

VARIAÇÃO ESTRUTURAL DO SOLO EM RESPOSTA AO USO E HISTÓRIA DE TENSÃO, EM APP DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO RIBERIA DE IGUAPE

RICARDO NAKAMURA¹, REGINALDO BARBOZA DA SILVA², PIERO IORI³ & JOÃO EDUARDO GUARNETT DOS SANTOS⁴

RESUMO: Solos são coleções de corpos naturais, constituído de parte sólida, líquida e gasosa, onde ocorre ocasionalmente modificação por atividades antrópicas. A indevida utilização agrícola dos solos em áreas de preservação permanente (APP) faz com que a estrutura desses solos seja alterada, causando o comprometimento dessas áreas e, conseqüentemente, sua degradação. Este trabalho objetivou, através da utilização do ensaio de compressão uniaxial, avaliar as alterações na densidade do solo e porosidade total do solo em duas classes de solo (Cambissolo Háplico e Argissolo Vermelho-Amarelo) sob diferentes carregamentos (carga de 25 kPa, carga referente a pressão de pré-consolidação e carga de 1600 kPa), teores de água e uso do solo (mata nativa e cultivo de banana). O trabalho foi realizado na Bacia Hidrográfica do Ribeira de Iguape, no município de Registro, São Paulo. As avaliações foram realizadas em amostras indeformadas de solo coletadas na camada de 0 a 0,05 m. O estudo foi definido por um arranjo experimental em delineamento inteiramente casualizado e em esquema fatorial. Verificou-se que a carga aplicada e o teor de água nas amostras de solo são os fatores que mais afetam a estrutura dos solos para as condições estudadas. O Argissolo apresentou uma maior estabilidade e melhor estruturação do solo nas áreas marginais aos rios. A preservação das matas nas APP's ao longo dos rios confere maior estabilidade, resistência e conservação da estrutura do solo.

PALAVRAS-CHAVE: Pressão de pré-consolidação, densidade, porosidade total, Vale do Ribeira.

STRUCTURAL VARIATION ON RIO RIBEIRA DE IGUAPE WATERSHED APP SOILS IN RESPONSE TO USE AND HISTORY OF TENSION

ABSTRACT: Soils are collections of natural bodies, consisting of solid, liquid, and gas parts, where it occasionally occurs modifications by anthropogenic activities. The increasing use of agricultural soils in areas of permanent preservation (APP) changes soil structure, causing the impairment of these areas and, consequently, its degradation. Thus, this study aimed, through the use of the uniaxial compression test, to evaluate changes on soil's density and total porosity in two soil types (Cambisol Untilsoil Red-Yellow) under different load pressures (25 kPa, pre-consolidation pressure and 1600 kPa), at different water contents, and under two land uses (native forest and banana plantations). The study was conducted at the watershed of Rio Ribeira de Iguape, in the city of Registro, Sao Paulo. Undisturbed soil samples were collected in the soil layer of 0 - 0.05 m. This study was defined by a completely randomized factorial design. It was found that the applied load and the water content in the soil samples are the most important factors affecting soil structure in areas of permanent preservation. The soil class of Untilsoil presents greater stability and better soil structure in marginal areas of the rivers. The use of land with woods in permanent preservation areas along rivers gives greater stability and resistance to soil structure.

KEYWORDS: Preconsolidation pressure, bulk density, total porosity, Vale do Ribeira.

1 INTRODUÇÃO

O solo, como principal suporte da produção agrícola, tem seu comportamento regido por um complexo

conjunto de fatores físicos, químicos e biológicos (MARASCA et al., 2013) e é considerado renovável, se utilizado corretamente (PRIMAVESI, 2002). Porém, a forma correta de utilização deste recurso básico, muitas vezes não é obedecida, fato que acaba ocasionando e acelerando a degradação estrutural do solo (IORI et al., 2012).

