



**FÁBIO QUARESMA SILVA**

**ATRIBUTOS DO SOLO EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE  
VEGETAÇÃO NO SISTEMA CANTAREIRA**

**Lavras – MG**

**2019**

**FÁBIO QUARESMA SILVA**

**ATRIBUTOS DO SOLO EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE VEGETAÇÃO  
NO SISTEMA CANTAREIRA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Federal de Lavras, como parte das  
exigências do curso de Engenharia Ambiental e  
Sanitária, para obtenção do título de Bacharel.

Professor Dr. Junior Cesar Avanzi  
Orientador

Msc. Monna Lysa Teixeira Santana  
Coorientadora

**LAVRAS – MG  
2019**

**FÁBIO QUARESMA SILVA**

**ATRIBUTOS DO SOLO EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE VEGETAÇÃO  
NO SISTEMA CANTAREIRA**

**SOIL ATTRIBUTES IN DIFFERENT VEGETATION CONDITIONS IN THE  
CANTAREIRA SYSTEM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Federal de Lavras, como parte das  
exigências do curso de Engenharia Ambiental e  
Sanitária, para obtenção do título de Bacharel.

APROVADO em 29 de novembro de 2019:

---

Profa. Dra. Camila Silva Franco UFLA

---

Profa. Dra. Érika Andressa da Silva UFLA

---

Prof. Dr. Junior Cesar Avanzi  
Orientador

---

Msc. Monna Lysa Teixeira Santana  
Coorientadora

**LAVRAS – MG**

**2019**

## AGRADECIMENTOS

Minha sincera gratidão:

À Deus por ter me dado forças para triunfar ante as dificuldades.

À minha mãe, Alzenir, que sempre me encorajou, acreditou no meu potencial, fez o possível para que eu não parasse de estudar e cuja garra me inspira. Ao meu pai, Tertuliano, que sempre torceu por mim e por vontade de Deus não está mais conosco. Às minhas irmãs, Dayana e Thâmara, pelo apoio e fraternidade. Com todo amor, agradeço pelos esforços que me permitiram chegar até aqui.

Ao Professor e orientador Junior Cesar Avanzi, pela orientação, solicitude e prontidão. À doutoranda e coorientadora Monna Lysa Teixeira Santana pelas instruções, ensinamentos e paciência. Às Professoras Camila Silva Franco e Érika Andressa da Silva pelo suporte, esclarecimentos e disponibilidade durante a graduação.

Aos companheiros de morada (Rep. Vaca H) por esses 6 anos de convivência e amparo; aos demais amigos de graduação sobretudo a Pedro e Vinicius pelo apoio e à Daiany, minha companheira, pelo carinho, incentivo e compreensão.

Ao Departamento de Ciências do Solo (DCS/UFLA) e toda equipe pela assistência, em especial aos técnicos do DCS, Dulce e Téo e ao colaborador Pézão pelas instruções, conselhos e ajuda nas análises laboratoriais.

Ao CNPq pela realização do projeto (441244/2017-3) do qual este trabalho traz parte dos resultados obtidos. À CAPES pela concessão de bolsas que viabilizaram a realização deste trabalho. Ao Instituto de Pesquisas Ecológicas (IPÊ) pelo projeto Semeando Água (patrocinado pela Petrobras Socioambiental), ao qual este trabalho é vinculado.

À Universidade Federal de Lavras, por toda estrutura oferecida, em especial ao corpo discente de Engenharia Ambiental e Sanitária, que foi crucial para minha formação profissional e amadurecimento.

A todos a minha admiração e reconhecimento!

*“Podemos ver mais e mais longe do que nossos predecessores,  
não porque temos visão mais aguçada ou maior altura,  
mas porque somos levantados e carregados  
sobre sua estatura gigantesca.”*  
– *Bernardus Carnotensis*

## RESUMO

A estrutura do solo expressa os efeitos das práticas de manejo nele adotadas, pois as ações de origem física, química e biológica, afetam o processo dinâmico de construção ou degradação do solo, alteram sua qualidade e conseqüentemente impactam as funções ecossistêmicas do solo. A estabilidade de agregados, textura e quantidade de nutrientes são bons indicadores de qualidade do solo, pois são sensíveis às mudanças provenientes do uso e manejo do solo. Tendo em vista a grande importância dos serviços ecossistêmicos providos pelo Sistema Cantareira, o objetivo deste estudo foi avaliar os atributos do solo nas áreas deste sistema, nas diferentes condições de vegetação predominantes na região, a fim de identificar condições mais favoráveis à preservação de suas bacias, averiguando como as práticas de uso e manejo adotadas no solo refletem nos resultados de seus atributos. As coletas foram realizadas em fevereiro de 2019, nos municípios de Joanópolis, Nazaré Paulista e Piracaia, em um Cambissolo Háptico (CX), um Argissolo Vermelho Amarelo (PVA) e um Neossolo Regolítico (RR) respectivamente, com as seguintes vegetações em cada um deles: mata nativa (MN), pastagem contínua (PC), pastagem rotacionada (PR) e eucalipto (E). As análises foram conduzidas até novembro de 2019 no Laboratório de Física e Conservação dos Solos da UFPA. Três repetições de amostras preservadas dos horizontes A e B foram coletadas dos diferentes usos do solo para a realização das análises de textura, fertilidade do solo, estabilidade de agregados e índice de estabilidade. A estabilidade de agregados e o índices de estabilidade foram submetidos ao teste da razão de verossimilhança Scott-Knott para separar os diferentes resultados em grupos. A partir dos dados encontrados foram obtidas percepções com base na literatura a respeito das possíveis influências advindas dos manejos e usos do solo sobre os valores dos atributos avaliados, sendo que estes podem servir de subsídio para estudos futuros. Adverso ao que se esperava, a estabilidade de agregados do solo não apresentou diferença estatística nos horizontes para os tipos de tratamentos impostos, sendo incapaz de explicar como o diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado (DMP) do solo foram afetados pelos manejos. O Índice de Estabilidade foi eficiente para indicar os efeitos dos manejos adotados sobre o risco de degradação estrutural nos solos estudados no Sistema Cantareira.

**PALAVRAS-CHAVE:** Saúde do solo; indicadores físicos; estabilidade de agregados.

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>2</b>
2.1.	Sistema Cantareira .....	2
2.2.	Serviços ecossistêmicos.....	3
2.3.	Sistemas de Uso.....	5
2.4.	Estabilidade de agregados .....	8
<b>3.</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>10</b>
3.1.	Caracterização da área experimental .....	10
3.2.	Amostragem .....	12
3.3.	Análises .....	13
3.3.1.	Fertilidade .....	13
3.3.2.	Textura .....	13
3.3.3.	Argila Dispersa em Água e Índice de Flocculação .....	14
3.3.4.	Estabilidade de Agregados.....	16
3.3.5.	Índice de Estabilidade .....	17
3.3.6.	Análises Estatísticas.....	17
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>18</b>
4.1.	Fertilidade .....	18
4.2.	Textura, Argila Dispersa em Água e Índice de Flocculação .....	20
4.3.	Estabilidade de Agregados.....	22
4.4.	Índice de Estabilidade .....	23
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>25</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O Sistema Cantareira é o maior produtor de água da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) e abastece cerca de nove milhões de pessoas (WHATELY; CUNHA, 2007). Durante todo o ano de 2014 e 2015, as vazões afluentes ao sistema foram bem menores do que a média histórica, o que comprometeu o abastecimento da RMSP (ANA, 2019). Houve então uma preocupação maior com atividades agrícolas desenvolvidas na região, tendo em vista que no meio rural o modo de uso e ocupação do solo causa impactos diretos sobre a disponibilidade qualitativa e quantitativa em mananciais de abastecimento humano (CHIODI et. al., 2013).

Além disso, o conjunto de bacias hidrográficas do Sistema Cantareira está inserido no bioma Mata Atlântica, cujo percentual de remanescentes bem conservados é de apenas 7,26 %. Apesar da devastação acentuada a Mata Atlântica ainda é responsável por garantir o abastecimento de água de mais de 120 milhões de brasileiros. Seus rios e córregos constituem importantes bacias e sub-bacias hidrográficas responsáveis por regular o fluxo de importantes mananciais hídricos do Brasil (RIBEIRO et al., 2009). Essas bacias hidrográficas prestam diversos serviços ecossistêmicos, dentre os quais, especial atenção deve ser dada aos serviços hidrológicos, constituídos pelos serviços de purificação e filtragem da água, regulação dos fluxos estacionais, controle da erosão e dos sedimentos e preservação de habitats naturais (POSTEL; THOMPSON JR., 2005).

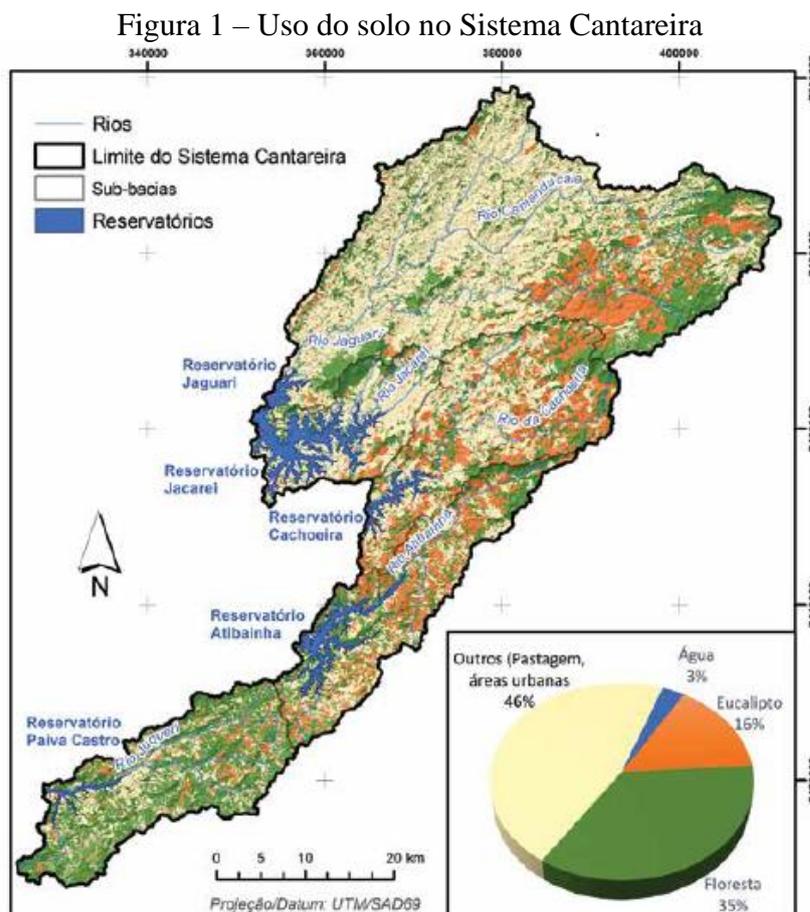
Ademais, convém destacar que segundo Chiodi et al. (2013) diversos municípios do Sistema Cantareira têm a pecuária e o monocultivo de eucalipto como as principais atividades produtivas rurais, nesse âmbito Uezu et al. (2017) afirmam que cerca de 50 % da área é utilizada com pastagens, que em geral, estão degradadas, com baixa produtividade e alto impacto ambiental, pois apresentam baixa biomassa (capim ralo), provocam a compactação do solo, são pobres em nutrientes e permitem uma maior exposição do solo a processos erosivos. Por representar uma atividade que cobre uma grande proporção do Sistema Cantareira, a melhoria do manejo das pastagens traria grandes benefícios econômicos e ambientais para a região (UEZU et al., (2017).

