; FERREIRA, R.P.D. Técnicas em Pedologia. In: VENTURI, L.A.B. (org). **Praticando geografia**: técnicas de campo e laboratório. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

MANFREDINI, S.; DIAS, S.M.F.; NETO, J.P.de Q.; OLIVEIRA, D.de.; FERREIRA, R.P.D. Técnicas em Pedologia. In: VENTURI, L.A.B. (org). **Praticando geografia**: técnicas de campo e laboratório. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

MARCHINI, D. C.; LING, T. C.; ALVES, M. C.; CRESTANA, S.; SOUTO FILHO. S.

N.; ARRUDA, O. G. Matéria orgânica, infiltração e imagens tomográficas de Latossolo em recuperação sob diferentes tipos de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.19, n.6, p.574–580, 2015.

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 Iguazu**, v.6, n.4, p.28-40, 2017.

MARTINS, Fábio Pereira; SANTOS, Esmael Lopes. Taxa de infiltração da água e a resistência do solo a penetração sob sistemas de uso e manejo.

Martins, S. V. (2010). Recuperação de Áreas Degradadas: Ações em Áreas de Preservação Permanente, Voçorocas, Taludes Rodoviários e de Mineração. (p. 125). São Paulo-sp: Aprenda Fácil.

MIGUEL, F.R.M.; VIEIRA, S.R.; GREGO, C.R. Variabilidade espacial da infiltração de água em solo sob pastagem em função da intensidade de pisoteio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.11, p.1513-1519, 2009.

MILAGRES, R. S.; MACHADO, T. A.; VIEIRA, L. B.; FERNANDES, H. C. Avaliação dos atributos físicos do solo em áreas inclinadas com sistema de plantio direto. **Revista Ciência Agrícola**, v.16, n.3, p.57-63, 2018.

MINOSSO, J.; ANTONELI, V.; FREITAS, A.R. Variabilidade sazonal da infiltração de água no solo em diferentes tipos de uso na região sudeste do Paraná. **Geographia Meridionalis**, Pelotas, v.3, n.1 p.86–103, 2017.

NASCENTE, A. S.; KLUTHCOUSKI, J.; RABELO, R. R.; OLIVEIRA, P.; COBUCCI, T.; CRUSCIO, C. A. C. Desenvolvimento e produtividade de cultivares de arroz de terras altas em função do manejo do solo. **Revista Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 2, p. 186-192, 2011.

NUNES, M.R.; ES, H.M. VAN; SCHINDELBECK, R.; RISTOW, A.J.; RYAN, M. No-till and cropping system diversification improve soil health and crop yield. **Geoderma**, v.328, n.1, p.30-43, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.04.031>

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

OLDEMAN, L. R. The global extent of soil degradation. In: Soil Resiliense and sustainable Land Use. GREENLAND, D. J. e SZABOCLS, I (Eds), **Cab International**, Wallingford, UK. 1994. p.99-118.

OLDEMAN, R.T.A.; HAKKELING, W.G. SOMBROEK. **World map of the status of human-induced soil degradation: an explanatory note**. Wageningen, International Soil Reference and Information Centre; Nairobi, United Nations Environment Programme, 1991.

ORTIS, et al. **Gestão Ambiental e a Reflorestamento de Áreas Degradadas**. 2012. p. 8. IX Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia. Tema: Gestão, Inovação e Tecnologia para a Sustentabilidade. 2012.

PARROTTA, J. A.; KNOWLES, O. H.; WUNDERLE, JR., J. M. Development of

floristic diversity in 10- year-old restoration forests on bauxite mined site in Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v.99, p.21-42, 1997.

PEÑA, Y.A.; GOMES, A.S.; SOUZA, R. O. Influência de diferentes sistemas de cultivo nas propriedades físicas de um solo de várzea cultivado com arroz irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, n.3, p.517-523, 1996.

PEREIRA, L. S.; RODRIGUES, A. M. Sistemas de Manejo de Cultivo Mínimo e Convencional: Análise Temporal da Dinâmica Hidrológica do Solo e da Variação Produtiva em Ambiente Serrano. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 6, n. 6, p. 1658-1672, 2013.

PIMENTA, JOÃO PAULO. A apropriação do relevo no município de mirante do Paranapanema- SP: Lógica de ocupação entre indústria canavieira e as pequenas propriedades. **IX Simpósio Nacional de Ciência e Meio Ambiente – SNCMA – III CIPEEX**, 2018

PINHEIRO, A. TEIXEIRA, L. P; KAUFMANN, V. Capacidade de infiltração de água em solos sob diferentes usos e práticas de manejo agrícola. **Revista Ambiental e Água – Interdisciplinary Journal of Applied Science**: v.4, n.2, 2009.