¹ UNESP – Campus Experimental de Registro. E-mail: rnakamura@agronomo.eng.br

² UNESP – Campus Experimental de Registro. E-mail: rbsilva@registro.unesp.br

³ UNESP – Campus Experimental de Registro. E-mail: pieroiori@hotmail.com

⁴ UNESP/FEB – Faculdade de Engenharia de Bauru – Campus de Bauru. E-mail: guarneti@feb.unesp.br

Áreas de preservação permanente (APP's) são indevidamente utilizadas para fins agrícolas,

principalmente as margens dos rios, situação que frequentemente é vista na Região do Vale do Ribeira.

O Código Florestal determina que:

Área de Preservação Permanente – APP são áreas protegidas, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas” (BRASIL, 2014). E ainda: “as faixas marginais de qualquer curso d’água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de 200 (duzentos) metros, para os cursos d’água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura são consideradas áreas de preservação permanente.

Em seu estudo Iori et al. (2012) citam que há falta de conhecimento dos impactos ambientais causados pelo uso agrícola indiscriminado das áreas marginais aos rios (APP), colocando em risco a sustentabilidade das terras e dos recursos hídricos.

É sabido que os solos são mantidos em seu estado natural, sob vegetação nativa, e, apresentam características físicas consideradas adequadas (ANDREOLA et al., 2000). Mas quando camadas compactadas são formadas no solo, há como consequência a redução das atividades biológicas e da macroporosidade no perfil do solo, aumentando a densidade, o que proporciona maior resistência física à expansão radicular (JIMENEZ et al., 2008). Além disso, limita a permeabilidade e a disponibilidade de nutrientes e água (FREDDI et al., 2007).

A compactação do solo ou simplesmente a alteração estrutural do solo pode ser considerada como resultante de fatores externos e internos. Como fatores externos, pode-se destacar: a energia de compactação aplicada ao solo, que pode ser natural, pela ação do impacto das gotas de chuva, ou artificial, por meio do pisoteio de animais ou humanos e pelo tráfego agrícola (SILVA, 2003; IORI et al., 2012). Já, como fatores internos, pode-se destacar: história de tensão (DIAS JÚNIOR, 1994), umidade do solo (IORI et al., 2013), textura do solo, estrutura ou classe de solo (SEVERIANO et al., 2008), densidade inicial do solo (SILVA et al., 2010a).

O impacto do manejo dos solos tem sido avaliado por meio de medidas de propriedades físicas, como a densidade e a porosidade do solo (CARNEIRO et al., 2009). As interações entre as propriedades físicas, biológicas e químicas, fazem com que o solo exerça seu papel de forma mais adequada (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009). Porém, nenhum indicador, individualmente, tem conseguido descrever e quantificar todos os aspectos da qualidade do solo.

Dias Júnior (1994) considera a pressão de pré-consolidação (σ_p) um bom indicador de suscetibilidade

do solo à compactação. As pesquisas com compactação do solo, com a utilização do ensaio de compressão uniaxial, são amplamente estudadas por vários autores, como Miranda et al. (2003), Silva et al. (2003), Iori et al. (2012), entre outros.

As pesquisas na área de preservação permanente marginais aos rios visam esclarecer e avaliar os impactos causados pelo uso incorreto do solo, tentando obter alternativas para a correção da degradação causada. Assim, este trabalho objetivou, através da utilização do ensaio de compressão uniaxial, avaliar as alterações na densidade do solo e porosidade total do solo em duas classes de solo (Cambissolo Háplico e Argissolo Vermelho-Amarelo) sob diferentes carregamentos (25 kPa, σ_p e 1600 kPa), submetidas a diferentes teores de água e uso do solo (mata nativa e cultivo de banana).

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em área de preservação permanente, APP, às margens do Rio Ribeira (latitude 24°26' Sul e longitude 47°49' Oeste e altitude em torno de 25 m), na Bacia Hidrográfica do Ribeira de Iguape, município de Registro, SP. O clima da região, de acordo com Köppen, citado por Silva et al. (2010b) é o Af, tropical úmido, com transição para o Cfa, sem estação seca definida, com temperatura média anual de 21°C e precipitação pluvial média de 1700 mm (IORI et al., 2012).