Nesse contexto, o intuito deste estudo foi avaliar os atributos do solo em diferentes condições de vegetação no Sistema Cantareira, averiguando como as práticas de manejo no solo adotadas podem influenciar a qualidade do solo, qualidade e quantidade de água, comportamento hídrico e conseqüentemente a preservação da bacia.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Sistema Cantareira

De acordo com Rodrigues (1997), com a construção do Sistema Cantareira na década de 1970 houve transformações no modo de uso e ocupação do solo rural de alguns dos municípios impactados - as terras mais baixas, planas e férteis, antes ocupadas por produtores familiares, foram alagadas pelos reservatórios. Este processo forçou o avanço da ocupação produtiva para as áreas mais altas das propriedades com menor aptidão agrícola, incentivando a expansão das pastagens e dos monocultivos de eucalipto (CHIODI et al., 2013). Segundo Whately e Cunha (2007), alguns proprietários que permaneceram ao redor dos reservatórios, optaram por desenvolver atividades ligadas ao turismo, fazendo com que grandes áreas de vegetação nativa fossem substituídas por gramados e infraestruturas de lazer. Os fatos descritos acima podem ser evidenciados no Mapa de Uso e Ocupação do solo (Figura 1).



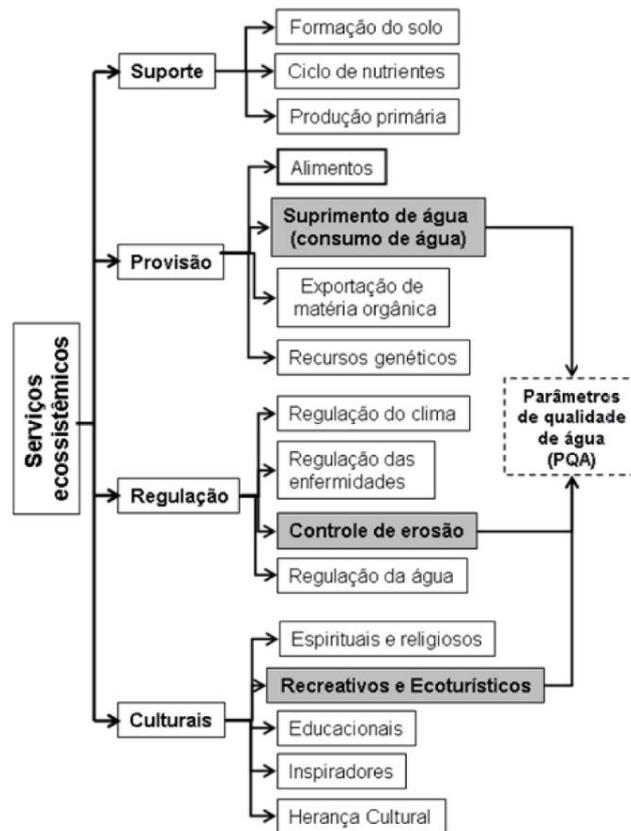
Fonte: (UEZU et al., 2017)

O Sistema Cantareira foi idealizado para suprir parte da região metropolitana e gerar abundância na oferta de serviços ecossistêmicos de água limpa, em face das mudanças ambientais, uso das terras, estresse hídrico e poluição. Desde sua criação, o sistema tem sido em grande parte bem-sucedido. No entanto, eventos recentes – como a seca intensa de 2014/2015 – e dificuldades persistentes com o gerenciamento – perdas, ineficiente dimensionamento da demanda e medidas paliativas em lugar de estruturantes – ressaltaram a vulnerabilidade do sistema às mudanças climáticas e à degradação ambiental, despertando interesse no emprego de novas estratégias para conservá-lo (OZMENT et al., 2018).

## 2.2. Serviços ecossistêmicos

Funções ecossistêmicas são as constantes interações existentes entre os elementos estruturais de um ecossistema, incluindo transferência de energia, ciclagem de nutrientes, regulação de gases, regulação climática e do ciclo da água (DALY; FARLEY, 2004). Uma função passa a ser considerada um serviço ecossistêmico (SE) quando ela apresenta possibilidade/potencial de ser utilizada para fins humanos (HUETING et al., 1997). Assim sendo, conforme Andrade et al. (2009), sob uma ótica de utilidade antropocêntrica, uma função ecossistêmica gera um determinado serviço ecossistêmico quando os processos naturais subjacentes desencadeiam uma série de benefícios direta ou indiretamente apropriáveis pelo ser humano. Em outras palavras, o bem-estar humano é profunda e indissociavelmente dependente dos serviços ecossistêmicos, que, em última instância, suportam as condições de vida das espécies humana e não humanas (ANDRADE, et. al. 2012). As funções ecossistêmicas podem ser agrupadas em: **I**) funções de suporte: por exemplo, a formação do solo e ciclagem de nutrientes; **II**) funções de provisão: como alimentos e água; **III**) funções de regulação: tais como a regulação de inundações, secas e degradação do solo; **IV**) funções culturais: assim como de lazer, espiritual, religioso e outros benefícios não materiais (MEA, 2005). A partir dessa classificação e observando a Figura 2, nota-se que a função de regulação está diretamente ligada aos atributos físicos do solo, visto que este fator pode avaliar a capacidade das estruturas do solo resistirem à erosão (NUNES; CASSOL, 2008).

Figura 2 – Serviços Ecosistêmicos do solo e sua relação com parâmetros de qualidade da água (PQA).



Fonte: adaptado de LIMA, (2011).

As funções de regulação são entendidas como à capacidade dos ecossistemas regularem processos ecológicos essenciais de suporte à vida, são aquelas relacionadas aos seus aspectos estruturais, como a cobertura vegetal e o sistema de raízes: a capacidade de prevenção (ou mitigação) de distúrbios (ou danos naturais), que resulta da habilidade dos ecossistemas naturais em tornar menos severos os efeitos de desastres e eventos de perturbação natural; capacidade de absorção de água e resistência eólica da vegetação; a capacidade de filtragem e estocagem de água, que regulam sua disponibilidade ao longo das estações climáticas; a capacidade de retenção (proteção) de solo, que previne o fenômeno de erosão e compactação do solo, beneficiando diretamente as funções ecossistêmicas que dependem deste recurso em boas condições naturais (ANDRADE et al., 2012).

Como os SE são em grande parte bens não mercantis, eles são excluídos da tomada de decisão econômica formal e, portanto, são subvalorizados e usados em excesso. Uma tentativa de reverter essa tendência ao avaliar o valor econômico dos serviços ecossistêmicos é que os serviços prestados por um ecossistema devem ser identificados, classificados e depois valorados economicamente (KUMAR, 2010; MEA, 2005). Em resposta a este cenário, a

valoração ambiental é um instrumento que busca atribuir valor monetário aos serviços ecossistêmicos, evitando que estes sejam degradados, incentivando a sua recuperação ou contribuindo para sua conservação (COSTANZA et al., 1997). Neste âmbito é que surge o mecanismo de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) que pode ser entendido como uma transferência de recursos entre atores sociais, objetivando criar incentivos para alinhar decisões individuais ou coletivas de uso da terra com o interesse social na gestão de recursos naturais (MURADIAN et al., 2010). O PSA de maior destaque a nível nacional é o projeto Conservador das Águas no município de Extrema - MG, sendo o primeiro projeto desse cunho estabelecido no país com base legal, tendo alcançado resultados práticos significativos (PAGIOLA; CARRASCOSA; TAFARELLO, 2013).

A valoração financeira de um serviço ambiental encontra dificuldades de mensuração pela subjetividade dos parâmetros que os envolvem, posto que não seja palpável atribuir valores econômicos padronizados expressos em dinheiro a todas as funções do ecossistema (WALDMAN; ELIAS, 2013). É nesse contexto que estudos têm buscado valorar os benefícios econômicos providos pelos ecossistemas e seus serviços ambientais para a sociedade (KUMAR, 2010). Segundo Guedes e Seehusen (2011), estudos vêm sendo conduzidos para elucidar questões importantes que permeiam a construção de esquemas PSA-Água, como aquele sobre a correlação entre o impacto econômico da erosão no custo de tratamento de água em diferentes bacias do estado de São Paulo, por exemplo, Sousa (2013) constatou que a redução da produção de sedimentos na água bruta diminuiria os custos de tratamento da água em quase R\$ 12,2 milhões por ano, nas bacias hidrográficas que abastecem a Grande São Paulo, incluindo o Cantareira.. Se os instrumentos legais de PSA tiverem por fim o redirecionamento do uso do solo e serviços (ecológicos e econômicos), estes estudos devem ser fomentados, acompanhados e utilizados como piloto para alcançarem a escala necessária aos projetos de PSA, logo apoiar estudos ao nível de projeto, bacia ou região é extremamente relevante na construção dos saberes sobre PSA (GUEDES; SEEHUSEN, 2011).

### **2.3. Sistemas de Uso**

A qualidade do solo expressa os efeitos das práticas de manejo que são adotadas, cujas ações de origem física, química e biológica afetam o processo dinâmico de construção ou degradação do solo (RALICH et al., 2017), ademais, a estrutura do solo também está relacionada diretamente à estabilidade de agregados, porosidade, aeração, densidade,

disponibilidade de nutrientes e capacidade de retenção e infiltração de água no solo (CAMPOS, 2012).

Logo, se utilizadas práticas inadequadas de manejo, as mudanças no uso e cobertura do solo provenientes da urbanização e conversão da vegetação nativa em área de produção agrícola, resultam em impactos econômicos geralmente não previstos, como os custos associados ao controle de enchentes, ao fornecimento de água potável, controle da erosão do solo (PARRON et al., 2015) e como agravante, além do solo o escoamento superficial também transporta nutrientes solúveis que podem gerar assoreamento dos corpos hídricos e eutrofização (BARROS et al., 2018; BISPO et al., 2017).

