



ANA CLARA SOUSA

**MATÉRIA ORGÂNICA E ESTABILIDADE DE AGREGADOS
DO SOLO SOB DIFERENTES USOS NO PONTAL DO
PARANAPANEMA - SP**

LAVRAS-MG

2022

ANA CLARA SOUSA

**MATÉRIA ORGÂNICA E ESTABILIDADE DE AGREGADOS DO SOLO SOB
DIFERENTES USOS NO PONTAL DO PARANAPANEMA - SP**

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

Prof. Dr. Junior Cesar Avanzi
Orientador

Me. Maria Cecília Vieira Totti
Co-orientadora

LAVRAS-MG

2022

AGRADECIMENTOS

Sou grata a Deus em primeiro lugar, por me permitir concretizar mais um sonho. Ao meu pai, Cleiton, que desde o início me apoiou. A minha mãe, Ana Maria, pelo cuidado e amparo. A minha irmã, Renata, por se fazer presente, mesmo distante. Obrigada por embarcarem nessa comigo e por terem acreditado em mim!

Aos amigos feitos ao longo dessa caminhada, por terem sido minha família fora de casa, pelo companheirismo, e pelo cuidado de sempre. Com toda certeza deixaram os meus dias mais leves e essa jornada mais incrível. Não poderia deixar de agradecer também aos amigos de Bambuí por estarem comigo em momentos bons e ruins durante este percurso. E ainda as amigas do apê 201 por me fazerem companhia nos almoços de domingo e nas madrugadas de estudo.

À Universidade Federal de Lavras por me permitir viver essa fase da vida e pelas inúmeras oportunidades abertas. Ao meu orientador, Junior Cesar, e, co-orientadora, Maria Cecília Vieira, que foram essenciais para a conclusão deste trabalho. Toda paciência e atenção foram de extrema importância para que tudo ocorresse bem. A todo o corpo docente por terem me formado enquanto profissional.

À Preserva Jr. Projetos e Consultoria Ambiental e Sanitária, ao Engenheiros Sem Fronteiras Núcleo Lavras, e ao Núcleo de Estudos em Soluções Ambientais - NESAMB, por terem me moldado enquanto pessoa e profissional, e pelas experiências enriquecedoras.

E a todos aqueles que, direta ou indiretamente, fizeram parte dessa conquista, o meu muito obrigada!

RESUMO

O crescimento populacional e a pressão econômica para a produção de alimentos têm contribuído para o uso de áreas marginais e frágeis, que, quando usadas e manejadas inadequadamente, se tornam degradadas. Para determinar a qualidade do solo são utilizados alguns atributos, dentre os quais pode-se citar a matéria orgânica e a estabilidade dos agregados, sendo diretamente afetados pelas práticas de manejo. Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo analisar o teor de matéria orgânica e a agregação do solo sob diferentes usos, na região do Pontal do Paranapanema, no Estado de São Paulo. Para isso foram coletadas 36 amostras, em áreas de fragmento de mata, restauração florestal, pastagem, cultivo de cana-de-açúcar, cultivo de mandioca e cultivo anual. Os solos predominantes na região foram classificados como Latossolo Vermelho e Argissolo Vermelho. As amostras coletadas foram secas ao ar e peneiradas, sendo o conteúdo de matéria orgânica do solo (MOS) determinado em laboratório por via úmida, com a oxidação do carbono por dicromato na presença de ácido sulfúrico. Já a estabilidade dos agregados foi determinada pelo método de Yoder, mediante tamisação via úmida dos agregados do solo seco ao ar. Os agregados foram saturados por capilaridade, em seguida, peneirados em água, em movimento vertical de 30 oscilações por minuto. Foram utilizados jogos com cinco peneiras com os diâmetros de 2 mm; 1 mm; 0,5 mm; 0,25 mm e 0,105 mm, para obtenção de cinco classes de agregados, sendo calculados a partir delas o diâmetro médio ponderado (DMP) e o diâmetro médio geométrico (DMG). Com os resultados obtidos, pode-se observar que a quantidade de MOS foi diretamente influenciada pelo manejo do solo, textura e a altitude da região. Já na agregação do solo, constatou-se que as áreas de fragmento de mata apresentaram agregados de maior tamanho, indicando uma maior agregação do solo. Em seguida, as áreas de restauração florestal, pastagem, mandioca e cana-de-açúcar. Por fim, as áreas de plantio anual em Latossolos, apresentando os menores valores. Foi possível concluir que as áreas que mantêm a cobertura permanente proporcionaram uma melhor agregação do solo, bem como maiores teores de matéria orgânica.

Palavras-chave: Degradação ambiental. Matéria orgânica do solo. Estrutura do solo. Manejo. Recuperação de áreas degradadas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área de estudo na região do Pontal do Paranapanema, no Estado de São Paulo, Brasil	15
Figura 2 - Precipitação média mensal, em mm, na região do Pontal do Paranapanema, no Estado de São Paulo, Brasil	15
Figura 3 - Localização dos pontos amostrais na região do Pontal do Paranapanema, no Estado de São Paulo, Brasil	18
Figura 4 - Usos predominantes do solo na região do Pontal do Paranapanema: a) fragmento de mata, b) restauração florestal, c) pastagem, d) cana-de-açúcar, e) mandioca, f) cultivo anual	19
Figura 5 - Coleta de amostra deformada de solo para a avaliação de matéria orgânica na região do Pontal do Paranapanema, no Estado de São Paulo, Brasil	20
Figura 6 - a) amostra de torrão de solo para avaliação de agregados, b) amostras de agregados embaladas para preservar a estrutura	20
Figura 7 - a) umedecimento de amostra de agregados por capilaridade, b) agitador de Yoder, c) transferência de agregados para latas metálicas	22
Figura 8 - Teor de matéria orgânica do solo em áreas de Latossolos e Argissolos na região do Pontal do Paranapanema, no Estado de São Paulo, Brasil	23
Figura 9 - Plantas de cobertura em área de cultivo anual na região do Pontal do Paranapanema, no Estado de São Paulo, Brasil	25
Figura 10 - Área utilizada para o cultivo de mandioca após ser manejada por capina na região do Pontal do Paranapanema, no Estado de São Paulo, Brasil	26
Figura 11 - Relação entre a agregação e a matéria orgânica do solo (MOS) obtida entre os diferentes usos do solo, na região do Pontal do Paranapanema, no Estado de São Paulo, Brasil	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização das áreas de estudo, localizadas no Estado de São Paulo, Brasil	16
Tabela 2 - Teor de matéria orgânica do solo em diferentes usos em áreas de Latossolo, na região do Pontal do Paranapanema, no Estado de São Paulo, Brasil	24
Tabela 3 - Teor de matéria orgânica do solo em diferentes usos em áreas de Argissolo na região do Pontal do Paranapanema, no Estado de São Paulo, Brasil	25
Tabela 4 - Diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados do solo em diferentes usos do solo na região do Pontal do Paranapanema, no Estado de São Paulo, Brasil	26

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1 Áreas degradadas	10
2.2 Histórico da degradação de solos no Brasil	11
2.3 Recuperação de solos degradados	12
2.4 Matéria orgânica e agregação do solo	13
3. OBJETIVOS	14
4. MATERIAIS E MÉTODOS	15
4.1 Delineamento experimental	17
4.2 Coleta de solo para determinação dos atributos	19
4.3 Matéria orgânica do solo	20
4.4 Estabilidade dos agregados em água	21
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
5.1 Matéria orgânica do solo	22
5.2 Estabilidade dos agregados em água	26
6. CONCLUSÃO	29
REFERÊNCIAS	29

1. INTRODUÇÃO

As mudanças ocorridas no meio ambiente pela agricultura, pecuária, mineração e outras atividades referentes à produção econômica, acompanharam a evolução do ser humano. Entretanto, algumas dessas mudanças vêm provocando problemas para a sociedade, com destaque para a degradação ambiental, que pode atingir a água, o ar e o solo.

Uma das principais causas que levam à degradação ambiental é o desmatamento, uma vez que a vegetação natural dá lugar à pastagem, cultivo agrícola ou à construção de obras de engenharia para edificação de estradas, edifícios, barragens, entre outras. Outros fatores que levam à degradação ambiental são o uso excessivo de produtos químicos, a falta de práticas conservacionistas do solo, e as atividades industriais. Dependendo das tecnologias empregadas e da intensidade de exploração, o processo de degradação ambiental poderá ser lento ou acelerado.