Foram definidas quatro áreas experimentais, todas em áreas de preservação permanente, com (cultivo de banana) e sem manejo agrícola (Mata Nativa). As áreas de mata nativa são estratos de matas as margens que foram utilizadas como referência neste trabalho, por não haver ação antrópica no local há 40 anos. As áreas com cultivo de banana, também as margens do rio, são cultivadas com a mesma cultura a mais de 50 anos. O estudo foi conduzido em dois dos principais solos predominantes nas APP's da bacia: Cambissolo Háplico e Argissolo Vermelho-Amarelo (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2013).

A amostragem foi realizada em malha irregular, com auxílio do amostrador de Uhland, cujas amostras de estrutura preservada e dimensões de 69,5 mm de diâmetro e 25 mm de altura, foram coletadas na camada de 0 a 0,05 m.

Neste estudo, foram considerados três carregamentos (pressões de contato): 25 kPa, 1600 kPa e o terceiro que correspondia ao valor da pressão de pré-consolidação (σ_p). Os teores de água definidos foram referentes à condição saturada e 0,05 kgkg⁻¹ de umidade do solo. Assim, o estudo constou de um arranjo experimental em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial do tipo 2x2x2x3, sendo duas classes de solos, dois usos/manejos do solo, dois teores de água e três pressões aplicadas, com três repetições.

A caracterização do solo (Tabela 1) foi realizada por meio de análise de granulometria e argila dispersa em água (ADA), ambos pelo método da pipeta (DAY, 1965), densidade de partículas (D_p), pelo método do balão volumétrico, índice de floculação (IF) e teor de matéria orgânica (MO) (EMBRAPA, 1997).

Para o ensaio de compressão uniaxial, metade das amostras indeformadas de solo foi saturada por capilaridade (alto teor de água), em água destilada, e a outra metade foi deixada em bancada, ao ar livre, e equilibrada a $0,05 \text{ kg kg}^{-1}$ (baixo teor de água), buscando conhecer o comportamento desses solos em umidades extremas. Após o equilíbrio dos teores de água, as amostras indeformadas submetidas a ensaios de compressão uniaxial.

Para a realização dos ensaios de compressão uniaxial, foi utilizado um consolidômetro automático com interação homem-máquina, modelo CNTA-IMH/BR-001/07, desenvolvido por Silva et al. (2007). Inicialmente foram aplicados aos corpos-de-prova os níveis de pressão de: 25, 50, 100, 200, 400, 800 e 1600 kPa, observando a máxima deformação, de até 90% do corpo-de-prova, para cada nível de pressão (TAYLOR, 1948). Por meio do software CALINKER[®], desenvolvido por Silva e Maschetto (2009), os valores de pressão e deformação foram devidamente tratados, obtendo-se a curva de compressão, que estima a pressão de pré-consolidação (σ_p), observando a sugestão dos métodos M1 e M3, os quais preconizam que as amostras sejam consolidadas a teores de água cujos potenciais matriciais estejam abaixo de 100 kPa e acima de 100 kPa (SILVA et al., 2007) respectivamente, proposto por Dias Júnior e Pierce (1995).

Tabela 1 - Caracterização física do solo: médias de densidade de partículas, argila, silte, areia total, argila dispersa em água e índice de floculação, matéria orgânica para duas classes de solo e dois manejos, no município de Registro, SP.

Variáveis	Usos/Solos			
	AMT	ABN	CMT	CBN
Dp (g dm^{-3})	2,48	2,42	2,39	2,43
Argila (g kg^{-1})	472	333	330	393
Silte (g kg^{-1})	330	448	122	30
Areia (g kg^{-1})	198	219	548	577
ADA (g kg^{-1})	52	22	40	52
IF (%)	89,51	94,95	93,17	88,08
MO (g dm^{-3})	15	36	29	24

AMT: Argissolo sob mata; ABN: Argissolo sob cultivo de banana; CMT: Cambissolo sob mata nativa; CBN: Cambissolo sob banana; Dp: Densidade de partícula; ADA; Argila dispersa em água; IF: Índice de floculação e MO, Matéria orgânica.