Cabe reiterar que conforme Uezu et al. (2017), as duas principais atividades rurais no Sistema Cantareira são a pecuária e a silvicultura (principalmente eucalipto). Atrelado à pecuária, cerca de 50 % da área do sistema corresponde a pastagens, em geral degradadas, com baixa biomassa e pobres em nutrientes, permitindo uma maior exposição do solo a processos erosivos (UEZU et al., 2017).

O método de pastejo contínuo constitui uma prática comum para maioria dos criadores do Brasil, onde o rebanho tem acesso irrestrito e ininterrupto a toda a pastagem por um longo período de tempo (DE ANDRADE, 2011), o que ocasiona utilização do pasto além da capacidade de suporte no período de estiagem e contribui para acelerar o processo de degradação (SILVA et al., 2004). Segundo Moreira et al. (2005) o manejo animal extensivo, em geral, não obedece ao ciclo de desenvolvimento da vegetação que com o passar do tempo não conseguem manter bom desenvolvimento, devido ao consumo da massa verde pelo animal, a falta de reposição dos nutrientes, a acidificação do solo, a perda da matéria orgânica e a compactação do solo por pisoteio (LEÃO et al., 2004), diminuindo a eficiência das pastagens e acarretando o aumento da densidade e diminuição dos espaços porosos, o que prejudica o estabelecimento das forrageiras que alimentam o gado e também protegem o solo, (MULLER et al., 2001). Com isso, pragas, plantas daninhas e, principalmente, a erosão hídrica, nos seus diversos estágios, passam a ocorrer nessas pastagens (SANTOS, 1997).

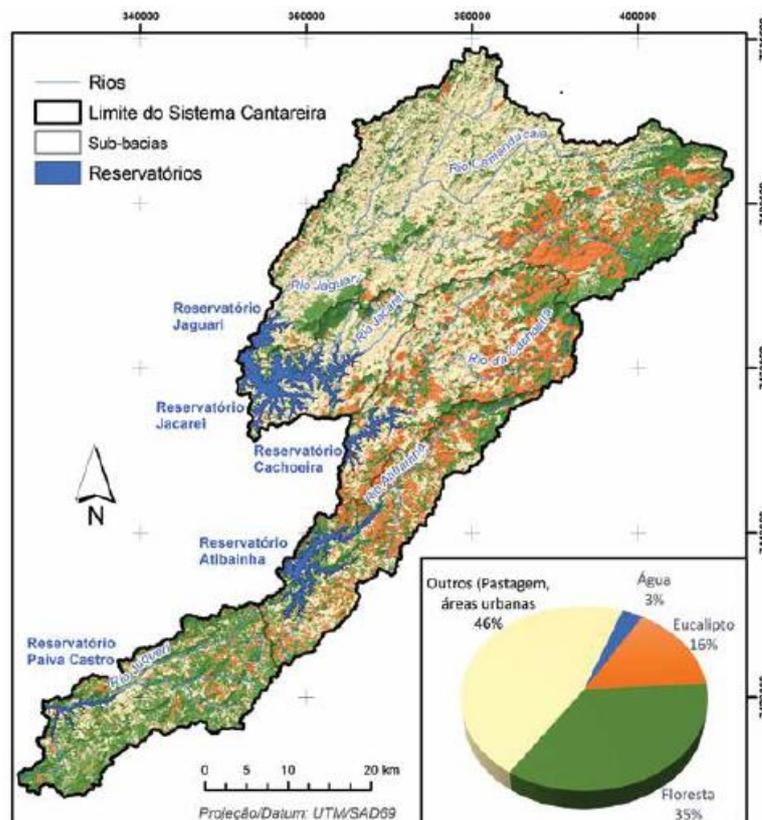
Considerando que a intensidade e tempo de pastejo influenciam a magnitude das alterações nos atributos do solo, uma alternativa é o sistema denominado pastejo rotacionado, em que a pastagem é subdividida em três ou mais piquetes, que são pastejados em sequência por um ou mais lotes de animais (DE ANDRADE, 2011). Ainda de acordo com De Andrade (2011), essa configuração favorece uma ciclagem de nutrientes mais eficiente, devido à melhor distribuição de fezes e urina na pastagem e contribui para a manutenção de pastagens bem manejadas, em que as forrageiras normalmente apresentam crescimento mais vigoroso,

protegem melhor o solo e conseguem competir de forma mais vantajosa com as plantas invasoras, resultando em menor gasto com limpeza e manutenção das pastagens, contribuindo também para melhorar a nutrição do rebanho e, conseqüentemente, aumentar seus índices produtivos, reprodutivos e sanitários.

O efeito da manutenção na cobertura do solo tem ainda ação direta na redução da erosão hídrica, pois promove a dissipação da energia cinética das gotas da chuva, diminuindo a desagregação das partículas de solo e o selamento superficial, aumentando a infiltração da água e atuando também, na redução da velocidade da enxurrada e seu potencial erosivo (COGO; LEVIEN; SCHWARZ, 2003).

A silvicultura é outra atividade importante para a região – ocupando cerca de 16 % da área, (Figura 1) – e cujos impactos ambientais também estão intimamente associados ao tipo de manejo utilizado, dessa forma, é fundamental um bom planejamento e zoneamento dessa atividade visando aliar os ganhos econômicos e ambientais. (UEZU et al., 2017). Conforme Avanzi et al. (2013) apesar de áreas com eucalipto apresentarem valores de perda de solo inferiores aos toleráveis, melhores práticas de manejo devem ser consideradas, com o objetivo de torná-las mais sustentáveis, com taxa de erosão mais próxima da floresta nativa.

Figura 1 – Uso do solo no Sistema Cantareira



Fonte: (UEZU et al., 2017)

No tocante à inserção do Sistema Cantareira no Bioma Mata Atlântica vale ressaltar que a Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC) publicou um manifesto escrito por cientistas brasileiros, reunindo estudos que destacam o papel das áreas de proteção permanentes (APP) na atenuação das cheias, redução da erosão do solo, no condicionamento da qualidade da água e redução do assoreamento dos rios (SILVA et al., 2011). Além disso a conservação da biodiversidade depende tanto de ações de proteção e recuperação de ecossistemas nativos, quanto daquelas voltadas ao uso e manejo sustentável do solo e dos recursos naturais (GUEDES; SEEHUSEN, 2011).

Portanto, é necessário conhecer e monitorar os indicadores de qualidade do solo, suas potencialidades e fragilidades e as características de cada sistema, para facilitar a escolha das melhores formas de uso e manejo do solo (PARRON et al., 2015).

#### **2.4. Estabilidade de agregados**

A estrutura do solo se dá através da organização de suas partículas minerais, que podem estar individualizadas ou em agregados formados a partir da aproximação e cimentação dessas partículas (BRADY; WEIL, 2013), esses processos são fortemente condicionados pelo teor de matéria orgânica no solo (MOS) que em razão de sua estrutura complexa e longas cadeias de carbono agrega as partículas minerais (DUFRANC et al., 2004), além disso conforme Salton et al. (2008), há outros agentes cimentantes ligados à aspectos biológicos, como a atividade microbiana, liberação de exsudatos, crescimento e funcionamento das raízes, crescimento e morte de tecidos, entre outros. Apesar de afetada diretamente pela MOS, a agregação também varia com a textura e mineralogia dos solos (SALTON; BAYER; MIELNICZUK, 2008).

Segundo Braida et al. (2008) a formação e estabilização de agregados constitui a base da qualidade estrutural do solo, a qual por sua vez, pode ser entendida como a capacidade do solo funcionar para sustentar a produtividade animal e vegetal, manter ou melhorar a qualidade da água e do ar e prover moradia e saúde humana (KARLEN et al., 1998).

Por se tratar de um atributo sensível às práticas agrícolas, a estabilidade de agregados pode ser utilizada na avaliação dos efeitos dessas práticas na resiliência do sistema solo (TAVARES FILHO et al., 2012). Operações agrícolas que envolvem mobilização e ou tráfego sobre o solo alteram substancialmente a estrutura dos solos, modificando as condições que determinam o ambiente de crescimento radicular. Na maioria das vezes, há degradação da

qualidade do solo, cujos principais atributos indicadores parecem ser a agregação e a compactação (REICHERT; REINERT; BRAIDA, 2003)

Uma classificação proposta para a estrutura do agregado é quanto ao tamanho, conforme Tisdall & Oades (1982) aqueles cujos diâmetros estão entre 20 e 250  $\mu\text{m}$  constituem os microagregados, e os maiores são denominados macroagregados. Agregados maiores são considerados mais estáveis e são indicativos de solo com maior qualidade estrutural (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

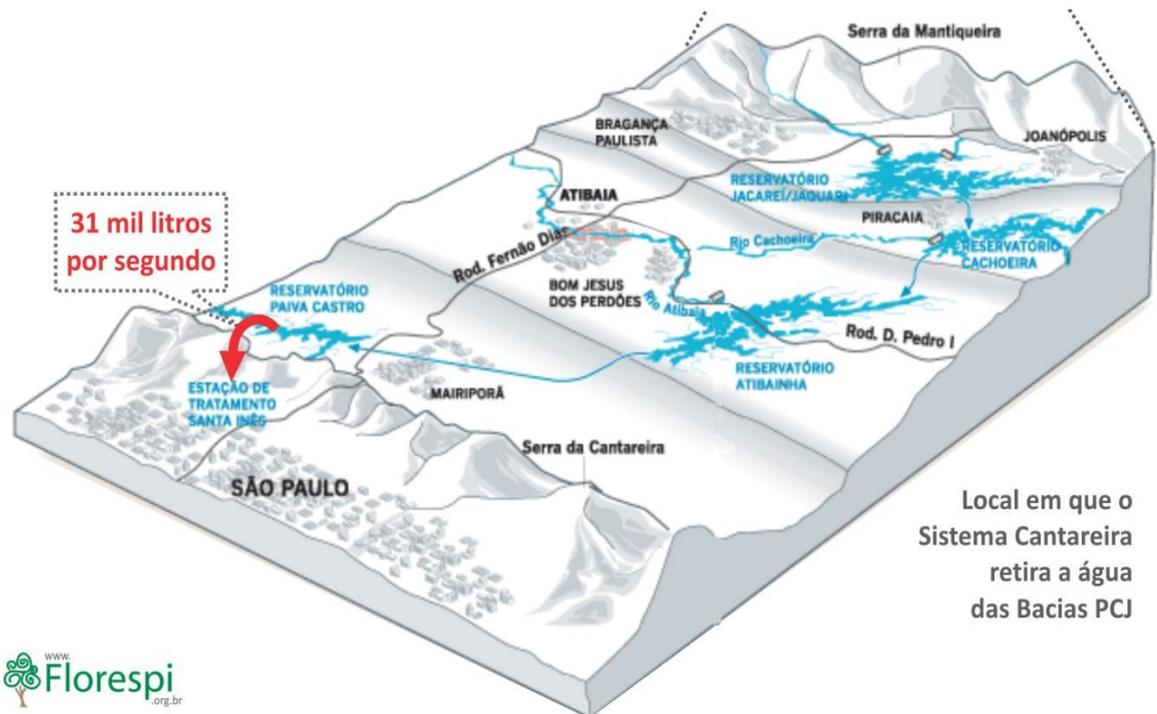
Os efeitos das plantas sobre a estabilidade dos agregados podem ser diretos ou indiretos, principalmente pela ação de proteção dos agregados superficiais, aporte de matéria orgânica na superfície ou internamente ao solo, e ação do sistema radicular. (REICHERT; REINERT; BRAIDA, 2003). Conforme observado por Rasse et al. (2005) as raízes podem crescer no interior dos agregados, promovendo a proteção e estabilização do carbono no solo. Aliado a esse processo há também a ação das hifas fúngicas que se desenvolvem além da rizosfera, colonizando o solo, auxiliando tanto na absorção de nutrientes pelas plantas como na contribuição para melhorar a estruturação e aeração do solo, produzindo glicoproteínas cimentantes envolvidas na agregação do solo (RILLIG; MUMMEY, 2006). Assim, o aporte de carbono pelas raízes é fundamental para a existência de agregados maiores e a consequente melhoria na agregação, reduzindo a susceptibilidade do solo à erosão (FERREIRA et al., 2010). Além disso, o aumento do teor de carbono orgânico confere à estrutura do solo maior capacidade de se recuperar após aplicação de forças externas (BRAIDA et al., 2008), por exemplo pisoteio animal.