Presidência da República (b). Lei n. 9.985, de 18 de julho de 2000. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, p. 1, 19 jul. 2000.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Decreto n. 3.420, de 22 de abril de 2000. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, p. 2, 22 abr. 2000.

Presidência da República. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, p. 16509, 02 set. 1981.

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.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J, Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: TORRADO-VIDAL, P.; ALLEONI, L. R. F.; COOPER, M.; SILVA, A. P. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. v. 5. p. 50-121.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria, v.14, n.27, p. 29-48, 2003.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; SUZUKI, L. E.A.S; HORN, R. Mecânica do Solo. In: LIER, Q.de J.van. **Física do Solo**. Viçosa: SBCS, 2010.

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; 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 e Tillage Research**, v.102, p. 242 -254, 2009.

REICHERT, J.M.; VEIGA, M. da; CABEDA, M.S.V. Selamento superficial e infiltração

de água em solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v.16, n.3, p.289-298, 1992.

REIS, A.; ZAMBONIN, R.M. e NAKAZONO, E.M. (1999) Recuperação de áreas florestais degradadas utilizando a sucessão e as interações planta-animal. São Paulo: Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da mata atlântica/Governo do Estado de São Paulo.

ROCHA, PAULO CÉSAR. A apropriação do relevo no município de mirante do Paranapanema- SP: Lógica de ocupação entre indústria canavieira e as pequenas propriedades. **IX Simpósio Nacional de Ciência e Meio Ambiente – SNCMA – III CIPEEX**, 2018

ROCHA, PAULO CÉSAR. Estimativa do escoamento superficial e sua relação com as mudanças de cobertura do uso da terra no Pontal do Paranapanema/SP. *Caminhos da Geografia*. Uberlândia, MG. 2019.

ROSABONI, V.M., et al. Sistemas de manejo do solo contínuo para plantio direto de soja “Safrinha”. **XLVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA 2018**.

ROSS, J.L.S.; FIERZ, M. de S.M. Algumas técnicas de pesquisa em geomorfologia. In: VENTURI, L.A.B. (org). **Praticando geografia: Técnicas de Campo e Laboratório**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

SANTOS *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Revista e Ampliada, Brasília: Embrapa, p. 353, 2018.

SANTOS, ALINE. Estimativa do escoamento superficial e sua relação com as mudanças de cobertura do uso da terra no Pontal do Paranapanema/SP. *Caminhos da Geografia*. Uberlândia, MG. 2019

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBREAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5ª Ed. Revista e Ampliada, Brasília: Embrapa, 353 p. 2018.

SARVASI, F.O.C. Dinâmica da água, erosão hídrica e produtividade das culturas em função do preparo do solo. Piracicaba: ESALQ/USP, 1994. 161p. **Dissertação Mestrado**

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

SENRA, A. F.; LOUZADA, R. O.; VITORINO, A. C. T.; SOUZA, C. M. A.; VICTOR, D. M.. Resistência a penetração em “Latossolo Vermelho” sob diferentes sistemas de uso e manejo do solo. **Revista Ciências Técnicas Agropecuárias**, Chapingo-POR, v. 16, n. 1, p. 31-36, 2007.

SEVERIANO, E. C; OLIVEIRA, G. C , DIAS JÚNIOR, M. S, COSTA, K. A. P.; SILVA, F.G.; FERREIRA FILHO, S. M. **Alterações estruturais em Latossolos da região do Cerrado: I - relações entre propriedades físicas do solo e faixa de água menos limitante** Revista Brasileira de Ciência Do Solo , 35 ( 5 ) ( 2011 ) , pp . 773-782

SHAH, S.N.; MOHSIN, T.; SHAHZAD, B.; GUOZHENG, Y.; SHAH, F.; SAIF, A.; MUHAMMAD, A.B.; SHAHBAZ, A.T.; ABDUL, H.; BIANGKHAM, S. Soil compaction effects on soil health and cropproductivity: an overview. **Environmental Science and Pollution Research**, v.24, n.11, p.10056-10067, 2017.

SILVA, B. M, EA DA SILVA , GC DE OLIVEIRA , MM FERREIRA , ME SERAFIM. **Capacidade de água do solo disponível para as plantas: métodos de estimativa e implicações** Revista Brasileira de Ciência do Solo , 38 ( 2 ) , pp. 464-475, 2014.