A definição e procedimentos dos carregamentos se deram da seguinte forma: a) primeiro, foram realizados os ensaios de consolidação em amostras para cada condição (combinação de fatores) proposta neste estudo, objetivando definir o valor das respectivas pressões de pré-consolidação (σ_p), b) segundo, conhecido os valores de σ_p , optou-se pelo carregamento de 25 e 1600 kPa, respectivamente, por representarem o menor e mais elevado nível de pressão, de acordo com a sugestão de Dias Junior et al. (2004), empregados em estudos da avaliação da capacidade de suporte de carga do solo. Estes 03 carregamentos possibilitam, portanto, expor os solos às condições de baixa, média e elevada tensão e o respectivo comportamento poroso de cada solo. A carga referente à pressão de pré-consolidação foi escolhida, por ser ela a indicadora da máxima pressão que o solo pode suportar, sem causar compactação adicional. A carga de 25 kPa, não deve interferir significativamente na condição natural do solo e possibilitou padronizar o comportamento estrutural e inicial de cada corpo-de-prova.

A densidade do solo – método do anel volumétrico – e a porosidade total foram realizadas através dos métodos descritos pela Embrapa (1997). Para correta interpretação dos resultados os valores iniciais e finais de densidade do solo e porosidade total do solo foram relativizadas, de acordo com as seguintes fórmulas:

$$\%Ds = 100 - \left(\frac{Ds_i}{Ds_f} \right) \times 100 \quad (1)$$

onde, %Ds é o aumento da Ds, Ds_i é a densidade inicial do solo e Ds_f é a densidade final do solo em determinada carga.

$$\%PT = 100 - \left(\frac{PT_f}{PT_i} \right) \times 100 \quad (2)$$

onde %PT é a redução da PT, PT_f é a porosidade total final em determinada carga e PT_i é a porosidade total inicial.

As análises foram realizadas no Laboratório de Física, Mecânica e Conservação do Solo da Universidade Estadual Paulista (UNESP), campus experimental de Registro. Inicialmente, estas propriedades do solo foram submetidas a análise de variância (ANOVA) e quando significativas, a comparação entre médias foi realizada, utilizando o programa estatístico Sisvar (FERREIRA, 2000), através do teste de Scott-Knott, ao nível de 5%.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os maiores valores de ADA apresentados, para AMT (52 g kg^{-1}) e CBN (52 g kg^{-1}) (Tabela 1), indicam que esses solos têm uma maior predisposição a compactação do solo (SILVA, 1997). Para o IF, os maiores valores observados foram nos Argissolo sob cultivo de banana e Cambissolo sob Mata Nativa, indicando que esses solos estão em um processo mais avançado de manutenção da estrutura do solo, pois a floculação é a primeira condição

para a formação de agregados do solo (MENDES et al., 2006).

ABN apresentou a maior quantidade de MO (36 g dm^{-3}), fato que culminou com o que foi observado em campo, pois haviam muitos restos culturais em decomposição no local, deixados após o desbaste da bananeira. Campos et al. (1995) mencionam que o acúmulo de matéria orgânica geralmente está associado a uma melhora das condições físicas do solo.

A Tabela 2 apresenta valores médios de Ds e PT, inicial e final. Estes foram os valores utilizados para relativizar os valores para a alteração destas propriedades.

Tabela 2 - Valores médios de Ds e PT inicial e final, dados utilizados para relativizar os fatores, para tornar os valores mais adequados para as análises.

Fatores / Níveis	Ds		PT	
	Mg m ⁻³		m m ⁻³	
	Inicial	Final	Inicial	Final
W (Teor de água)				
Alto	1,060	1,333	0,574	0,453
Baixo	1,157	1,372	0,563	0,468
U (Uso)				
Mata	1,082	1,280	0,586	0,490
Banana	1,135	1,425	0,551	0,432
S (Solo)				
Argissolo	1,141	1,331	0,572	0,473
Cambissolo	1,076	1,374	0,565	0,448
C (Carga)				
25 kPa	1,122	1,226	0,555	0,511
σ_p	1,104	1,353	0,555	0,461
1600 kPa	1,100	1,477	0,596	0,411

A Tabela 3 apresenta os valores de 'F' resultado da análise de variância, para os seguintes parâmetros: variação da densidade do solo (Ds) e da porosidade total do solo (PT), em resposta aos efeitos de dois teores de água (W) (alto e baixo), dois usos (U) (mata nativa e cultivo de banana), duas classes de solos (S) (Argissolo e Cambissolo) e três cargas aplicadas à amostra de solo (C) (25kPa, σ_p e 1600 kPa).