Green et al. (2006) e Wright (2009) observaram uma maior quantidade proporcional de fósforo (P) - principalmente em formas orgânicas - em macroagregados se comparados aos microagregados, evidenciando que práticas de manejo que preservam a MOS e promovem maior agregação do solo também contribuem para a diminuição de perdas de P por erosão pois favorecem a formação de agregados com maior quantidade de P orgânico lábil, que se carregado a corpos hídricos, acelera o processo de eutrofização e compromete a qualidade da água (DANIEL et al., 1998).

Diante desses fatos, conclui-se que é essencial o estudo da estabilidade de agregados com o intuito de mensurar as alterações ocasionadas pelos diferentes tipos de manejo e direcionar mudanças que promovam uma maior qualidade do solo.



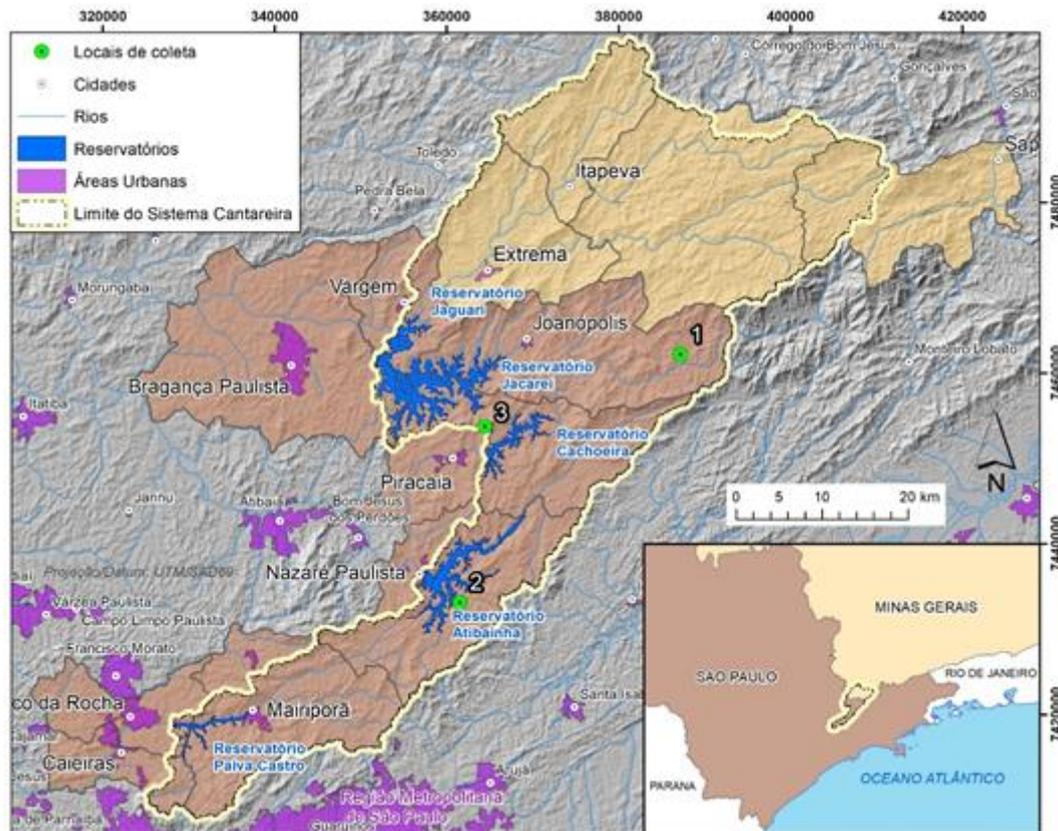
Figura 4 – Sistema Cantareira (3D)



Fonte: Florespi. SP precisará de “mais um Cantareira” em 30 anos, diz o Ministério Público. 15/04/2014. Disponível em: <<http://www.florespi.org.br/1504-sp-precisara-de-mais-um-cantareira-em-30-anos-diz-o-ministerio-publico/>> acessado em: 23/09/2019.

O estudo foi realizado nas fazendas Santa Cruz, Alexandre Uezu e Cravorana localizadas respectivamente nos municípios de Joanópolis, Nazaré Paulista e Piracaiá, todas inseridas no Sistema Cantareira em São Paulo (Figura 5). Em cada área foram avaliados os diferentes usos do solo: Mata Nativa, Eucalipto, Pastagem contínua e Pastagem rotacionada. O clima da região é classificado como Cwb, segundo a classificação de Köppen, com invernos frios e secos e verões quentes e úmidos (ALVARES et al., 2013). A pluviosidade média anual é de 1570 mm e as temperaturas médias anuais variam de 18° C a 20° C. Os solos foram classificados com base no solo sob Mata Nativa, segundo Santos (2013) como Cambissolo Háplico, Argissolo Vermelho Amarelo e Neossolo Regolítico.

Figura 5 – Localização dos pontos de coleta no Sistema Cantareira



<sup>1</sup>Joanópolis, <sup>2</sup>Nazaré Paulista e <sup>3</sup>Piracaia

Fonte: do autor (2019)

### 3.2. Amostragem

Em fevereiro de 2019 foi realizada a amostragem do solo para as análises laboratoriais. Amostras de solo preservadas, foram coletadas nos horizontes A e B, com três repetições em cada horizonte, sob os diferentes usos em cada tipo de solo para a realização da análise textural, estabilidade de agregados e fertilidade do solo. Como o Neossolo não possui horizonte B diagnóstico ( $\geq 10\text{cm}$ ) foi considerado o horizonte B\*, entendido como a camada de transição entre o horizonte A e o Horizonte C.

Tabela 1 – Pontos de coleta e respectivos solos coletados no Sistema Cantareira

Fazenda	Município	Solo
Santa Cruz	Joanópolis	Neossolo Regolítico (RR)
Alexandre Uezu	Nazaré Paulista	Cambissolo Háplico (CX)
Cravorana	Piracaia	Argissolo Vermelho Amarelo (PVA)

Obs.: Os solos foram classificados com base no solo sob Mata Nativa.

Figura 6 – Perfis horizontais dos diferentes solos coletados no Sistema Cantareira



Argissolo Vermelho Amarelo [1]; Cambissolo Háplico [2]; Neossolo Regolítico [3].

Fonte: Do autor (2019)

### 3.3. Análises

No Laboratório de Física do Solo do Departamento de Ciência do Solo da UFLA, as amostras preservadas foram secas à temperatura ambiente e peneiradas a fim de separar os agregados com diâmetro entre 8 e 4,75 mm para estimativa da estabilidade dos agregados em água; já as partículas peneiradas  $\leq 2$  mm, foram reservadas para a análise textural e de fertilidade.

#### 3.3.1. Fertilidade

Na fertilidade do solo, analisou-se o pH em água; fósforo e potássio foram obtidos pelo método Mehlich; cálcio, magnésio e alumínio foram determinados por meio do extrator cloreto de potássio (KCl); a acidez potencial (H + Al) pelo extrator SMP e o teor de matéria orgânica foi estimada por oxidação.

#### 3.3.2. Textura

Para quantificar a textura do solo, utilizou-se o método da pipeta descrito por Teixeira et al. (2017) no qual foram pesados 10 g de terra fina seca ao ar (TFSA) e colocados em garrafas juntamente com 10 mL de hidróxido de sódio para auxiliar na dispersão do solo e água destilada para completar parte do volume. As garrafas foram montadas no do Agitador

de Wagner onde as amostras ficaram sob agitação durante 16 horas a 50 rpm (Figura 7). Após retiradas do agitador as amostras passaram por uma peneira de malha 0,053 mm para a separação da areia e foram colocadas nas provetas de 500 mL. A areia coletada foi para a estufa a 105 °C por 24 h e posteriormente peneirada para separação das frações texturais.

Após transferidas as amostras em suspensão para provetas de 500 mL, foi realizada a medição da temperatura de cada suspensão e da prova controle com um termômetro e agitação nos cilindros de sedimentação, inclusive da prova em branco, utilizando-se do bastão com tampa vazada feita de borracha. Aguardado o tempo de sedimentação, conforme o resultado do cálculo pela equação de Stokes com o valor medido de densidade de partícula, coletou-se uma alíquota de 10 mL de argila a 5 cm de profundidade da proveta, a qual foi levada para estufa a 105 °C por 24 h e então pesada em balança analítica

Figura 7 – À esquerda Agitador de Wagner seguido de provetas para análise textural



Fonte: Do autor (2019)

### 3.3.3. Argila Dispersa em Água e Índice de Flocculação

Para quantificar a argila dispersa em água (ADA), utilizou-se também o método da pipeta (TEIXEIRA et al., 2017) no qual foram pesados 10 g de terra fina seca ao ar (TFSA) e colocados nas garrafas do Agitador de Wagner com água destilada para completar parte do volume da garrafa. As amostras ficaram sob agitação durante 16 horas a 50 rpm (Figura 7). Após retiradas do agitador as amostras passaram por uma peneira de malha 0,053 mm para a separação da areia e foram colocadas nas provetas de 500 mL. A areia coletada foi para a estufa a 105 °C por 24 h e posteriormente peneirada para separação das frações texturais.