Diante disso, o pensamento humano tem evoluído quanto ao custo ambiental do desenvolvimento, levando assim, ao aprimoramento da legislação ambiental em todo o mundo. A Constituição Federal (CF) brasileira de 1988, buscando um modelo de desenvolvimento menos agressivo ao patrimônio natural, possui um capítulo específico para o meio ambiente. Antes mesmo da CF, foi criada a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), disciplinada pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, com o intuito de acompanhar as tendências globais e salvaguardar os interesses da nação, e tornar efetivo o direito de todos ao meio ambiente ecologicamente equilibrado.

Dessa forma, torna-se importante a elaboração de estratégias de controle da degradação ambiental e a recuperação das áreas degradadas. Na falta destas, todo o ambiente é colocado em risco, comprometendo principalmente os recursos naturais (MEDEIROS et al., 2014). Segundo o IBAMA (1990) recuperar ambientes degradados, é fazer com que o local retorne a uma forma de utilização compatível com os valores ambientais, econômicos, sociais e estéticos do seu entorno.

Técnicas simples podem ser implementadas para a recuperação do ambiente, a depender do grau de degradação, dispensando, assim, atividades mais onerosas. No Brasil, são raros os ambientes considerados irremediavelmente degradados ou irrecuperáveis pela dinâmica natural da vegetação. O que varia é o tempo necessário para essa regeneração. Portanto, antes de iniciar qualquer processo de recuperação de áreas, é necessário avaliar as causas da degradação e o grau de comprometimento do meio e ambiente natural (SEITZ, 1994).

A recuperação de áreas degradadas, com atenção especial ao solo, é de suma importância, uma vez que o seu papel no ambiente é de grande relevância. O solo é responsável pelo sustento da flora, qualidade da água e ciclagem dos nutrientes, além de ser o habitat de muitos organismos (MOREIRA et al., 2013). Essas características devem-se à agregação das partículas e à presença da matéria orgânica do solo (MOS), que são essenciais para a manutenção da biota.

A MOS atua como agente de formação e estabilização dos agregados do solo (SIX et al., 2004; NOELLEMAYER et al., 2008; MULUMBA & LAL, 2008), sendo o aumento de seu teor importante para a qualidade, fertilidade, ciclagem de nutrientes e estabilidade da estrutura (LI et al., 2007; BARRETO et al., 2009). Isso pode ocorrer através das substâncias orgânicas, principalmente as húmicas, que atuam sobre as partículas de solo, cimentando-as em agregados estáveis. Os microagregados são mantidos unidos por materiais orgânicos persistentes que, associados a materiais temporários, como raízes de plantas e hifas de fungos, formam e estabilizam parte dos macroagregados (STEVENSON, 1994).

As raízes das plantas estimulam a agregação estável do solo tanto pela promoção de uma alta população microbiana na rizosfera, como pelo suprimento de resíduos orgânicos (OADES, 1978); por serem fontes ativas de exsudatos orgânicos, os quais são prováveis agentes efetivos na estabilização dos agregados (TISDALL & OADES, 1979; REID & GOSS, 1981, OADES, 1984); e por envolverem fisicamente os microagregados do solo, formando e estabilizando os macroagregados (TISDALL & OADES, 1982).

A agregação e MOS estão entre os principais atributos que definem a qualidade do solo, sendo diretamente afetados pelas práticas de manejo (ZONG-MING et al., 2012). Portanto, pelo estudo desses atributos, é possível, além de avaliar a qualidade, ter um maior conhecimento do sistema de produção em que esse solo está envolvido (ZONG-MING et al., 2012).

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Áreas degradadas

Segundo Carpanezzi et al. (1992), área degradada é aquela que, após distúrbio, eliminou os seus meios de regeneração natural, apresentando baixa resiliência. Parrota (1991) define como a área que possui o solo empobrecido, erodido, com instabilidade hidrológica e ainda com produtividade primária e diversidade biológica bastante prejudicadas.

A degradação ambiental pode se dar em diferentes níveis, mas atinge seus estágios mais avançados quando afeta o solo (CAMPELLO, 1998). A degradação do solo é definida como um conjunto de processos pelos quais é perdida a qualidade química, física e/ou biológica do mesmo. A degradação ambiental resultante de processos naturais, que pode ser induzida ou catalisada pelo homem, tem como consequências a deterioração da cobertura vegetal, da qualidade do próprio solo e dos recursos hídricos. Essa deterioração pode provocar a destruição tanto do potencial biológico das terras quanto da capacidade das mesmas em sustentar a população a ela ligada (ACCIOLY, 2010).

A alteração de uma área não configura necessariamente um ambiente degradado, porém é assim considerada quando o ambiente sofre alterações que levam à perda da capacidade produtiva, comprometendo seu potencial regenerativo. Para a identificação de áreas degradadas se torna necessária a observação das condições do solo, da vegetação, o efeito de borda, a fauna existente e as características do entorno. A partir disso, é possível buscar ainda formas de recuperação mais adequadas para a área, levando em conta o grau de degradação e características regionais (TATSCH, 2011).

Dentre as atividades humanas que desencadeiam o processo de degradação ambiental, estão as explorações excessivas dos recursos madeireiros; o uso habitual do fogo como método de limpeza dos pastos; o uso inadequado de defensivos agrícolas; e o descuido com a coleta ou reciclagem dos resíduos tóxicos (LIMA, 2004). Já a degradação do solo está relacionada a fatores como a remoção da cobertura vegetal que o protege; o sobrepastoreio que induz a sua compactação; as atividades agrícolas sem o manejo adequado; a exploração excessiva de vegetação para uso doméstico e atividades (bio)industriais; entre outros (IMESON, 2006; FAO; ITPS, 2015; FAO, 2019). As atividades humanas podem contribuir ainda para as modificações no tamanho dos agregados do solo, a partir da movimentação e tráfego de máquinas e implementos agrícolas, resultando em aumento da densidade do solo, redução da porosidade total e aumento na proporção de poros pequenos em relação aos grandes, interferindo na infiltração e disponibilidade de água do solo (CINTRA, 1980; SILVA, 2003).

2.2 Histórico da degradação de solos no Brasil

O processo de ocupação do Brasil caracterizou-se desde o seu descobrimento em 1500, pelo modelo predatório, que levou a uma rápida destruição de grande parte dos recursos naturais da época, em especial as florestas. Ao longo da história do país, a cobertura florestal

nativa dos diferentes biomas foi fragmentada, cedendo espaço para as culturas agrícolas, pastagens e cidades (TATSCH, 2011).

No início deste processo, a grande atração foi a *Caesalpinia echinata* (Pau-Brasil), seguido dos ciclos econômicos da cana-de-açúcar e do café, que acabaram por devastar a Mata Atlântica. Esgotados os recursos na faixa litorânea, o processo de degradação se transferiu para o interior, incluindo o Cerrado, onde a expansão das fronteiras agrícolas destruiu uma grande parte da cobertura vegetal original, e nas últimas décadas, esse processo vem se repetindo na Floresta Amazônica (TATSCH, 2011). A remoção da cobertura vegetal inicia o processo de perda da MOS, e, conseqüentemente, a degradação do solo (FRANCO et al., 2013).

Cooper (2008) enfatizou que a degradação do solo, por afetar diretamente a produção agrícola e o meio ambiente, causa instabilidade social e política, reduz a área de remanescentes florestais, acelera a exploração de terras marginais, aumenta a poluição dos mananciais e a emissão de gases que provocam efeito estufa. Por isso, um dos grandes desafios da humanidade é tornar as atividades de exploração dos recursos naturais mais sustentáveis (MAJOR & SALES, 2012).

A Organização das Nações Unidas (ONU) (2019), estimou que, em todo o mundo, a cada 5 segundos perde-se uma quantidade de solo equivalente a um campo de futebol e, caso a exploração continue no ritmo atual, até 2050 mais de 90% dos solos de todo o planeta Terra se tornarão degradados. Ainda segundo a ONU, 33% dos solos encontram-se em níveis de degradação que variam de moderado a fortemente degradados por causa das práticas agrícolas inadequadas. Destas, pode-se citar a aplicação deficitária ou excessiva de fertilizantes, que pode conduzir também à contaminação do meio ambiente por via do seu arrastamento pelas águas de escoamento superficial e águas de percolação, contribuindo para a poluição das águas superficiais e subterrâneas. Além disso, um menor cuidado na fertilização dá origem à diminuição de elementos nutricionais, uma vez que não atendidas às necessidades das culturas, ocorrerá um maior consumo das reservas de nutrientes do solo, podendo levar a situações de difícil inversão através da aplicação de fertilizantes (MARTINS et al., 2017).

Além da perda de nutrientes, as práticas agrícolas inadequadas levam à compactação do solo. Esta ocorre quando o solo é submetido a uma alta pressão mecânica devido ao uso de máquinas (agrícolas ou outras) ou ao sobrepastoreio (pisoteio exagerado de animais) em teores excessivos de umidade. Pode-se citar ainda a perda da MOS, a qual provoca uma potencial incapacidade do solo em resistir à deterioração provocada por outros processos, tais como a erosão (MARTINS et al., 2017).