De acordo com o resultado da ANAVA, nota-se que todos os fatores estudados isoladamente foram significativos ($p < 0,01$) para as duas variáveis estudadas (variação da Ds e da PT) (Tabela 3). Observam-se valores de "F" muito altos para C (carga) e W (teor de água), em ambos as variáveis respostas, ou seja, esses dois fatores foram aqueles que mais contribuíram para as variações na densidade do solo e na porosidade total do

solo. A carga aplicada às amostras de solos foi a fonte de variação que melhor explicou as alterações nos valores de porosidade total e densidade do solo. O teor de água, no qual as amostras de solo foram submetidas, foi o segundo fator que mais afetou os aumentos da densidade e reduções de porosidade total do solo neste estudo. Estes resultados são importantes, pois indicam qual ou quais são os fatores que mais influenciam as alterações estruturais do solo em áreas de preservação do solo, verificando se são sensíveis ao cultivo e se trazem sérios prejuízos se manejadas incorretamente. As cargas, possivelmente, foram os fatores que mais afetam os resultados pelo fato de estar comparando uma área de mata nativa, que não é manejada há bastante tempo e uma área de cultivo de banana, que é manejada constantemente. No cultivo de banana, não há a utilização de maquinário para a realização da adubação, nem para a colheita, todo e qualquer manejo é feito manualmente por funcionários. Lull (1959) cita que o pisoteio humano, pode proporcionar pressões de até 190 kPa, valores superiores aos de um implemento de preparo de solo que é na ordem de 100 kPa, segundo Hillel (1982). Iori et al. (2012) informam que durante a época de colheita da banana o impacto no solo é agravado, pois somam-se ao peso dos carregadores os dos cachos de banana, aumentando os valores de pressão exercida no solo.

Verifica-se que, quando a densidade (Ds) é alterada, a porosidade total (PT) também é modificada, sendo grandezas inversamente proporcionais, pois quanto maior é a densidade, por consequência menor é a porosidade total. Roque et al. (2010) informam que o tráfego de máquinas agrícolas causa a degradação cumulativa da qualidade física do solo, ao longo dos anos de cultivo, isso também ocorre na banana, porém, sem o tráfego de máquinas. Bertoni e Lombardi Neto (1990) destacam que, como o solo é um corpo poroso, quando submetido à compressão, a mesma massa de material sólido ocupa um volume menor afetando a estrutura do solo. A desestruturação do solo promove alterações na quantidade, tamanho, formato e orientação dos espaços vazios.

Os teores de água também apresentaram grande influência nos efeitos estudados, pois quanto maior o teor de água no corpo-de-prova, antes de ser submetido à compressão uniaxial, maior será a suscetibilidade do solo à degradação. Collares et al. (2006) citam que o manejo do solo em condições inadequadas de umidade, contribui para a alteração da qualidade do solo, aumentando a compactação.

Isoladamente, as classes de solo foram às fontes de variação que menos explicaram as alterações estruturais no solo.

Tabela 3 - Valores de 'F' na análise de variância (ANOVA) para densidade (Ds) e porosidade total (PT), para dois teores de água (W) (alto e baixo), dois usos (U) (mata nativa e cultivo de banana), duas classes de solo (S) (Argissolo e Cambissolo) e três cargas (C) (25kPa, σ_p e 1600 kPa).