Após transferidas as amostras em suspensão para provetas de 500 mL, foi realizada a medição da temperatura de cada suspensão e da prova controle com um termômetro e agitação nos cilindros de sedimentação, inclusive da prova em branco, utilizando-se do bastão com tampa vazada feita de borracha. Aguardado o tempo de sedimentação, conforme o resultado do cálculo pela equação de Stokes com o valor medido de densidade de partícula, coletou-se uma alíquota de 10 mL de argila a 5 cm de profundidade da proveta, a qual foi levada para estufa a 105 °C por 24 h e então pesada em balança analítica.

Figura 7 – À esquerda Agitador de Wagner seguido de provetas para análise textural



Fonte: Do autor (2019)

O Índice de Floculação (IF) é a relação entre a argila naturalmente dispersa e a argila total, obtida após dispersão. Indica a proporção da fração argila que se encontra floculada, informando sobre o grau de estabilidade dos agregados e é obtido pela seguinte equação:

$$IF (\%) = [(a - b) / b] * 100 \quad (1)$$

Em que:

a – concentração de argila total (g kg<sup>-1</sup>)

b – concentração de argila dispersa em água (g kg<sup>-1</sup>)

### 3.3.4. Estabilidade de Agregados

A estabilidade dos agregados imersos em água foi feita pelo método de Yoder (TEIXEIRA et al., 2017) com pré-umedecimento, em que uma fração de 25 g de agregados foi colocada em uma superfície porosa e submetida ao princípio de umedecimento lento descrito por Kemper & Chepil (1965), após esse período foram adicionados na peneira superior de um conjunto (2; 1; 0,5; 0,25 e 0,105 mm) e permaneceram sob agitação num aparelho de oscilação vertical durante 15 minutos (Figura 6). Posteriormente, as porções retidas em cada peneira foram transferidas com o auxílio de jatos de água para cápsulas de alumínio numeradas e taradas, que posteriormente foram levadas à estufa à 105°C por 48 horas. A partir dos valores dessas massas, foram calculados o diâmetro médio geométrico (DMG) e o diâmetro médio ponderado (DMP) das seguintes maneiras:

$$DMP = \sum_{i=1}^n (xi \cdot wi) \quad (2)$$

$$DMG = \text{EXP} \left( \frac{\sum_{i=1}^n wp \cdot \log xi}{\sum_{i=1}^n wi} \right) \quad (3)$$

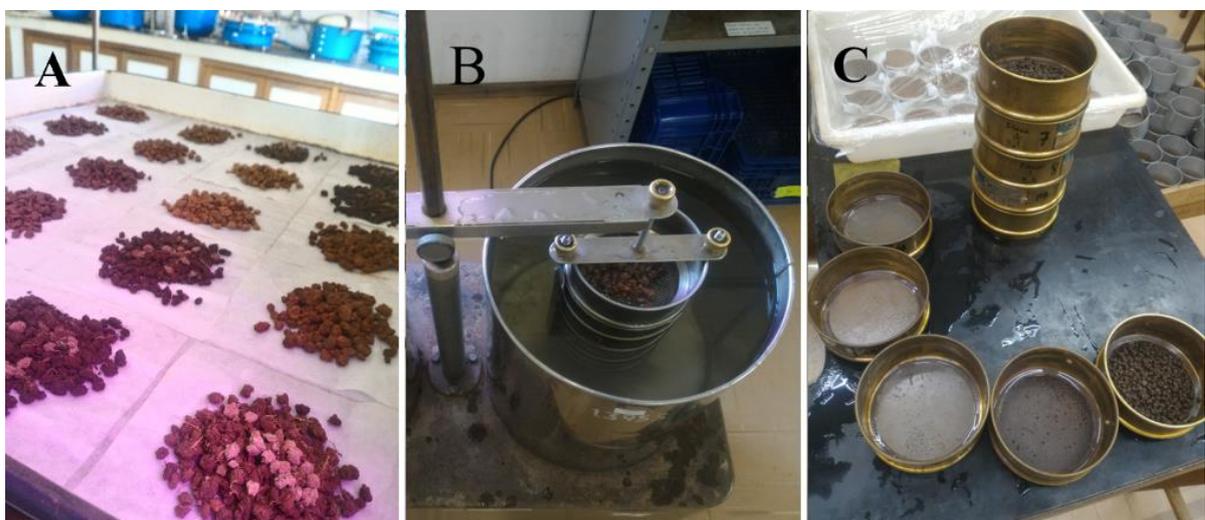
Em que:

$w_i$  = proporção de cada classe em relação ao total;

$x_i$  = diâmetro médio das classes (mm);

$w_p$  = peso dos agregados de cada classe (g);

Figura 8 – Análise de estabilidade dos agregados do solo.



A: pré-umedecimento; B: oscilador vertical; C: jogo de peneiras (2; 1; 0,5; 0,25 e 0,105 mm).

Fonte: Do autor (2019)

### 3.3.5. Índice de Estabilidade

O cálculo do Índice de Estabilidade (Is) obedeceu a seguinte equação:

$$Is = \frac{1,72 \times C.O. (wt\%)}{(Silte + Argila) (wt\%)} \times 100 \quad (4)$$

Onde *wt%* representa o peso dos teores de Carbono Orgânico, Silte e Argila, nas amostras. O valor de 1,72 presente no numerador da equação de Is é uma correção para estimar os teores de matéria orgânica (MO) no solo a partir do carbono orgânico (REYNOLDS et al., 2007), como foram obtidos valores de MO em análises laboratoriais o emprego desta estimativa foi substituído pelos resultados obtidos.

### 3.3.6. Análises Estatísticas

A partir do software SISVAR foi aplicada sobre o DMG, DMP e sobre o Is a análise de variância pelo teste Scott e Knott, que utiliza o teste da razão de verossimilhança para separar os diferentes tratamentos em grupos (a, b, c), utilizando-se o seguinte delineamento experimental: 3 solos \* 2 horizontes \* 3 repetições. Sendo que as avaliações foram feitas por comparação entre os horizontes.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Fertilidade

No que tange a fertilidade do solo (Tabela 2), verifica-se que os valores de pH variaram de 3,2 a 5,6. No geral o horizonte B dos solos apresentaram os maiores valores quando comparado ao horizonte A, evidenciando uma maior acidificação do horizonte superficial, podendo ser oriundo da acidificação provocada pela rizosfera.

Tabela 2 – Atributos químicos do solo sob diferentes usos para os solos em estudo no Sistema Cantareira

Solo	Uso	Horizonte	pH <sup>1</sup>	K <sup>2</sup>	P <sup>3</sup>	Ca <sup>2</sup>	Mg <sup>2</sup>	Al <sup>2</sup>	H+Al	
				--- mg/dm <sup>3</sup> ---	----- cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> -----	-----	-----	-----	-----	
CX	Mata nativa	A	4,1	38,99	3,34	0,69	0,10	2,46	17,52	
		Bi	3,2	12,18	0,72	0,10	0,10	1,41	4,78	
	Pastagem contínua	A	4,9	105,10	1,62	0,78	0,21	0,76	4,99	
		Bi	5,1	18,23	0,52	0,13	0,10	0,79	3,95	
	Pastagem rotacionada	A	4,9	56,76	1,16	0,53	0,37	0,97	6,45	
		Bi	5,3	17,55	1,06	0,17	0,10	0,84	4,32	
	Eucalipto	A	4,3	19,96	2,15	0,10	0,10	1,91	10,87	
		Bi	4,3	8,53	0,46	0,10	0,10	1,19	5,58	
	PVA	Mata nativa	A	4,3	57,63	3,10	1,06	0,38	1,51	10,51
			Bt	4,6	19,38	0,62	0,10	0,10	1,26	5,46
Pastagem contínua		A	5,0	57,35	1,61	1,49	0,53	0,47	5,96	
		Bt	5,2	16,31	0,97	0,28	0,10	1,13	5,70	
Pastagem rotacionada		A	5,4	37,16	3,03	1,70	0,56	0,39	4,37	
		Bt	5,6	10,83	0,78	1,74	0,10	0,64	4,42	
Eucalipto		A	4,6	27,07	3,44	1,50	0,30	1,02	6,59	
		Bt	4,8	7,53	0,82	0,52	0,10	1,94	10,99	
RR		Mata nativa	A	5,3	20,18	0,96	1,35	0,44	0,25	2,80
			B*	5,5	64,82	13,12	3,08	1,03	0,08	3,58
	Pastagem contínua	A	5,3	9,40	0,24	1,19	0,34	0,33	2,56	
		B*	5,5	36,71	1,41	2,72	0,82	0,13	3,66	
	Pastagem rotacionada	A	4,8	16,26	0,96	0,14	0,10	0,50	4,37	
		B*	4,7	41,75	3,13	0,12	0,10	1,44	12,01	
	Eucalipto	A	5,0	20,89	0,76	0,63	0,10	0,34	2,68	
		B*	5,5	132,33	33,45	2,34	0,30	0,21	6,45	

<sup>1</sup>pH em água; <sup>2</sup>Ca, Mg e Al extrator KCl 1 mol/L; H+Al extrator SMP; <sup>3</sup>P extrator Mehlich; Bi: Horizonte B incipiente; Bt: Horizonte B textural; B\*: camada de transição entre os horizontes A e C.

A mata nativa apresentou sempre os menores valores de soma de bases no Cambissolo Háplico e no Argissolo Vermelho Amarelo, a mudança no uso do solo pode ter proporcionado a adição de bases no solo via excrementos animais ou via fertilização mineral; já em relação a matéria orgânica, a mata nativa teve um destaque, apresentando maior quantidade de matéria orgânica, pois quando o manejo não envolve revolvimento do solo, a matéria orgânica é preservada (PEREIRA et al., 2011).