SILVA, B. M. G. C., OLIVEIRA, M. E SERAFIM, E. A DA SILVA, M. M. FERREIRA, L. D NORTON, N. CURI. **Faixa crítica de umidade do solo para a cultura do café em um Latossolo oxidico afetado pelo manejo do solo.** Pesquisa de Solo e Cultivo , 154 , pp. 103-113 , 10.1016. 2015.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V. Influência de diferentes sistemas de uso e manejo na coesão, resistência ao cisalhamento e óxidos de Fe, Si e Al em solo de Tabuleiro Costeiro de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 447-457, 2005.

SILVA, J. C. A.; ANDRADE, A. P.; SILVA, I. F. Avaliação da infiltração da água no solo como indicador de modificações edáficas em três sistemas de manejo. **Agropecuária Técnica**, Paraíba, v.27, n.2, p.85-91, 2006.

SILVA, R.C.S.; ALMEIDA, J.C.R.; BATISTA, G.T.; FORTES NETO, P. Os indicadores físicos, químicos e biológicos da qualidade do solo e da sustentabilidade dos ambientes naturais. **Repositório Eletrônico Ciências Agrárias**. Trabalho Técnico, p.1-13, 2011.

SILVEIRA, D. C.; MELO FILHO, J. F.; SACRAMENTO, J A. A. S.; SILVEIRA, E. C. P. Relação umidade versus resistência à penetração para um Argissolo Amarelo distrocoeso no recôncavo da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p. 659-667, 2010.

SOUZA, M. C. S.; PIÑA-RODRIGUEZ, F. C. M. Desenvolvimento de espécies arbóreas em sistemas agroflorestais para recuperação de áreas degradadas na Floresta Ombrófila Densa, Paraty, RJ. **Revista Árvore**, Goiânia, v. 37, n. 1, p. 89-98, jan./fev. 2013.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado sob 7diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.1, p.18-23, 2003.

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

TAVARES, Silvio Roberto de Lucena. Recuperação de áreas degradadas e/ou contaminadas: um desafio para as ciências agrárias. **II Simpósio de Ciências Agrárias da Amazônia**, 2015.

TAVARES, U. E.; MONTENEGRO, A. A. A.; ROLIM, M. M.; SILVA, J. S.; SILVA, T. F. V.; ANDRADE, C. W. L. Variabilidade espacial da resistência à penetração e da umidade do solo em Neossolo Flúvico. **Water Resources and Irrigation Management**,

v. 3, n. 2, p. 79-89, 2014.

TORMENA, C.A. Caracterização e avaliação do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo. Piracicaba: ESALQ/USP, 1998. 106p. **Tese Doutorado**

TORMENA, C.A.; BARBOSA, M.C. e COSTA, A.C.S. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Sci. Agríc.**, 59:795-801, 2002.

TORMENA, C.A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, n. 2, p.333-339, 1996.

TORRES, E.; SARAIVA, O.F. Camadas de impedimento do solo em sistemas agrícolas com a soja. Londrina: Embrapa Soja, 1999. 58 p. (**Circular Técnica, 23**). v. 20, n. 71, p. 196–214, setembro, 2019

TORRES, J. L. R.; RODRIGUES JÚNIOR, D. J.; SENE, G. A.; JAIME, D. G.; VIEIRA, D. M. da S. Resistência a penetração em área de pastagem de capim tifton, influenciada pelo pisoteio e irrigação. **Bioscience Journal**, Uberlândia-MG, v. 28, n. 1, p. 232-239, 2012.

TREIN, C. R.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Métodos de preparo do solo na cultura do milho e ressemeadura do trevo na rotação aveia+trevo/milho, após pastejo intensivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 15, n. 3, p. 105-111, 1991.

VALADÃO, F. C. ASSIS.; WEBER, O. L. S.; VALADÃO JÚNIOR, D. D.; SCAPINELLI, A.; DEINA, F. R.; BIANCHINI, A. adubação fosfatada e compactação do solo: sistema radicular da soja e do milho e atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 243-255, 2015.

VAZ, C.P.; PRIMAVESI, O.; PATRIZZI, V.C. Comunicado Técnico: Influência da Umidade na Resistência do solo medido com Penetrômetro de impacto. São Carlos: MAPA, 2002.

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

WADT, P.G.S.; PEREIRA, J.E.S.; GONÇALVES, R.C.; SOUZA, C.B.C.; ALVES, L.S. **Práticas de conservação do solo e recuperação de áreas degradadas**. Rio Branco AC, Embrapa Acre. (Embrapa Acre, Documentos. 90) 29p. 2003.

WHITE, E. M. Soil compactation and contraction around plant root. **Soil Science**, New Brunswick-NJ, v. 119, n. 6, p. 461-465, 1975.

ZANG, R. Determination of soil sorptivity and hydraulic conductivity from the disk infiltrometer. **Soil Science Society of American Journal**, 61:1024-1030, 1997.

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.