Fonte de Variação	GL	Ds	PT
W	1	355,109**	107,796**
U	1	98,968**	169,506**
S	1	17,173**	50,464**
C	2	456,439**	998,687**
UxW	1	30,485**	7,340**
SxU	1	2,672 ^{ns}	19,340**
SxW	1	4,061*	6,487*
CxS	2	8,577**	45,354**
CxU	2	0,649 ^{ns}	13,815**
CxW	2	3,234*	10,443**
SxUxW	1	0,242 ^{ns}	3,733 ^{ns}
CxSxU	2	13,689**	23,134**
CxSxW	2	9,009**	1,615 ^{ns}
CxUxW	2	8,210**	2,958 ^{ns}
CxSxUxW	2	4,189*	0,416 ^{ns}

GL – graus de liberdade; ** e *: significativa a 1 e 5 %, respectivamente; ^{ns} – Não significativo

A Tabela 4 apresenta o teste de média, bem como os valores médios de aumento de Ds e redução PT, em função de dois teores de água (W), dois usos do solo (U), duas classes de solo (S) e três cargas aplicadas nos corpos-de-prova (C). As diferenças para altos e baixos teores de água foram significativas, tanto para Ds como para PT. Kondo e Dias Júnior (1999) comentam que um dos grandes entraves às operações motomecanizadas é a suscetibilidade à compactação do solo, que limita o seu manejo em condições de umidade excessiva. No caso dessa pesquisa, o alto teor de água apresentou valor maior de aumento de densidade quando comparado ao baixo teor de água. Para a PT os corpos-de-prova com alto teor de água apresentaram uma maior redução em comparação com os de baixo teor de água. Iori et al. (2012) destaca em seu trabalho que a coesão é resultante das forças internas elétrica gerada entre as partículas, de modo que em baixo teor de água, a adesão é mínima, sendo que a coesão é favorecida, o que resulta em maior capacidade suporte de carga, assim esse comportamento não foi encontrado em amostras com alto teor de água, pois a coesão diminui conforme o aumento do teor de água.

Os usos também apresentaram diferenças estatísticas, tanto para a mata nativa, como para o cultivo de banana. A Mata, utilizada como referência, apresentou menor variação no valor de Ds (14,54%) e uma menor variação da PT (15,71%). Estes resultados indicam que solos sob mata apresentam uma maior estabilidade da estrutura do

solo, resistindo mais aos efeitos externos na alteração estrutural. As áreas com mata nativa apresentaram uma menor variação dos valores de Ds e PT, demonstrando que esses solos, nos efeitos estudados, são mais estáveis e resistentes, fator importante em áreas de APP, como as estudadas. Chioderoli et al. (2012) comenta que a presença de uma boa cobertura do solo é importante para promover melhorias das condições físicas e químicas em médio prazo e contribuir com a produção e o desenvolvimento das plantas, caso que ocorre nas áreas de mata nativa.

Para as classes de solo, também foi observado diferenças estatísticas, sendo que a classe dos Argissolos apresentou os menores valores de variação de Ds e uma menor redução de PT (Ds = 15,99% e PT = 17,00%), em comparação com a classe dos Cambissolos, identificando neste caso, os Argissolos como o solo melhor estruturado e mais estável aos efeitos externos e internos frente ao impacto advindo do uso e, ou manejo a ele aplicado.

Tabela 4 - Valores médios da variação de densidade do solo (Ds) e de porosidade total (PT) para dois teores de água (W), dois usos do solo (U), duas classes de solos (S) e três cargas aplicadas (C).

Fatores / Níveis	Aumento de Ds Redução de PT	
	(%)	
	W (Teor de água)	
Baixo	12,32 A	16,29 A
Alto	21,72 B	20,88 B
	U (Uso)	
Mata	14,54 A	15,71 A
Banana	19,50 B	21,37 B
	S (Solo)	
Argissolo	15,99 A	17,00 A
Cambissolo	18,05 B	20,09 B
	C (Carga)	
25 kPa	7,25 A	7,63 A
σ_p	18,21 B	16,88 B
1600 kPa	25,60 C	31,12 C

Valores com letras diferentes em cada coluna são significativamente diferentes pelo teste de Scott-Knott, ao nível de 5%. Experimento em esquema fatorial, com dois teores de água, dois usos, dois solos e três cargas.

Entre as cargas aplicadas às amostras de solo, observou-se que também houve variação estatística. A carga de 25 kPa aplicada ao solo foi a que apresentou menor variação (aumento de DS e redução de PT) entre as três cargas aplicadas (Ds = 7,25% e PT = 7,63%). A σ_p apresentou uma variação média comparada aos extremos aplicados. Borges et al. (1999), com auxílio de uma prensa hidráulica, aplicou diferentes cargas, em valores

crescentes em um solo, obtendo valores na mesma escala ao desse estudo.