Tabela 2.1 – Continuação dos atributos químicos do solo sob diferentes usos para os solos em estudo no Sistema Cantareira

Solo	Uso	Horizonte	SB <sup>1</sup>	t <sup>2</sup>	T <sup>3</sup>	V <sup>4</sup>	m <sup>5</sup>	M.O. <sup>6</sup>	P-Rem <sup>7</sup>
			---- cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> ----	----	----	---- % ----	---- dag/kg	mg/L	
CX	Mata nativa	A	0,89	3,35	18,41	4,83	73,43	5,51	24,99
		Bi	0,23	1,64	5,01	4,62	85,98	1,41	19,54
	Pastagem contínua	A	1,26	2,02	6,25	20,15	37,62	3,34	27,73
		Bi	0,28	1,07	4,23	6,54	73,83	1,49	26,08
	Pastagem rotacionada	A	1,05	2,02	7,50	13,94	48,02	3,08	27,01
		Bi	0,32	1,16	4,64	6,79	72,41	0,91	23,47
	Eucalipto	A	0,25	2,16	11,12	2,26	88,43	3,82	20,30
		Bi	0,22	1,41	5,80	3,83	84,40	1,24	19,59
PV	Mata nativa	A	1,59	3,10	12,10	13,12	48,71	4,93	27,09
		Bt	0,25	1,51	5,71	4,37	83,44	1,03	23,29
	Pastagem contínua	A	2,17	2,64	8,13	26,65	17,80	2,65	23,87
		Bt	0,42	1,55	6,12	6,89	72,90	1,79	26,77
	Pastagem rotacionada	A	2,36	2,75	6,73	35,00	14,18	3,03	36,83
		Bt	1,87	2,51	6,29	29,69	25,50	1,36	24,78
	Eucalipto	A	1,87	2,89	8,46	22,10	35,29	2,92	26,54
		Bt	0,64	2,58	11,63	5,50	75,19	1,10	8,86
RR	Mata nativa	A	1,84	2,09	4,64	39,69	11,96	1,13	17,34
		B*	4,28	4,36	7,86	54,40	1,83	3,71	27,06
	Pastagem contínua	A	1,55	1,88	4,11	37,81	17,55	0,61	15,16
		B*	3,63	3,76	7,29	49,85	3,46	2,05	30,67
	Pastagem rotacionada	A	0,28	0,78	4,65	6,06	64,1	1,31	14,50
		B*	0,33	1,77	12,34	2,65	81,36	3,43	8,70
	Eucalipto	A	0,78	1,12	3,46	22,65	30,36	0,83	9,18
		B*	2,98	3,19	9,43	31,59	6,58	3,27	11,44

<sup>1</sup>SB: soma de bases; <sup>2</sup>t: capacidade de troca catiônica efetiva; <sup>3</sup>T: capacidade de troca catiônica a pH 7,0; <sup>4</sup>V: índice de saturação por bases; <sup>5</sup>m: índice de saturação de alumínio; <sup>6</sup>M.O.: oxidação Na<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 4N+ H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 10N ; <sup>7</sup>P-rem: fósforo remanescente; Bi: Horizonte B incipiente; Bt: Horizonte B textural; B\*: camada de transição entre os horizontes A e C.

## 4.2. Textura, Argila Dispersa em Água e Índice de Flocculação

Na Tabela 3 são apresentadas as médias das frações texturais dos solos situados nos locais de estudo, para cada uma dos diferentes manejos. Pode-se observar – em especial no Argissolo Vermelho Amarelo – teores de argila maiores nos horizontes B, evidenciando o processo natural de migração de partículas de argila dos horizontes superficiais para os horizontes subsuperficiais, denominada argiluviação (FANNING, 1989). Esse processo pode provocar mudanças consideráveis nas propriedades físicas do solo, como por exemplo originar o adensamento de determinadas camadas (SILVA, 2003).

Tabela 3 – Frações texturais dos solos nas localidades de estudo no Sistema Cantareira

Solo	Uso	Horizonte	Argila	Silte ----%----	Areia	Classe textural (SBCS <sup>8</sup> )	
CX <sup>1</sup>	MN <sup>4</sup>	A	36	15	49	Argilo arenosa	
		Bi	42	20	39	Argila	
	PC <sup>5</sup>	A	34	19	48	Franco-argilo arenosa	
		Bi	42	16	42	Argila	
	PR <sup>6</sup>	A	40	17	44	Franco-argilosa	
		Bi	46	14	40	Argila	
	E <sup>7</sup>	A	33	14	53	Franco-argilo arenosa	
		Bi	43	12	44	Argila	
	PVA <sup>2</sup>	MN	A	38	22	40	Franco-argilosa
			Bt	44	18	38	Argila
PC		A	25	12	62	Franco-argilo arenosa	
		Bt	28	15	57	Franco-argilo arenosa	
PR		A	23	16	61	Franco-argilo arenosa	
		Bt	40	13	48	Argilo arenosa	
E		A	34	18	49	Franco-argilo arenosa	
		Bt	56	15	29	Argila	
RR <sup>3</sup>	MN	A	55	12	33	Argila	
		B*	29	20	52	Franco-argilo arenosa	
	PC	A	55	13	32	Argila	
		B*	27	18	56	Franco-argilo arenosa	
	PR	A	42	16	42	Argila	
		B*	44	22	34	Argila	
	E	A	38	23	39	Franco-argilo arenosa	
		B*	45	32	23	Argila	

<sup>1</sup>Cambissolo Háptico; <sup>2</sup>Argissolo Vermelho Amarelo; <sup>3</sup>Neossolo Regolítico; <sup>4</sup>Mata Nativa; <sup>5</sup>Pastagem contínua; <sup>6</sup>Pastagem rotacionada; <sup>7</sup>Eucalipto; <sup>8</sup>SBCS: Sistema Brasileiro de Classificação de Solo; Bi: Horizonte B incipiente; Bt: Horizonte B textural; B\*: camada de transição entre os horizontes A e C.

Na Tabela 4 observa-se que os valores de Argila Dispersa em Água são inversamente proporcionais aos valores do Índice de Floculação. Segundo Oliveira et al. (2003) efeitos compressivos ocasionados pelo manejo tendem a desestruturar o solo com consequente aumento da ADA, devido à modificação na interação das partículas minerais, diminuindo, portanto, seu índice de floculação. Ademais, maiores valores de ADA e menores de IF, indicam alta susceptibilidade à erosão (LIMA et al., 2013). Menores valores de ADA foram encontrados no horizonte B em contraste com valores maiores no Horizonte A do Neossolo Regolítico, o que pode ser relacionado diretamente aos altos teores respectivos de MO.

Tabela 4 – Valores médios de Argila Dispersa Em Água (ADA) e do Índice De Floculação (IF) para diferentes usos do solo para os solos em estudo no Sistema Cantareira

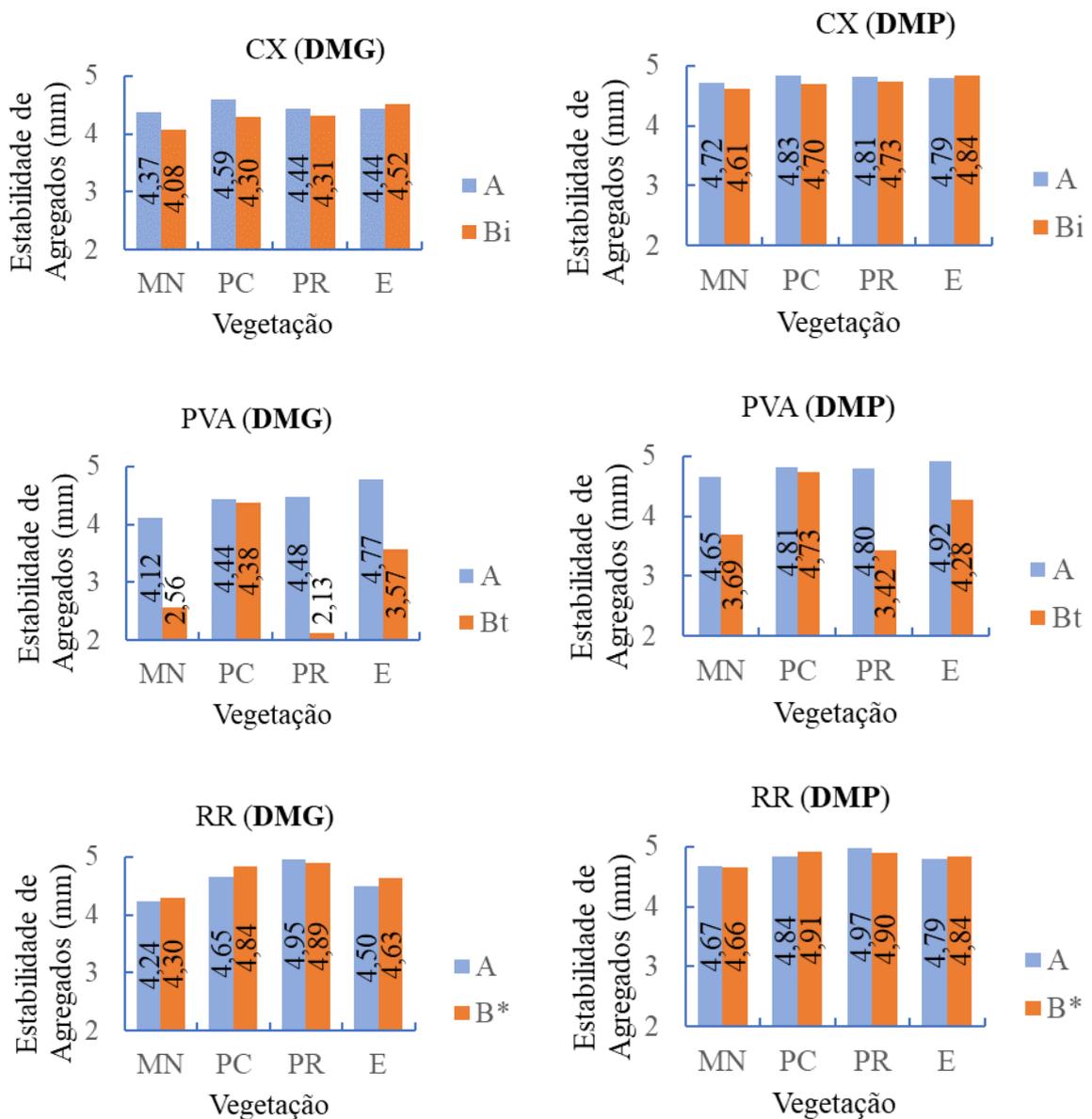
Solo	Uso	Horizonte	Argila Dispersa	Índice de
			em Água	Floculação
			-----%-----	
CX <sup>1</sup>	Mata nativa	A	14,75	59,43
		Bi	28,20	32,06
	Pastagem contínua	A	16,68	50,52
		Bi	28,01	33,06
	Pastagem rotacionada	A	20,54	48,47
		Bi	32,22	29,77
	Eucalipto	A	10,54	68,08
		Bi	30,48	29,82
PVA <sup>2</sup>	Mata nativa	A	20,38	46,03
		Bt	30,12	32,29
	Pastagem contínua	A	16,51	35,16
		Bt	19,79	29,81
	Pastagem rotacionada	A	14,40	37,42
		Bt	29,59	25,24
	Eucalipto	A	20,37	39,27
		Bt	37,83	32,50
RR <sup>3</sup>	Mata nativa	A	26,42	51,92
		B*	9,43	67,27
	Pastagem contínua	A	24,83	55,24
		B*	11,00	58,82
	Pastagem rotacionada	A	19,02	55,00
		B*	8,38	80,95
	Eucalipto	A	2,64	93,06
		B*	9,95	77,91

<sup>1</sup>Cambissolo Háplico; <sup>2</sup>Argissolo Vermelho Amarelo; <sup>3</sup>Neossolo Regolítico; Bi: Horizonte B incipiente; Bt: Horizonte B textural; B\*: camada de transição entre horizontes A e C.