2.3 Recuperação de solos degradados

A degradação dos solos pode causar consequências consideráveis, como terras menos produtivas, que acarretam maiores custos de produção, em função da maior utilização de insumos (PINTO et al., 2013). Neste sentido, faz-se necessária a recuperação da área. Esta recuperação pode ser caracterizada como a restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada a uma condição não degradada, podendo ser diferente de sua condição original (SNUC, 2000).

A legislação federal brasileira (Decreto Federal nº 97.632/89) menciona que o objetivo da recuperação é o retorno do sítio degradado a uma forma de utilização, de acordo com um plano pré-estabelecido para o uso do solo, visando à obtenção da estabilidade do meio-ambiente. Esse decreto vai de encontro ao estabelecido pelo IBAMA e implica que uma condição estável será obtida em conformidade com os valores ambientais, estéticos e sociais da circunvizinhança, onde o sítio degradado terá condições mínimas de estabelecer um novo equilíbrio dinâmico, desenvolvendo um novo solo e uma nova paisagem.

Em ambientes altamente degradados, as condições do solo e outros elementos naturais ultrapassam o limite de sua capacidade de auto-recuperação. Isso faz com que seja necessária a intervenção humana. Por esta razão é necessário o desenvolvimento de técnicas que visem à recuperação da área degradada a partir da eliminação ou redução dos impactos causados pela ação antrópica. Estas técnicas proporcionam a inserção de determinadas espécies vegetais que já ocorriam no local, permanência de outras formas de vida, fornecimento de abrigo e alimento para a fauna local (RODRIGUES et al., 2009).

Os solos possuem a capacidade de resistir à alteração das suas propriedades, que podem levar à sua degradação. Essa capacidade designa-se por resiliência. Um solo é mais resiliente quando mais facilmente se recupera dos efeitos provocados pelos fatores de deterioração. Esta característica está associada direta, e, principalmente, ao teor de matéria orgânica, componente chave para responder às alterações a que se encontra sujeito (MARTINS et al., 2017).

A ação dos microrganismos sobre a MOS libera ao solo os nutrientes necessários para as plantas e a manutenção das suas funções ecológicas (AGUIAR, 2011). A MOS participa de processos físicos e químicos fundamentais, como a capacidade de troca de cátions (CTC), agregação e retenção de água, além dos processos biológicos relacionados aos microrganismos (ZANDONADI et al., 2014). Assim, ao recuperar solos degradados busca-se aumentar a quantidade de MOS (FABRÍCIO et al., 1999).

2.4 Matéria orgânica e agregação do solo

A MOS pode ser definida como todo material orgânico vegetal menor que 2 mm, cuja composição varia entre as diferentes espécies vegetais e, dentro da mesma espécie, com a idade da planta, e resíduo orgânico animal em vários graus de decomposição (STEVENSON, 1994). A MOS é a principal fonte de C para os microrganismos, porém só uma pequena parte do C é transformado em biomassa microbiana. A quantidade assimilável é variável conforme a MOS e o microrganismo presente (CUNHA et al., 2015).

Os processos de decomposição, formação e mineralização da MOS são determinados por fatores climáticos, edáficos e, sobretudo, pela atividade de raízes de plantas e microrganismos, as quais são dependentes dos diferentes sistemas de manejo do solo e da intensidade de produção (ANDERSON et al., 1989). A adição de C no solo, através de sistemas de culturas, quando mantidos na superfície resulta, após algum tempo, em aumento da matéria orgânica e do nitrogênio, recuperando ou aumentando a capacidade produtiva (MIELNICZUK, 1994).

Em ecossistemas naturais, o solo apresenta um equilíbrio dinâmico de carbono orgânico estabilizado, que reflete as condições ambientais determinadas pelo clima, vegetação, topografia, e, por características do próprio solo. Entretanto, esse estado é alterado quando o solo passa a ser utilizado, principalmente para fins agrícolas (BRAIDA; REICHERT, 2010). As formas de uso e manejo são responsáveis pela entrada de carbono no sistema, bem como pela sua saída do solo para a atmosfera (COSER et al., 2016; CAMPOS et al., 2011). Quando o solo perde carbono, devido à redução dos teores de MOS, há uma diminuição de sua qualidade, interferindo, assim, em seus atributos (LAL, 2015).

Neste sentido, a MOS é considerada um dos indicadores mais úteis para a avaliação da qualidade do solo. Sua interação com outros diversos componentes exerce efeito direto na retenção de água, formação de agregados, pH, capacidade tampão, CTC, sorção de metais pesados e outros agroquímicos, infiltração de água no solo, aeração e atividade microbiana. Isso deve-se ao fato da MOS apresentar-se como um sistema complexo de substâncias, cuja dinâmica é governada pela adição de resíduos orgânicos e por transformações contínuas sob ação de fatores biológicos, químicos e físicos e recíproca interação com os diferentes componentes do solo (CAMBARDELLA & ELLIOT, 1992).

Além da MOS, recomenda-se a avaliação da qualidade estrutural e a estabilidade de agregados, atributos físicos que apontam a escolha das melhores formas de uso e manejo do solo (KARLEN; STOTT, 1994; LAL; MOKMA; LOWERY, 2018). Um agregado é um conjunto de partículas primárias do solo (argila, silte e areia) que se aderem umas às outras

fortemente (KEMPER & ROSENAU, 1986). Comporta-se mecanicamente como uma unidade estrutural. Se formado naturalmente é denominado *ped*, apresentando diferentes formas morfológicas (coluna, lâmina ou grânulo) e tamanhos. Se formado artificialmente pela atividade do homem, é denominado torrão. O solo é composto de um conjunto de agregados de diferentes tamanhos e graus de estabilidade (CURI et al., 1993).

O estado de agregação do solo tem influência sobre a infiltração de água, a biodiversidade, a dinâmica da biomassa do solo, a disponibilidade de oxigênio às raízes e a erosão (DENEFF et al., 2001; FRANZLUEBBERS, 2002a, b). A prolongada existência de poros maiores no solo, que favorecem altas taxas de infiltração e aeração, depende da estabilidade dos agregados. A agregação é também um dos principais processos responsáveis pela acumulação e o sequestro de carbono em solos (LAL et al., 1997).

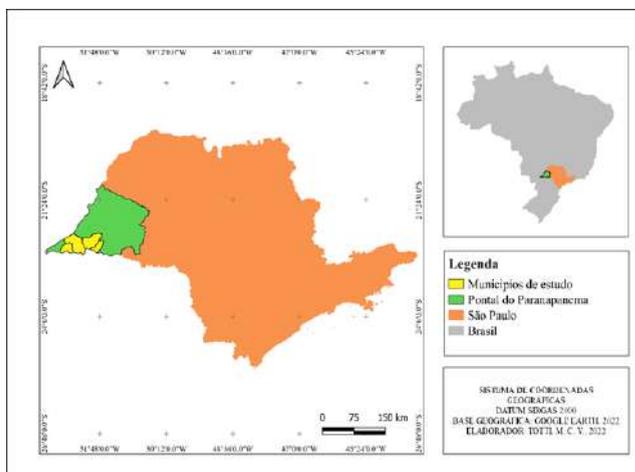
3. OBJETIVOS

Analisar o teor de matéria orgânica e a agregação do solo em diferentes áreas amostrais, resultantes da combinação solo x uso, na região do Pontal do Paranapanema, no Estado de São Paulo.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

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

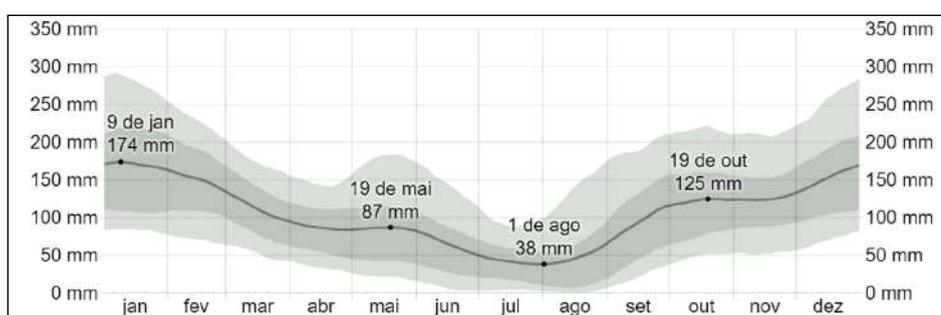
Figura 1 - Localização da área de estudo na região do Pontal do Paranapanema, no Estado de São Paulo, Brasil



Fonte: TOTTI (2022).