Segundo Severiano et al. (2008), a pressão de pré-consolidação, além de representar a capacidade de suporte de carga de um solo, também representa o grau de estruturação dele. A carga de 1600 kPa foi a que apresentou maior variação nos valores de D_s e PT (25,60% e 31,12%, respectivamente). Curi et al. (1993) informam que a compactação causada por compressão, diminui o volume do solo, pois ocasiona um rearranjo mais denso das partículas, conferindo um aumento da densidade do solo.

4 CONCLUSÕES

Para as condições em que foi conduzido este estudo, pode-se concluir que:

1. A carga aplicada e o teor de água nas amostras de solo são os fatores que mais afetou a estrutura do solo em áreas de preservação permanente.
2. A classe dos Argissolos apresentou uma maior estabilidade e melhor estruturação do solo.
3. O uso do solo com mata nativa, em resposta aos carregamentos aplicados, ao longo do rio conferiu uma maior estabilidade e estruturação do solo em áreas de preservação permanente estudada.

5 AGRADECIMENTO

À UNESP, Campus de Registro, por ceder o laboratório de física, mecânica e conservação do solo. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela concessão da bolsa de estudos do primeiro autor.

6 REFERÊNCIAS

ANDREOLA, F. ; COSTA, L. M. ; OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma terra roxa estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 857-865, 2000.

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

BORGES, E. N.; LOMBARDI NETO, F.; CORRÊA, G. F. E.; BORGES, E. V. S. Alterações físicas introduzidas por diferentes níveis de compactação em Latossolo Vermelho Escuro textura média. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, p. 1663-1667, 1999.

BRASIL. **Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm>. Acesso em: 26 abril 2014.

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

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

CHIODEROLI, C. A.; MELLO, L. M.; GRIGOLLI, P. J.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, J. O. R.; CESARIN, A. L. Atributos físicos do solo e produtividade de soja em sistema de consórcio milho e braquiária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, p. 37-43, 2012.

COLLARES, G. L.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 11, p. 1663-1674, 2006.

CURI, N.; LARACH, J. O. I.; KÄMPF, N.; MONIZ, A. C.; FONTES, L. E. F. **Vocabulário de ciência do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. 90 p

DAY, P. R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C. A. (Ed). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. Part I. p. 545-567. (Agronomy Monograph, 9).

DIAS JÚNIOR, M. S. **Compression of three soils under longterm tillage and wheel traffic**. 1994. 114 p. Thesis (Philosophy Doctor in Crop And Soil Sciences). East Lansing, Michigan State University, Michigan. 1994.

DIAS JÚNIOR, M.S.; PIERCE, F.J. A simple procedure for estimating preconsolidation pressure from soil compression curves. **Soil Technology**, Amsterdam, v. 8, p. 139-151, 1995.

DIAS JÚNIOR, M. ; MIRANDA, U. A. ; MESQUITA, A. L. A. ; IDEHARA, S. J. . On the application of directional time-frequency distributions to the identification of simultaneous forward and backward whirling in flexible rotors. **Australian Journal of Mechanical Engineering**, Sydney, v. 1, n. 2, p. 103-112, 2004.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília, 2013. 353 p.