### 4.3. Estabilidade de Agregados

O DMG variou de 2,13 a 4,95 milímetros, já para o DMP os valores ficaram entre 3,42 e 4,97 mm (Figura 9), sendo que os valores máximos foram encontrados nos horizontes A e B da pastagem rotacionada do Neossolo Regolítico, esses valores podem ter sido influenciados pela alta pedregosidade deste solo. Já valores mínimos foram observados no horizonte B da mata nativa e eucalipto, ambos no Argissolo Vermelho Amarelo.

Figura 9 – Valores de DMG e DMP nos horizontes A e B dos solos sob os diferentes usos dos solos em estudo no Sistema Cantareira



CX: Cambissolo Háplico; PVA: Argissolo Vermelho Amarelo; RR: Neossolo Regolítico. Bi: Horizonte B incipiente; Bt: Horizonte B textural; B\*: camada de transição entre horizontes A e C.

Segundo Castro et al. (1998), o DMP é tanto maior quanto maior for a percentagem de agregados retidos na peneira de 2,00 mm e o DMG representa uma estimativa do tamanho da classe de agregados que ocorre com maior frequência. A partir do embasamento pela literatura pesquisada esperava-se uma influência significativa dos manejos sob os agregados do solo. Contudo tanto o para o DMG quanto para o DMP, não foram encontradas diferenças estatísticas significativas em relação aos manejos adotados. Resultados semelhantes foram obtidos por Salton et al. (2008).

Na Figura 7 buscou-se observar graficamente as pequenas diferenças nos valores de DMG e DMP para cada tipo de solo, para ambos horizontes. No que tange ao Neossolo Regolítico, os altos valores das variáveis indicadoras da agregação, como DMG e DMP, podem ter sido superestimados em razão da alta pedregosidade observada para este solo. Nota-se que para a maioria dos sistemas de uso e manejo, o Argissolo Vermelho Amarelo apresentou valores ligeiramente menores de DMG e DMP, corroborando com o estudo de Flores (2007), o qual destacou que essas alterações dependem do tipo de solo – sendo mais acentuadas em solos argilosos – da textura e do teor de matéria orgânica.

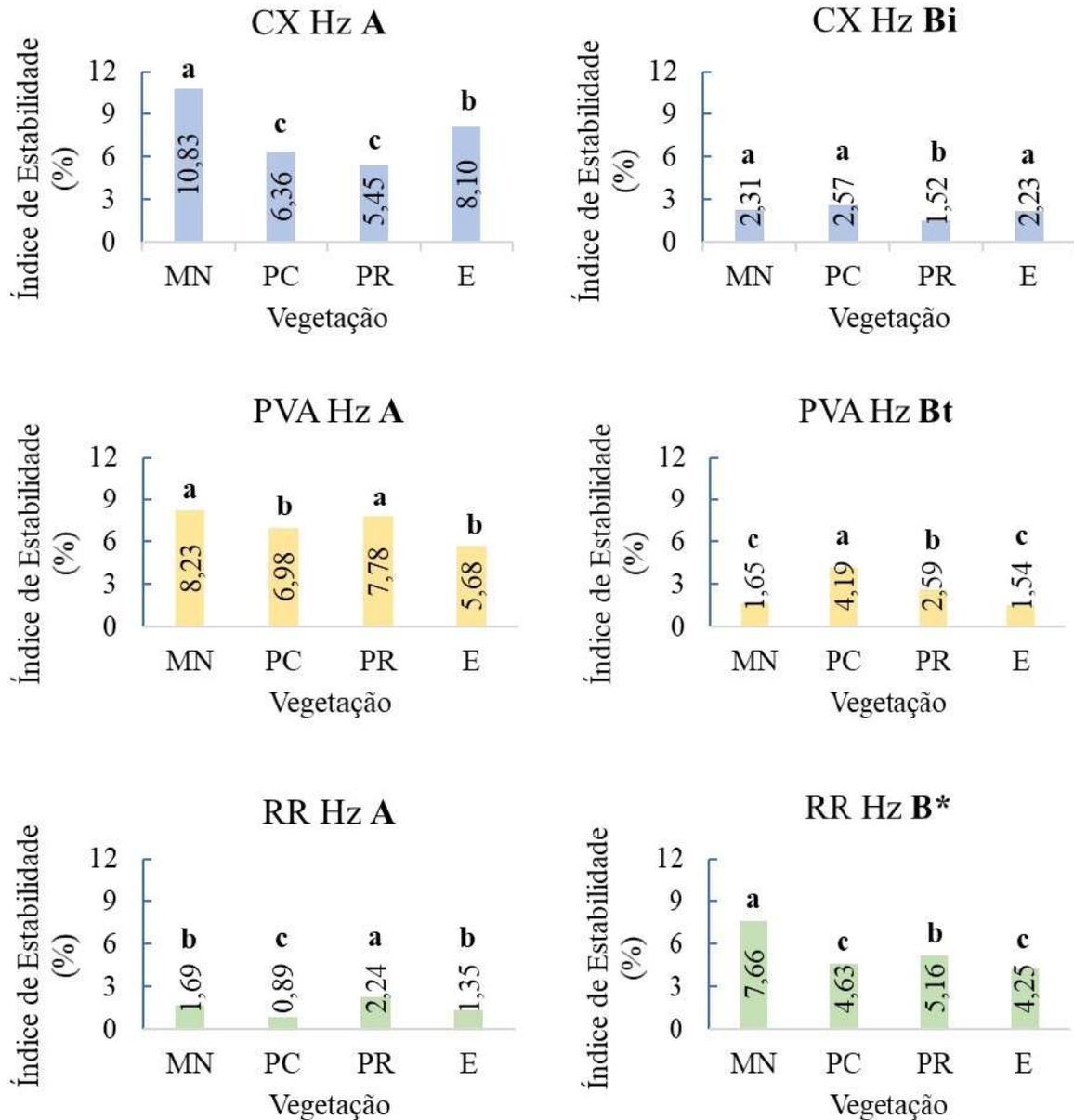
#### **4.4. Índice de Estabilidade**

Segundo Adesodun et al. (2015), valores do índice de estabilidade (Is) abaixo de 5 % indicam alto impacto; entre 5-7 % indicam alto risco de degradação estrutural e acima de 7 % indicam baixo risco de degradação.

Nos horizontes A as médias dos resultados do índice de estabilidade nos diferentes tipos de solo foram maiores no Cambissolo Háplico e no Argissolo Vermelho Amarelo; já para os horizontes B o Neossolo Regolítico apresentou valores muito superiores independente dos manejos. Esses resultados podem ser relacionados diretamente aos valores de matéria orgânica respectivos, sendo que devido à alta pedregosidade do Neossolo pode ter ocorrido um efeito de concentração da MO no solo analisado. Esses resultados evidenciam a relação íntima entre o teor de matéria orgânica e a qualidade estrutural do solo. No geral a mata nativa apresentou uma frequência maior de valores absolutos de Is maiores que 7% nos diferentes usos, indicando baixo risco de erosão, fato intimamente influenciado pelo porte da vegetação presente e pelos maiores teores de matéria orgânica. Já o valor mínimo de Is encontrado foi para pastagem contínua no Neossolo Regolítico, indicando um solo jovem, sem muita estruturação e aporte de carbono orgânico.

A partir dos resultados do teste de Skott-Knott ( $p \leq 0,05$ ) aplicado sobre os valores do Índice de estabilidade, nota-se que houve distinção estatística para maioria dos diferentes usos em cada tipo de solo estudado (Figura 10).

Figura 10 – Comparação múltipla (Scott-Knott) do Índice de estabilidade nos horizontes A e B em diferentes usos do solo para os solos em estudo no Sistema Cantareira.



CX: Cambissolo Háplico; PVA: Argissolo Vermelho Amarelo; RR: Neossolo Regolítico; Hz: Horizonte; Bi: Horizonte B incipiente; Bt: Horizonte B textural; B\*: camada de transição entre horizontes A e C.

## **5. CONCLUSÕES**

Para as condições do estudo, a estabilidade de agregados do solo pelo método do Yoder (DMG e DMP), não apresentou diferença estatística para os tratamentos impostos.

O Índice de Estabilidade foi eficiente para indicar os efeitos dos manejos adotados sobre o risco de degradação estrutural nos solos estudados no Sistema Cantareira.

### **Considerações finais**

A partir da avaliação de alguns atributos físicos do solo foi possível realizar a avaliação e caracterização dos solos representativos do Sistema Cantareira, que podem servir de subsídio para estudos futuros.

Apesar do bom desempenho do  $I_s$  para expressar o nível de degradação estrutural do solo, se faz necessária a continuidade na realização de estudos na área abordada em diferentes aspectos e com diferentes metodologias, uma vez que os demais atributos físicos e químicos estimados neste trabalho não foram capazes de elucidar de forma satisfatória a influência dos manejos em seus resultados.

## REFERÊNCIAS

- ADESODUN, J. K. et al. Carbon-Nitrogen Stocks and Structural Stability of a Tropical Loamy Sand Soil as Influenced by *Tithonia diversifolia* (L.) and Other Fertilizers. *International Journal Of Soil Science*, v. 10, n. 1, p. 37, 2015.
- ALVARES, Clayton Alcarde et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ANA (Agência Nacional de Águas), 2010, BRASIL, ATLAS. Abastecimento Urbano de Água: Resultados por Estado. Brasília.
- ANDRADE, Daniel Caixeta; ROMEIRO, Ademar Ribeiro. Serviços ecossistêmicos e sua importância para o sistema econômico e o bem-estar humano. Campinas: IE/UNICAMP, n. 155, 2009.
- ANDRADE, Daniel Caixeta et al. Dinâmica do uso do solo e valoração de serviços ecossistêmicos: notas de orientação para políticas ambientais. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 25, 2012.
- AVANZI, Junior Cesar et al. Spatial distribution of water erosion risk in a watershed with eucalyptus and Atlantic Forest. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 37, n. 5, p. 427-434, 2013.
- BARROS, E, N, de S, et al, Modelagem da erosão hídrica nas bacias hidrográficas dos rios Lontra e Manoel Alves Pequeno, Tocantins. **Brazilian Journal of Agricultural Sciences/Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 13, n. 1, 2018.
- BISPO, Diêgo Faustolo Alves et al. Soil, water, nutrients and soil organic matter losses by water erosion as a function of soil management in the Posses sub-watershed, Extrema, Minas Gerais, Brazil. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 38, n. 4, p. 1813-1824, 2017.
- BRADY, Nyle C.; WEIL, Raymond. **Nature and properties of soils, the: Pearson new international edition**. Pearson Higher Ed, 2013.
- BRAIDA, João Alfredo et al. Elasticidade do solo em função da umidade e do teor de carbono orgânico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 2, p. 477-485, 2008.
- CAMPOS, L. P. Matéria Orgânica e qualidade física do solo em ambientes brasileiros. **FERNANDES, C.(Coord.) Tópicos em física do solo. Funep, Jaboticabal-SP, 2012.**
- CASTRO FILHO, C. de; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 3, p. 527-538, 1998.
- CHIODI, Rafael Eduardo; SARCINELLE, Oscar; UEZU, Alexandre. Gestão dos recursos hídricos na área do Sistema Produtor de Água Cantareira: um olhar para o contexto rural. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 8, n. 3, p. 151-165, 2013.