O Pontal do Paranapanema está situado em uma área de transição climática, apresentando um período seco no inverno e um período chuvoso durante o verão (Figura 2). O clima é predominantemente continental e, segundo Köppen, há dois tipos climáticos na região: Aw e Cwa. Ao longo do ano, em geral a temperatura varia de 16 °C a 33 °C, e raramente é inferior a 11 °C ou superior a 37 °C. A região está inserida no bioma Mata Atlântica, e a altitude máxima não passa de 500 m acima do nível do mar.

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



Fonte: TOTTI (2022).

Os solos predominantes na região, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SBCS) (SANTOS et al., 2018), foram classificados como Latossolo Vermelho e Argissolo Vermelho, conforme Tabela 1. Já o tempo de uso de cada ponto amostral foi avaliado conforme análises de satélite, pelo Google Earth.

Tabela 1 - Caracterização das áreas de estudo, localizadas no Estado de São Paulo, Brasil

Ponto	Bacia	Solo/textura	Uso	Altitude (m)	Tempo de uso (anos)
1	Lago Azul	LV a/m	Cana-de-açúcar	380	Mais de 10
2	Lago Azul	PV a/m	Restauração florestal	442	Mais de 8
3	Lago Azul	LV ma	Restauração florestal	418	Mais de 8
4	Lago Azul	PV a/m	Cana-de-açúcar	421	Mais de 8
5	Lago Azul	LV a/m	Cana-de-açúcar	410	Mais de 8
6	Lago Azul	LV a/m	Cana-de-açúcar	416	Mais de 8
7	Faz. Rosanela	PV a/m	Fragmento de mata	364	Mais de 8
8	Faz.	PV a/m	Mandioca	362	Menos de 2

	Rosanela				
	Faz.				
9	Rosanela	LV ma	Plantio anual	365	Mais de 8
	Faz.				
10	Rosanela	PV a/m	Mandioca	384	Menos de 2
	Morro do		Fragmento de		
11	Diabo	PV a/m	mata	401	Mais de 10
	Morro do		Fragmento de		
12	Diabo	PV a/m	mata	431	Mais de 10
13	Sta. Beatriz	LV m	Plantio anual	370	Mais de 11
14	Sta. Beatriz	LV m	Pastagem	368	Mais de 11
15	Sta. Beatriz	PV m/r	Plantio anual	349	Mais de 11
16	Sta. Beatriz	PV m/r	Pastagem	352	Mais de 11
17	Sta. Beatriz	PV m/r	Plantio anual	349	Mais de 11
18	Sr. Pelanca	PV a/m	Mandioca	314	Mais de 8
			Fragmento de		
19	Sr. Pelanca	LV m	mata	335	Mais de 11
20	Sr. Pelanca	PV a/m	Pastagem	332	Mais de 11
21	Sr. Pelanca	LV m	Mandioca	334	Mais de 11
22	Sr. Pelanca	LV m	Mandioca	335	Mais de 11
23	Sr. Pelanca	LV m	Mandioca	313	Mais de 11
24	Nelore	LV m	Pastagem	355	Mais de 8
			Restauração		
25	Nelore	PA a/r	florestal	336	Mais de 8
			Restauração		
26	Nelore	PA a/r	florestal	346	Mais de 8
			Restauração		
27	Nelore	LV m	florestal	346	Mais de 8
	Faz. Ponte				
28	Branca	LV ma	Pastagem	371	Mais de 8
	Faz. Ponte				
29	Branca	PV a/m	Pastagem	393	Mais de 8
	Faz. Ponte				
30	Branca	LV m	Plantio anual	382	Mais de 8
	Umoe				
31	Bioenergy	PV a/m	Cana-de-açúcar	372	Menos de 20

	Umoe				
32	Bioenergy	PV a/m	Cana-de-açúcar	340	Menos de 20
	Umoe		Restauração		
33	Bioenergy	LV m	florestal	338	Mais de 9
			Fragmento de		
34	Sta. Helena	LV m	mata	415	Mais de 14
35	Sta. Helena	LV m	Plantio anual	417	Mais de 14
			Fragmento de		
36	Sta. Helena	LV m	mata	413	Mais de 14

LV = Latossolo Vermelho; PV = Argissolo Vermelho; PA = Argissolo Amarelo; m = textura média; a/m = textura arenosa na superfície e média na subsuperfície; a/r = textura arenosa na superfície e argilosa na subsuperfície; ma = textura média alta; m/r = textura média na superfície e argilosa na subsuperfície.

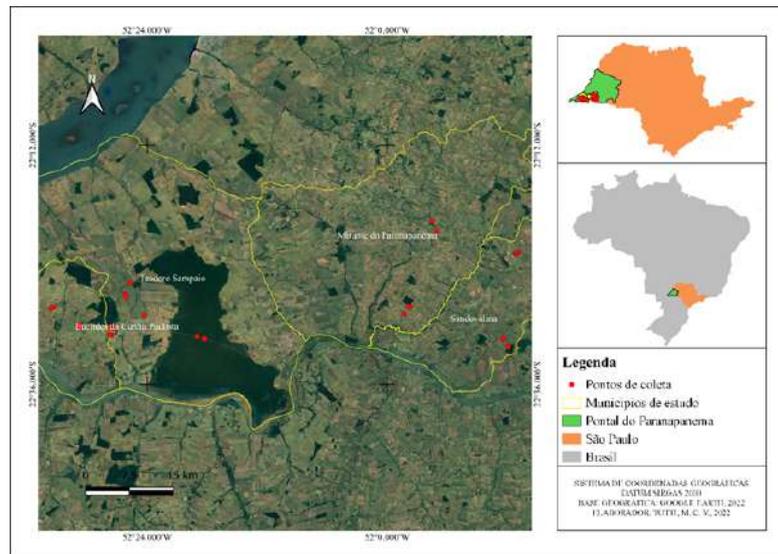
Fonte: Do autor (2022).

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

4.1 Delineamento experimental

A área de estudo conta com 36 pontos amostrais (Figura 3), distribuídos em nove bacias hidrográficas, nos municípios de Teodoro Sampaio, Euclides da Cunha Paulista, Sandovalina e Mirante do Paranapanema.

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



Foram considerados os usos e os tipos de solo predominantes em cada bacia para se obter os usos do solo mais comuns na região. Em cada combinação solo vs uso, foram coletadas amostras para avaliação da MOS, e para a avaliação da estabilidade de agregados. A amostragem do solo foi realizada na profundidade de 0,00-0,20 m.

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

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





Fonte: TOTTI (2022).

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

4.2 Coleta de solo para determinação dos atributos

As coletas foram realizadas em fevereiro de 2022. Em cada ponto amostral foi coletada uma amostra composta do solo na profundidade 0,00-0,20 m para a avaliação do teor de MOS (Figura 5).

Figura 5 - Coleta de amostra deformada de solo para a avaliação de matéria orgânica na região do Pontal do Paranapanema, no Estado de São Paulo, Brasil



Fonte: TOTTI (2022).

A amostragem de solo para avaliação da estabilidade de agregados também ocorreu na profundidade de 0,00-0,20 m. As amostras foram coletadas em formato de torrão (Figura 6a), sendo posteriormente embrulhadas em plástico filme (Figura 6b), para que não perdessem sua estrutura. O material amostrado passou por um processo de peneiramento (malha 4,76 mm), visando separar os agregados da massa do solo (quebra dos torrões), secagem e homogeneização da amostra.

Por meio do peneiramento, estabeleceu-se um diâmetro máximo para os agregados, sendo usados, no presente estudo, aqueles que passaram pela peneira de 4,76 mm e os que ficaram retidos na peneira de 2,00 mm.

Figura 6 - a) amostra de torrão de solo para avaliação de agregados, b) amostras de agregados embaladas visando preservar a estrutura



Fonte: TOTTI (2022).