- FERREIRA, D. F. **Manual do sistema Sisvar para análises estatísticas**. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2000. 66 p.
- FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; BEUTLER, A. N.; ARATANI, R. G.; LEONEL, C. L. Compactação do solo no crescimento radicular e produtividade da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, p. 627-636, 2007.
- HILLEL, D. **Introduction to soil physics**. San Diego, Academic Press, 1982. 364 p.
- IORI, P.; SILVA, R. B.; DIAS JÚNIOR, M. S.; LIMA, J. M. Pressão de preconsolidação como ferramenta de análise de sustentabilidade estrutural de classes de solos com diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 36, n. 5, p. 1083-1091, 2012.
- IORI, P.; DIAS JUNIOR, M. S.; AJAYI, A. E.; GUIMARÃES, P. T. G.; PAIS, P. S. M.; ANDRADE, M. L. C. Comparison of field and laboratory models of the load bearing capacity in coffee plantations. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 37, n. 2, p. 130-137, 2013.
- JIMENEZ, R. L.; GONÇALVES, W. G.; ARAÚJO FILHO, J. V.; ASSIS, R. L.; PIRES, F. R.; SILVA, G. P. Crescimento de plantas de cobertura sob diferentes níveis de compactação em um Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 2, p. 116-121, 2008.
- KONDO, M. K.; DIAS JUNIOR, M. S. Compressibilidade de três latossolos em função da umidade e uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 2, p. 211-218, fev.1999.
- LULL, H. W. **Soil compaction on forest and range lands**. Washington: Forest Service United States Department of Agriculture, 1959. 33 p. (Miscellaneous Publication, 768).
- MARASCA, I.; GONÇALVES, F. C.; MORAES, M. H.; BALLARIN, A. W.; GUERRA, S. P. S.; LANÇAS, K. P. Propriedades físicas de um Nitossolo Vermelho em função dos sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 11, p. 1160-1166, 2013.
- MENDES, F. G.; MELLONI, E. G. P.; MELLONI, R. Aplicação de atributos físicos do solo no estudo da qualidade de áreas impactadas, em Itajubá/MG. **Revista Cerne**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 211-220, 2006.
- MIRANDA, E. E. V.; DIAS JUNIOR, M. S.; GUIMARÃES, P. T. G.; PINTO, J. A. O.; ARAUJO JUNIOR, C. F.; LASMAR JUNIOR, E. Efeito do manejo e do tráfego nos modelos 80 de sustentabilidade da estrutura de um Latossolo Vermelho cultivado com cafeeiros. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 6, p. 1506-1515, 2003.
- PRIMAVESI, A. Manejo ecológico do solo: A agricultura em regiões tropicais. São Paulo: Nobel, 2002. 549 p.
- ROQUE, A. A. O.; SOUZA, Z. M.; BARBOSA, R. S.; SOUZA, G. S. Controle de tráfego agrícola e atributos físicos do solo em área cultivada com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, p. 744-750, 2010.
- SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; DIAS JÚNIOR, M. S.; OLIVEIRA, L. F. C.; CASTRO, M. B. Pressão de preconsolidação e intervalo hídrico ótimo como indicadores de alterações estruturais do solo em decorrência das operações de colheita da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 1419-1427, 2008.
- SILVA, A. P. Distribuição de poros de Argissolo Vermelho- Amarelo sob pomares de laranja: uma abordagem multivariada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1997. CD-ROM
- SILVA, R. B.; DIAS JÚNIOR, M. S.; SILVA, F. A. M.; FOLE, S. M. O tráfego de máquinas agrícolas e as propriedades físicas, hídricas e mecânicas de um Latossolo dos Cerrados. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, p. 973-983, 2003.
- SILVA, R. B.; IORI, P.; SILVA, F. A. M.; DIAS JÚNIOR, M. S. Modelagem e determinação do estado crítico de consolidação a partir da relação massa e volume em solos canavieiros. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 33, n. 1, p. 376-389, 2010a.
- SILVA, R. B.; IORI, P.; ARMESTO, C.; BENDINI, H. N. Assessing rainfall erosivity with artificial neural networks for the Ribeira Valley, Brazil. **International Journal of Agronomy**, Cairo, v. 2010, p. 1-7, 2010b.
- SILVA, R. B.; LANÇAS, K. P.; MASQUETTO, B. J. Consolidômetro: equipamento pneumático-eletrônico para avaliação do estado de consolidação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 4, p. 607- 615, 2007.
- SILVA, R. B.; MASQUETTO, B. J. CA-Linker: sistema para monitoramento, aquisição e processamento de parâmetros físicos e mecânicos em tempo real, gerados em ensaios de consolidação uniaxial. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., Fortaleza, 2009. **Anais...** Fortaleza, Universidade Federal do Ceará, 2009. CD-ROM.
- TAYLOR, D. W. **Fundamentals of soil mechanics**. New York: John Wiley, 1948. 770 p.
- VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre a qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 4, p. 743-755, 2009.