COGO, Neroli Pedro; LEVIEN, Renato; SCHWARZ, Ricardo Altair. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista brasileira de ciência do solo. Campinas. Vol. 27, n. 4 (jul./ago. 2003), p. 743-753**, 2003.

COMPANHIA BRASILEIRA DE PROJETOS E EMPREENDIMENTOS – COBRAPE, **Plano das bacias hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá 2010 a 2020: relatório síntese**, São Paulo: Cobrape: Neoband Soluções Gráficas, 2011, 128 p.

COSTANZA, Robert et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **nature**, v. 387, n. 6630, p. 253, 1997.

DALY, Herman E.; FARLEY, Joshua. **Ecological economics: principles and applications**. Island press, 2011.

DANIEL, T. C.; SHARPLEY, A. N.; LEMUNYON, J. L. Agricultural phosphorus and eutrophication: A symposium overview. **Journal of environmental quality**, v. 27, n. 2, p. 251-257, 1998.

DE ANDRADE, C. M. S. Pastejo rotacionado: tecnologias para aumentar a produtividade de leite e a longevidade das pastagens. **Embrapa Acre-Fôlder/Folheto/Cartilha (INFOTECA-E)**, 2008.

DE ANDRADE, C. M. S.; FERREIRA, A. S.; FARINATTI, L. H. E. Tecnologias para intensificação da produção animal em pastagens: fertilizantes x leguminosas. In: **Embrapa Acre-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 26., 2011, Piracicaba. A empresa pecuária baseada em pastagens: anais. Piracicaba: FEALQ, 2011., 2011.

DUFRANC, G. et al. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois latossolos em plantio direto no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 3, p. 505-517, 2004.

FANNING, Delvin Seymour et al. **Soil morphology, genesis and classification**. John Wiley and Sons Inc., 1989.

FERREIRA, Rogério Resende Martins; TAVARES FILHO, João; FERREIRA, Vinicius Martins. Efeitos de sistemas de manejo de pastagens nas propriedades físicas do solo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 4, p. 913-932, 2010.

FLORES, João Paulo Cassol et al. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo. **Revista brasileira de ciência do solo. Campinas. Vol. 31, n. 4 (jul./ago. 2007), p. 771-780**, 2007.

GREEN, V. Steven et al. Phosphorus fractions and dynamics among soil aggregate size classes of organic and conventional cropping systems. **Soil science**, v. 171, n. 11, p. 874-885, 2006.

GUEDES, Fátima Becker; SEEHUSEN, Susan Edda. Pagamentos por serviços ambientais na

Mata Atlântica: lições aprendidas e desafios. **Brasília: MMA**, v. 272, 2011.

HUETING, Roefie et al. The concept of environmental function and its valuation. **Ecological Economics**, v. 25, n. 1, p. 31-36, 1998.

KARLEN, D. L.; GARDNER, J. C.; ROSEK, M. J. A soil quality framework for evaluating the impact of CRP. **Journal of production agriculture**, v. 11, n. 1, p. 56-60, 1998.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size Distribution of Aggregates 1. **Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling**, n. methodssoilana, p. 499-510, 1965.

KUMAR, Pushpam. TEEB, The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations. **Earthscan, London**, 2010.

LEÃO, Tairone Paiva et al. Intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 3, p. 415-422, 2004.

LIMA, Guilherme Theodoro Nascimento Pereira de et al. Metodologia para avaliação de forças motoras e vetores de mudança na determinação de serviços ecossistêmicos= estudo de caso: Ilha de São Sebastião-SP. 2011.

LIMA, Julião Soares Souza; DE SOUZA, Gustavo Soares; DE ASSIS SILVA, Samuel. Distribuição espacial da matéria orgânica, grau de floculação e argila dispersa em água em área de vegetação natural em regeneração e pastagem. **Revista Árvore**, v. 37, n. 3, p. 539-546, 2013.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (MEA), Ecosystem and Human Well-Being: Synthesis, Washington, DC: Island Press, 2005.

MOREIRA, José Aloísio Alves et al. Atributos químicos e físicos de um Latossolo Vermelho distrófico sob pastagens recuperada e degradada. **Embrapa Arroz e Feijão-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2005.

MULLER, Marcelo Marques Lopes et al. Degradação de pastagens na Região Amazônica: propriedades físicas do solo e crescimento de raízes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 11, p. 1409-1418, 2001.

MURADIAN, Roldan et al. Reconciling theory and practice: An alternative conceptual framework for understanding payments for environmental services. **Ecological economics**, v. 69, n. 6, p. 1202-1208, 2010.

NUNES, Maria Cândida Moitinho; CASSOL, Elemer Antonino. Estimativa da erodibilidade em entressulcos de Latossolos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2839-2845, 2008.

OLIVEIRA, GC de et al. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Área de Informação da Sede-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2003.

OZMENT S., *et al*, **Infraestrutura natural para água no Sistema Cantareira**, São Paulo: WRI Brasil, 2018.

PAGIOLA, Stefano; CARRASCOSA VON GLEHN, Helena; TAFFARELLO, Denise. Brazil's experience with payments for environmental services. 2013.

PARRON, L. M. et al. Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica. **Embrapa Florestas-Livro científico (ALICE)**, 2015.

PEREIRA, Marcos Gervasio et al. Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em diferentes sistemas de manejo do solo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 45, n. 5, p. 508-514, 2011.

POSTEL, Sandra L.; THOMPSON JR, Barton H. Watershed protection: Capturing the benefits of nature's water supply services. In: **Natural Resources Forum**. Oxford, UK: Blackwell Publishing, Ltd., 2005. p. 98-108.

RALISCH, Ricardo et al. Diagnóstico rápido da estrutura do solo (DRES). **Embrapa Solos-Capítulo em livro técnico (INFOTECA-E)**, 2017.

RASSE, Daniel P.; RUMPEL, Cornelia; DIGNAC, Marie-France. Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilisation. **Plant and soil**, v. 269, n. 1-2, p. 341-356, 2005.

REICHERT, José Miguel; REINERT, D. J.; BRAIDA, João Alfredo. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ci. Amb**, v. 27, p. 29-48, 2003.

REYNOLDS, W. D. et al. Land management effects on the near-surface physical quality of a clay loam soil. **Soil and Tillage Research**, v. 96, n. 1-2, p. 316-330, 2007.

RODRIGUES, Cleide; COLTRINARI, L. Geomorfologia aplicada: Avaliação de experiências e de instrumentos de planejamento físico-territorial e ambiental brasileiros. 1997.

RIBEIRO, Milton Cezar et al. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological conservation**, v. 142, n. 6, p. 1141-1153, 2009.

RILLIG, Matthias C.; MUMMEY, Daniel L. Mycorrhizas and soil structure. **New Phytologist**, v. 171, n. 1, p. 41-53, 2006.

SALTON, Júlio Cesar et al. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista brasileira de ciência do solo. Campinas. Vol. 32, n. 1 (jan./fev. 2008), p. 11-21, 2008.**

SANTOS, M. N. **Influência de diferentes sistemas de manejo nos teores de carbono orgânico e nutrientes e no tamanho e distribuição de poros em um Latossolo Vermelho Escuro Argiloso na Região dos cerrados. Brasília, Universidade de Brasília, 1997. 133p. 1997. Tese de Doutorado. Tese de Mestrado.**

- SANTOS, H, G, Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, 3, ed, Brasília: Embrapa Solos, 2013.
- SOUSA JÚNIOR, W.C. 2013. “Pagamento por serviços ecossistêmicos. Sedimentos e nutrientes. Sistemas de abastecimento da RMSP.” São Paulo.
- SILVA, Apolino José Nogueira da. Alterações físicas e químicas de um Argissolo Amarelo Coeso sob diferentes sistemas de manejo com cana-de-açúcar. 2003.
- SILVA, Maria da Conceição UFRPE et al. Avaliação de métodos para recuperação de pastagens de braquiária no agreste de Pernambuco. 1. Aspectos quantitativos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 2004.
- SILVA, J, A, A, et al, O Código Florestal ea Ciência: Contribuições Para o Diálogo, Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, **Academia Brasileira de Letras, São Paulo: SBPC, [http://www, sbpcnet, org, br/site/arquivos/codigo\\_florestal\\_e\\_a\\_ciencia, pdf](http://www.sbpnet.org.br/site/arquivos/codigo_florestal_e_a_ciencia.pdf)**, 2011.
- TAVARES FILHO, João et al. Atributos de solo determinantes para a estimativa do índice de estabilidade de agregados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 3, p. 436-441, 2012.
- TEIXEIRA, Paulo César et al. Manual de métodos de análise de solo. **Brasília: Embrapa Solos**, 2017.
- TISDALL, Judith M.; OADES, J\_M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of soil science**, v. 33, n. 2, p. 141-163, 1982.
- UEZU A, Sarcinelli O, Chiodi R, Jenkins CN, Martins CS, **Atlas dos Serviços Ambientais do Sistema Cantareira**, Instituto de Pesquisas Ecológicas, Nazaré Paulista, 2017.
- VEZZANI, Fabiane Machado; MIELNICZUK, João. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, p. 743-755, 2009.
- WALDMAN, Ricardo Libel; ELIAS, Luiz Augusto da Veiga. Os princípios do direito ambiental e o pagamento por serviços ambientais/ecossistêmicos (PSA/PSE). 2013.
- WHATELY, Marussia; CUNHA, Pilar. Cantareira 2006: um olhar sobre o maior manancial de água da Região Metropolitana de São Paulo. 2007.
- WRIGHT, Alan L. Phosphorus sequestration in soil aggregates after long-term tillage and cropping. **Soil and Tillage Research**, v. 103, n. 2, p. 406-411, 2009.