4.3 Matéria orgânica do solo

As amostras de solo coletadas foram secas ao ar em laboratório e peneiradas em peneira granulométrica de 2,0 mm, para a obtenção de terra fina seca ao ar (TFSA). Em seguida, o conteúdo de matéria orgânica foi determinado por via úmida, processo que implica na oxidação do carbono por $K_2C_2O_4$ na presença de ácido sulfúrico. Esta análise foi realizada no Laboratório de Fertilidade do Solo, do Departamento de Ciência do Solo (DCS), da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

4.4 Estabilidade dos agregados em água

As amostras coletadas para avaliação da estabilidade de agregados do solo foram levadas ao Laboratório de Física do Solo, do Departamento de Ciência do Solo (DCS), da Universidade Federal de Lavras (UFLA), sendo determinada pela metodologia proposta por Yoder (1936) e alterações propostas por Grohmann (1960). Foram usados 25 g de agregados

do solo, maiores que 4,76 mm, secos ao ar. Os agregados foram saturados por capilaridade em papel filtro em areia molhada por 24 horas, se aproximando das condições naturais (Figura 7a). Posteriormente, os agregados foram peneirados em água durante 15 minutos, em movimento vertical de 30 oscilações por minuto (Figura 7b), sendo utilizados jogos com cinco peneiras de diâmetros 2 mm; 1 mm; 0,5 mm; 0,25 mm e 0,105 mm, para obtenção das seguintes classes de agregados: C1 (4,76-2,0 mm), C2 (2,0-1,0 mm), C3 (1,0-0,5 mm), C4 (0,5-0,25 mm), C5 (0,25-0,105 mm) e C6 (< 0,105 mm).

O solo retido em cada peneira foi transferido para frascos metálicos com auxílio de jatos fracos de água dirigidos ao fundo da peneira (Figura 7c) e, em seguida, colocado na estufa para secagem por 48 horas a 105 °C, sendo posteriormente pesado. A classe de agregado de solo mais fino (< 0,105 mm) foi considerada aquela em que o solo passou pela peneira de 0,105 mm de malha, ficando disperso no tamisador. Seu valor, em gramas, foi computado, subtraindo-se o somatório do peso das demais classes de agregados do peso total da amostra seca.

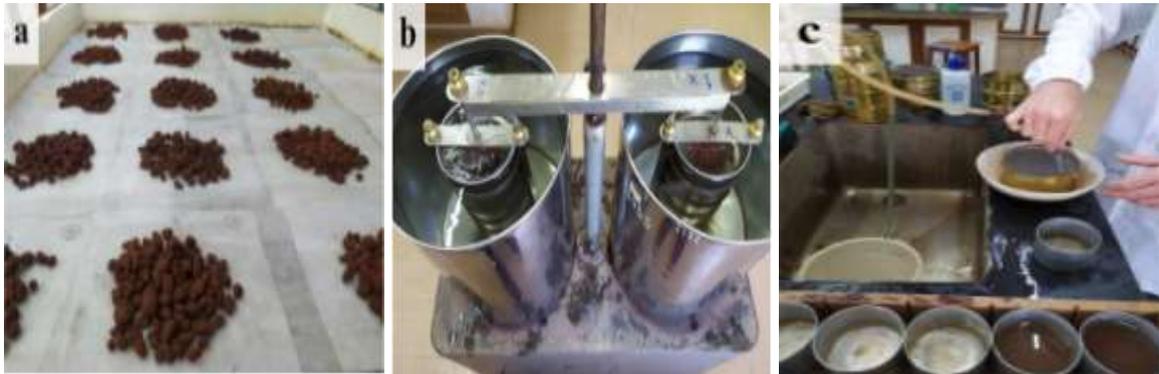
Com as proporções de solo de cada classe foi calculado o diâmetro médio ponderado (DMP em mm – Equação 1) e o diâmetro médio geométrico dos agregados (DMG em mm – Equação 2).

$$DMP = \sum_{(i=1)}^n (x_i * w_i) \quad (01)$$

$$DMG = EXP = \frac{\sum_{(i=1)}^n (w_i * \log x_i)}{\sum_{(i=1)}^n x_i} \quad (02)$$

onde, DMG: diâmetro médio geométrico (mm); DMP: diâmetro médio ponderado (mm); w_i : massa de cada classe em gramas; e x_i : diâmetro médio das classes expressa em mm.

Figura 7 - a) umedecimento de amostra de agregados por capilaridade, b) agitador de Yoder, c) transferência de agregados para latas metálicas



Fonte: TOTTI (2022).

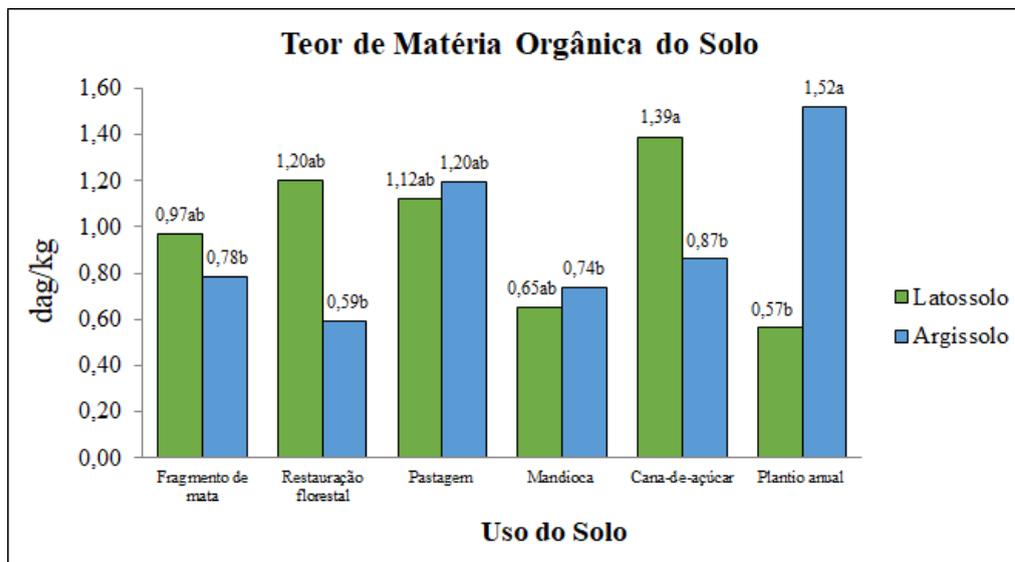
A análise estatística dos resultados foi realizada de acordo com o delineamento, com dois solos e três repetições para cada uso, utilizando o software aberto R para análise de variância pelo teste F ($P < 0,05$), sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Matéria orgânica do solo

A partir dos resultados apresentados na Figura 8, foi possível observar que, dentre as áreas e solos avaliados, o cultivo anual em área de Argissolo apresentou os melhores valores de matéria orgânica do solo. Em seguida, aparece o cultivo de cana-de-açúcar, na área de Latossolo. Ambos podem ter apresentado melhores teores devido ao manejo das lavouras. As áreas de pastagem, nos dois solos analisados, e restauração em Latossolo apresentaram valores semelhantes, sem diferença estatística. Já os menores valores encontrados foram nas áreas de restauração e mandioca em Argissolo, e mandioca e cultivo anual em Latossolo.

Figura 8 - Teor de matéria orgânica do solo em áreas de Latossolos e Argissolos na região do Pontal do Paranapanema, no Estado de São Paulo, Brasil



Fonte: Do autor (2022).

Na Tabela 2 são apresentados os teores de matéria orgânica do solo em diferentes usos nas áreas de Latossolo. Nota-se que o uso do solo com maior quantidade de matéria orgânica (dag/kg), foi o de cultivo de cana-de-açúcar. Isso se deve a adubação feita com vinhaça, subproduto gerado pelas indústrias sucroalcooleiras durante a produção de álcool (etanol). O constituinte principal da vinhaça é a matéria orgânica, basicamente sob a forma de ácidos orgânicos e, em menor quantidade, por cátions como K, Ca, e Mg (CAIXETA et al., 2010). Estas duas características viabilizaram seu emprego na própria lavoura da cana-de-açúcar como importante fertilizante (NASCIMENTO, 2003).

Na sequência, tem-se as áreas de restauração, pastagem, mandioca e fragmento de mata, cujos valores de matéria orgânica não diferem estatisticamente entre si. Os valores encontrados nas áreas de restauração, pastagem, e fragmento de mata, podem ser explicados pela menor perturbação do solo por máquinas agrícolas, não rompendo os macroagregados e expondo o solo previamente protegido a processos microbianos (CAMBARDELLA & ELLIOTT, 1992; TISDALL, 1996) e pela morte e decomposição das raízes, fazendo com que o teor de matéria orgânica do solo aumente (CARVALHO et al., 2013).

Já a área de mandioca, apesar de não apresentar diferença estatística, possui menor teor de MOS. Isso pode ser explicado pela sua colheita, onde além de haver a retirada das raízes para consumo e caules para produção de novas mudas, há o revolvimento do solo, que apesar de ocasionar temporariamente melhores condições de aeração, gera maior exposição dos resíduos orgânicos incorporados; com isso, há uma rápida oxidação pelos

microrganismos, reduzindo os teores de matéria orgânica no solo (ALBUQUERQUE et al., 2005).

Tabela 2 - Teor de matéria orgânica do solo em diferentes usos em áreas de Latossolo, na região do Pontal do Paranapanema, no Estado de São Paulo, Brasil

Uso do Solo	Teor de MOS (dag/kg)
Cana-de-açúcar	1,39 a
Restauração	1,20 ab
Pastagem	1,12 ab
Fragmento de mata	0,97 ab
Mandioca	0,65 ab
Plantio anual	0,57 b

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si estatisticamente pelo Teste de Tukey a 5%.

Fonte: Do autor (2022).

E por fim, as áreas de cultivo anual, com as culturas da soja e do milho implantadas pelo sistema convencional. Esses valores se devem ao manejo do solo, onde o preparo ocorreu pelo método convencional, que envolve a aração e a gradagem do solo, podendo causar distúrbios graves até a profundidade de 0,40 m, o que, conseqüentemente, causa rápida oxidação da MOS (BARBOSA et al., 2019).

Na tabela 3, são apresentados os teores de matéria orgânica do solo nas áreas de Argissolo. Ao contrário dos pontos amostrais das áreas de Latossolo, o uso do solo que apresentou maior quantidade de matéria orgânica foi o cultivo anual. Isso pode ter ocorrido devido a presença de plantas de cobertura (Figura 9). Segundo Heckler e Salton (2002) as plantas de cobertura protegem a superfície do solo e, conseqüentemente, seus agregados da ação direta dos raios solares e do vento; diminui a evaporação, aumentando o armazenamento de água no solo; incorpora a matéria orgânica de forma lenta e gradativa; e aumenta a atividade microbiana.

Figura 9 - Plantas de cobertura em área de cultivo anual na região do Pontal do Paranapanema, no Estado de São Paulo, Brasil



Fonte: TOTTI (2022).

Aliado às plantas de cobertura, tem-se as práticas de manejo do solo, que mantêm ou melhoram suas condições através do manejo de materiais orgânicos. Além disso, propicia a atividade biológica, e minimiza o impacto da atividade mecânica sobre o solo, evitando a sua desagregação e compactação durante o seu preparo pré-plantio, e adubação (BARBOSA et al., 2019). A cobertura constante do solo também contribuiu para o alto teor de matéria orgânica encontrada em áreas de pastagem em relação às demais áreas analisadas. Nesta área há ainda a renovação constante das raízes, devido ao pastejo, fazendo com que o teor de MOS aumente (CARVALHO et al., 2013).

Tabela 3 - Teor de matéria orgânica do solo em diferentes usos em áreas de Argissolo na região do Pontal do Paranapanema, no Estado de São Paulo, Brasil

Uso do Solo	Teor de MOS (dag/kg)
Plantio anual	1,52 a
Pastagem	1,20 ab
Cana-de-açúcar	0,87 b
Fragmento de mata	0,78 b
Mandioca	0,74 b
Restauração	0,59 b

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si estatisticamente pelo Teste de Tukey a 5%.

Fonte: Do autor (2022).

Em seguida, com valores semelhantes estatisticamente estão os usos cana-de-açúcar, fragmento de mata e mandioca, com baixos teores de matéria orgânica. Na área de cana-de-açúcar, o baixo teor de matéria orgânica pode ser devido ao manejo do solo na recente reforma do canavial. Este tipo de cultivo envolve a gradagem e aração, causando distúrbios graves no solo, favorecendo a rápida oxidação da matéria orgânica (BARBOSA et

al., 2019). Já as áreas com mandioca apresentaram baixos teores, que igualmente ao ocorrido no Latossolo, pode ser explicado pela sua colheita. Também há o menor aporte de material orgânico (Figura 10), uma vez que a cultura da mandioca na região é manejada em monocultivo com capinas frequentes na área para a retirada de plantas daninhas (FONTANA et al., 2011).

Figura 10 - Área utilizada para o cultivo de mandioca após ser manejada por capina na região do Pontal do Paranapanema, no Estado de São Paulo, Brasil



Fonte: TOTTI (2022).

Por fim, as áreas de restauração florestal e fragmento de mata, apresentando baixos teores de matéria orgânica. A partir de estudos desenvolvidos por Tognon et al., (1997) nas regiões da floresta amazônica e dos cerrados, observou-se que as diferenças nos teores de matéria orgânica entre as duas regiões podem estar relacionadas à ação da vegetação, a sua natureza e ao tipo de sistema radicular. As espécies florestais de maneira geral incorporam pouca matéria orgânica, devido ao seu sistema radicular com hábitos pivotantes, se assemelhando às áreas do presente estudo. Além disso, a população de árvores em baixa densidade por hectare, contribuem muito pouco em termos de matéria orgânica incorporada ao solo.

Outro fator a ser observado, é o baixo teor de matéria orgânica em todos os usos estudados. Isso ocorre devido à textura do solo que contém elevado teor de areia, e à altitude da região, a qual mesmo com pequena variação, pode refletir nas características do ambiente (COSTA & MAGNUSSON, 2010). Segundo Zinn et al. (2007), a retenção de carbono orgânico do solo é dependente da textura do solo, uma vez que a oclusão da matéria orgânica particulada é favorecida em solos de textura mais fina.

5.2 Estabilidade dos agregados em água

A partir dos resultados obtidos, foi possível observar que as áreas de fragmento de mata apresentaram agregados de maior tamanho, indicando uma maior agregação do solo. Em seguida, as áreas de restauração florestal, pastagem, mandioca e cana-de-açúcar. Por fim, as áreas de plantio anual em Latossolos, apresentando os menores valores entre as áreas observadas. É possível notar ainda que as áreas de Latossolo apresentam agregados maiores quando comparados às áreas de Argissolo. Apesar disso, estatisticamente, apenas as áreas de plantio anual diferem estatisticamente das demais (Tabela 4).

Tabela 4 - Diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados do solo em diferentes usos do solo na região do Pontal do Paranapanema, no Estado de São Paulo, Brasil

Uso	Latossolo		Argissolo	
	DMP	DMG	DMP	DMG
Fragmento de mata	4,95 a	4,84 a	4,91 a	4,72 a
Restauração florestal	4,91 a	4,72 a	4,82 a	4,54 a
Pastagem	4,89 a	4,67 a	4,87 a	4,60 a
Mandioca	4,87 a	4,61 a	4,74 a	4,31 a
Cana-de-açúcar	4,84 a	4,58 a	4,70 a	4,22 a
Plantio anual	4,19 b	3,18 b	4,88 a	4,60 a

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si estatisticamente pelo Teste de Tukey a 5%.

Fonte: Do autor (2022).

Nota-se que o uso do solo que apresentou maiores valores de DMG e DMP, tanto nas áreas de Latossolo quanto de Argissolo, foi o de fragmento de mata. Six et al. (2002) defendem que o estado de agregação máxima ocorre em solos sob vegetação nativa, pois apresentam maior quantidade de macroagregados e, conseqüentemente, maiores valores de DMG e DMP. Em ambientes preservados, ou minimamente revolvidos, é comum a predominância de macroagregados com maiores diâmetros (FERREIRA et al., 2007).

Pode-se observar ainda que nas áreas de restauração do solo, os valores de DMG e DMP foram altos, podendo ocorrer devido ao aumento da atividade microbiana estimulada pela vegetação do solo em superfície (GUEDES, 2013). Apesar disso, no processo de recuperação das áreas há o emprego de máquinas agrícolas, que com o trânsito destas em

condições excessivas de umidade do solo, pode haver a sua compactação (ARRUDA et al., 2015).

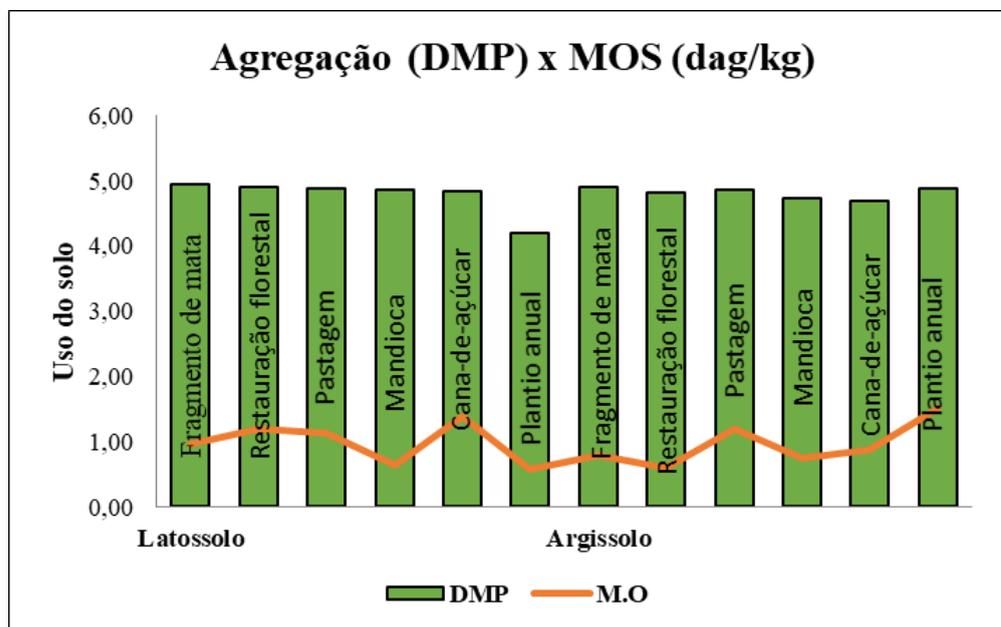
No uso do solo para pastagem, nota-se altos valores de DMG e DMP. Esse aumento dos agregados do solo em pastagem acontece ao longo do tempo, com a morte e decomposição das raízes. Isso faz com que o teor de matéria orgânica do solo aumente (CARVALHO et al., 2010), resultando na agregação das partículas orgânicas de baixa densidade nas partículas minerais do solo (ARRUDA et al., 2015). Esse fato evidencia a capacidade das pastagens em manter a agregação do solo por meio do efeito do crescimento das raízes. Como consequência, tem-se um estímulo à atividade microbiana, aumentando a quantidade de exsudatos que agem como agentes de agregação do solo (SALTON, 2005). O mesmo vale para as áreas de mandioca e cana-de-açúcar.

As áreas de cultivo anual em Latossolos, apresentaram os menores valores de DMG e DMP do solo. Isso se deve ao seu manejo, onde o preparo do solo ocorre pelo método convencional, que envolve a aração e a gradagem, causando distúrbios até a profundidade de 0,40 m, o que, conseqüentemente, causa a diminuição da estabilidade dos agregados (BARBOSA et al., 2019).

Além disso, de modo geral, as áreas de Latossolo apresentaram maiores valores em relação às áreas de Argissolo. Os principais agentes que colaboram para o processo de agregação do solo, além da matéria orgânica, são os óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, os quais são encontrados em maiores quantidades nos Latossolos Vermelhos, e ainda as substâncias orgânicas produzidas pelas plantas e microrganismos. Estes podem atuar como agentes cimentantes de frações unitárias e agregados do solo. A biota tem efeito positivo na agregação, sendo as bactérias e fungos os principais contribuintes na formação dos agregados (LEHMANN; ZHENG; RILLIG, 2017).

Na Figura 11 foi possível verificar a baixa relação entre a agregação do solo e os teores de matéria orgânica. Neste sentido, pode-se constatar que, devido às grandes variações de temperatura local, assim como as chuvas mal distribuídas, os ciclos de umedecimento e secagem do solo também agem como importantes fatores ambientais na agregação do solo (CARVALHO, 1991; MALTONI, 1994 apud BASTOS et al., 2005).

Figura 11 - Relação entre a agregação e a matéria orgânica do solo (MOS) obtida entre os diferentes usos do solo, na região do Pontal do Paranapanema, no Estado de São Paulo, Brasil



Fonte: Do autor (2022).

A estrutura do solo resulta ainda da interação de vários fatores, incluindo a MOS, textura e mineralogia (BRONICK et al., 2005). Segundo Baver (1934), a agregação é afetada pelos teores de argila e silte. Além disso, a quantidade e o tipo de argila coloidal estão intrinsecamente relacionados à estrutura do solo (JENNY, 1941). Conseqüentemente, a estabilização da MOS através da agregação é improvável em solos arenosos, como os das áreas avaliadas no presente estudo, uma vez que baixos teores de argila limitam a agregação e, portanto, a oclusão da matéria orgânica particulada (EUSTERHUES et al., 2003). Assim, a retenção da MOS pode ser afetada diretamente pela textura e mineralogia, através da sorção pelas argilas, e indiretamente através da estrutura do solo. Portanto, a oclusão da matéria orgânica particulada é favorecida em solos de textura mais fina (ZINN et al., 2007).

As áreas de fragmento de mata, seguida das áreas de restauração, apresentaram agregados de maior tamanho, indicando uma maior agregação do solo. Assim como as plantas de cobertura, áreas com vegetação protegem a superfície do solo e, conseqüentemente, seus agregados da ação direta dos raios solares e do vento. Além disso, diminui a evaporação, aumentando o armazenamento de água no solo; incorpora a matéria orgânica de forma lenta e gradativa; e aumenta a atividade microbiana (HECKLER E SALTON, 2002). Portanto, recuperar ambientes degradados, com atenção especial ao solo, é de suma importância, uma

vez que este é responsável pelo sustento da flora, qualidade da água e ciclagem dos nutrientes, além de ser o habitat de muitos organismos (MOREIRA et al., 2013).

6. CONCLUSÃO

Conclui-se que além da matéria orgânica, outros agentes colaboram para a agregação do solo na região do Pontal do Paranapanema, como os óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, as substâncias orgânicas produzidas pelas plantas e microrganismos, a presença e crescimento de raízes, os ciclos de umedecimento e secagem, e a quantidade e o tipo de argila coloidal.

Tanto a matéria orgânica do solo quanto a estabilidade dos agregados são diretamente afetadas pelas práticas de manejo. Além do manejo, a textura e a mineralogia influenciam na quantidade de matéria orgânica do solo, uma vez que solos arenosos, como os avaliados no presente estudo, possuem baixos teores de argila, limitando, portanto, a agregação e a oclusão da matéria orgânica particulada.

A altitude da região, mesmo com pequena variação, pode refletir nas características do ambiente como condições do solo e relevo, e proximidade de corpos d'água, os quais afetam a umidade local e estrutura dos habitats. Solos em baixa altitude, como os avaliados, possuem uma má drenagem, retardando a decomposição da matéria orgânica.

Por fim, com a melhoria nos teores de matéria orgânica e de agregação do solo, em relação às demais áreas, é possível notar que a restauração florestal das áreas degradadas melhoram a qualidade do solo.

REFERÊNCIAS:

ACCIOLY, L. J. de O. **Degradação do solo e desertificação no Nordeste do Brasil**. Embrapa Solos-Artigo de divulgação na mídia (INFOTECA-E), v. 11, p. 2, 2010.

AGUIAR, E. P. C. **A importância da matéria orgânica do solo**. Web Artigos. 24 mai. 2011. Disponível em: <https://www.webartigos.com/artigos/a-importancia-da-materia-organica-do-solo/66938>. Acesso em: 12 fev. 2022.

ALBUQUERQUE *et al.* **Avaliação de sistemas de preparo e calagem em um Latossolo Bruno aluminico**. R. Bras. Ci. Solo, 29. p. 963-975, 2005.

ANDERSON, J. M.; FLANAGAN, P. W. Biological processes regulating organic matter dynamics in tropical soils. In: COLEMAN, D. C.; OADES, J. M.; UEHARA, G., ed. **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Hawaii: Niftal Project/University of Hawaii, p. 97-123, 1989.

ARRUDA *et al.* Aggregation and organic matter content in different tillage systems for sugarcane. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, n. 4, p. 281-288, 2015.

BARBOSA *et al.* **Variação temporal da umidade do solo sob diferentes coberturas vegetais**. Revista Ifes Ciência, v. 5, n. 2, p. 11-23, 2019.

BARRETO *et al.* **The impact of soil management on aggregation, carbon stabilization and carbon loss as CO₂ in the surface layer of a Rhodic Ferralsol in Southern Brazil Agric. Ecosyst. Environ.**, 132: p. 243-251, 2009.

BASTOS *et al.* **Formação e estabilização de agregados do solo influenciados por ciclos de umedecimento e secagem após adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v. 29, n. 1, p. 21-31, 2005.

Baver, L. D. **A classification of soil structure and its relation to the main soil groups**. Am. Soil Survey Assoc. Bull. 1934, 15, p. 107– 109.

BOIN, M. N. **Chuvvas e erosões no Oeste Paulista: uma análise climatológica aplicada**. 2000. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 264 f, 2000.

BRAIDA *et al.* **Teor de carbono orgânico e a susceptibilidade à compactação de um Nitossolo e um Argissolo**. R. Bras. Eng. Agric. Amb., 14: p. 131-139, 2010.

BRASIL. Decreto nº 97.632 de 1989: Dispõe sobre a regulamentação do art.2, in.VIII, da Lei n. 6.938, de 31 de agosto de 1981, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/d97632.htm. Acesso em: 15 fev. 2022.

BRASIL. Lei nº 6.938 de 1981: Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente. 1981. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/16938.htm. Acesso em: 15 fev. 2022.

BRASIL, Lei nº 9.985: Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC). MMA, Brasília, 2000. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm. Acesso em: 15 fev. 2022.

BRONICK, C. J.; LAL, R. **Soil structure and management: A review**. Geoderma, 124: p. 3-22, 2005.

CAIXETA *et al.* **Efeito da fertirrigação com vinhaça na distribuição espacial de fitonematóides em solo cultivado com cana-de-açúcar**. In: Jornada de Ensino, pesquisa e extensão, 10, 2010, UFRPE. Anais. Recife, PE: UFRPE, 2010.

CAMBARDELLA, C. A. & ELLIOTT, E. T. **A matéria orgânica particulada muda ao longo de uma sequência de cultivo de pastagem** *Ciência do Solo*. Soc. Sou. J., 56, 1992, p. 777-783.

CAMPELLO, E. F. C. **Sucessão vegetal na recuperação de áreas degradadas**. In: DIAS, L. E., MELLO, J. W. (Eds.). *Recuperação de Áreas Degradadas*. Viçosa: UFV, SOBRADE, p. 184-196, 1998.

CAMPOS *et al.* **Carbon stock and its compartments in a subtropical oxisol under long-term tillage and crop rotation systems**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, n. 3, p. 805-817, 2011.

CARPANEZZI *et al.* **Espécies pioneiras para recuperação de áreas degradadas; a observação de laboratórios naturais**. In: Congresso Florestal brasileiro, 6, 1990, Campos do Jordão. Anais. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, v. 3, p. 216-221, 1991.

CARVALHO, A. F. **Emprego da agitação horizontal na avaliação da estabilidade de agregados de cinco solos da região sudeste**. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1991.

CARVALHO *et al.* **Impact of pasture, agriculture and crop-livestock systems on soil C stocks in Brazil**. *Soil and Tillage Research*, v. 110, n. 1, p. 175–186, 2013.

CHERUBIN *at al.* **Qualidade física, química e biológica de um Latossolo com diferentes manejos e fertilizantes**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 39: p. 615-625, 2015.

CINTRA, F. L. D.; MIELNICZUCK, J.; SCOPEL, I. **Caracterização do impedimento mecânico em um Latossolo Roxo do Rio Grande do Sul**. *R. Br as. Ci. Solo*, 7: p. 323-327, 1980.

COOPER, M. **Degradação e Recuperação de Solos**. Piracicaba, p. 31 p, 2008.

COSER *et al.* **Soil microbiological properties and available nitrogen for corn in monoculture and intercropped with forage**. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 51, n. 9, p. 1660-1667, 2016.

COSTA, F. R. C.; MAGNUSSON, W. E. 2010. The Need for Large-Scale, Integrated Studies of Biodiversity: the Experience of the Program for Biodiversity Research in Brazilian Amazonia. **Natureza & Conservação** 8: p. 3-12, 2010.

CUNHA, T. J. F.; MENDES, A. M. S.; GIONGO, V. **Matéria orgânica do solo**. Embrapa Semiárido-Capítulo em livro científico (ALICE), cap. 9, p. 273-293, 2015.

CURI *et al.* **Vocabulário de ciência do solo**. Campinas. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 89, 1993.

DENEF *et al.* Influence of dry-wet cycles on the interrelationship between aggregate, particulate organic matter, and microbial community dynamics. **Soil Biology Biochemistry, Oxford**, v. 33, p. 1599-1611, 2001.

EUSTERHUES *et al.* Stabilisation of soil organic matter by interactions with minerals as revealed by mineral dissolution and oxidative degradation. **Organic Geochemistry**, v. 34, n. 12, p. 1591-1600, 2003.

FABRICIO, A. C.; SALTON, J. C. **Alterações no teor de matéria orgânica do solo em diferentes sistemas de produção**. Embrapa Agropecuária Oeste-Comunicado Técnico (INFOTECA-E), 1999.

FEDERAL, Senado. Constituição. Brasília (DF), 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 25 jan. 2022.

FERREIRA *et al.* **Carbono orgânico, óxidos de ferro e distribuição de agregados em dois solos derivados de basalto no Rio Grande do Sul – Brasil**. *Ciência Rural*, v. 37, p. 381-388, 2007.

FERRARI LEITE, J. **A ocupação do Pontal do Paranapanema**. São Paulo: Editora Hucitec, p. 202, 1998.

FONTANA *et al.* **Avaliação dos compartimentos da matéria orgânica em área de Mata Atlântica**. *Acta Scientiarum. Agronomy Maringá*, v. 33, n. 3, p. 545-550, 2011.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **Diretrizes Voluntárias para a Gestão Sustentável dos Solos**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Italy, 2019.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO; ITPS. Status of the World's Soil Resources (SWSR) – **Main Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils**, Rome, Italy, 2015.

FRANCO, A. A.; RESENDE, A. S. de; CAMPELLO, E. F. C. **Importância das leguminosas arbóreas na recuperação de áreas degradadas e na sustentabilidade de sistemas agroflorestais**. In: Embrapa Caprinos e Ovinos-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: SEMINÁRIO SISTEMAS AGROFLORESTAIS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 2003, Campo Grande, MS. Palestras. Campo Grande: Embrapa Gado de

Corte; Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Corumbá: Embrapa Pantanal, 2003. 24 f. 1 CD ROM., 2013.

FRANZLUEBBERS, A. J. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. **Soil & Tillage Research**. Amsterdam, v. 66, p. 95-106, 2002a.

FRANZLUEBBERS, A. J. Water infiltration and soil structure related to organic matter an its stratification with depth. **Soil & Tillage Research**.. Amsterdam, v. 66, p. 197-205, 2002b.

GROHMANN, F. **Análise de agregados de solos**. Bragantia, Campinas, v. 19, p. 201-213, 1960.

GUEDES, A. C. T. P. **Atividade biológica e enzimática em solo tratado com cloreto e sulfato de bário**. 2013.

HECKLER, J. C.; SALTON, J. C. **Palha: Fundamento do Sistema Plantio Direto**. In: Coleção Sistema Plantio Direto. 7. ed. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, p. 26, 2002.

IBAMA. 1990. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração**. Brasília. p. 96.

IMESON, A. **Introdução geral à degradação da terra e à desertificação**. Projeto Lucinda. Portugal, 2006. Disponível em: http://desertificacao.pt/images/docman-files/lucinda/A1_Booklet_Final_PT_rev2.pdf. Acesso em: 15 fev. 2022.

JENNY, H. **Factors of soil formation**: New York: McGraw-Hill, p. 281, 1941.

KARLEN, D. L.; STOTT, D. E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; 52 BEZDICEK, D. F. & STEWART, B. A., eds. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, Soil Science Society of American, p. 53-72 (Special Publication, 35), 1994.

KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. (Ed.) **Methods of soil analysis. Part I. Physical and mineralogical methods**. Madison, WI: **Soil Science Society of America**, p. 425-442 (Agronomy Monograph N. 9), 1986.

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

LAL, R. Restoring soil quality to mitigate soil degradation. **Sustainability**, v. 7, n. 5, p. 5875-5895, 2015.

LAL, R.; MOKMA, D.; LOWERY, B. Relation between soil quality and erosion. In: **Soil quality and soil erosion**. CRC Press, p. 237-258, 2018.

LAL, R.; KIMBLE, J.; FOLLETT, R. F. Pedospheric processes and the carbon cycle. In: LAL, R.; BLUM, W. H.; VALENTINE, C.; STEWART, B. A. (Eds) **Methods for assessment of soil degradation**. Boca Raton: CRC Press, p. 1-8, 1997.

LEHMANN, A.; ZHENG, W.; RILLIG, M. C. Soil biota contributions to soil aggregation. **Nature Ecology & Evolution**, v. 1, n. 12, p. 1828-1835, 2017.

LI *et al.* Crop cultivation and intensive grazing affect organic C pools and aggregate stability in arid grassland soil. **Soil Tillage Res.** 95: p. 172-181, 2007.

LIMA, P. C. F. **Áreas degradadas: métodos de recuperação no semi-árido brasileiro.** In: Embrapa Semiárido-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: REUNIÃO NORDESTINA DE BOTÂNICA, 27. 2004, Petrolina, PE.[Anais.]. Petrolina: SBB; Embrapa Semi-Árido; UNEB, 2004. 1 CD-ROM, 2004.

MAJOR, I.; SALES, J. C. 2012. **Mudanças Climáticas e Desenvolvimento Sustentável.** Disponível em: <https://www.ebah.com.br/content/ABAAAffzgAH/mudancas-climaticas-des-sustentavel-fasc-04-solo-poluicao>. Acesso: 15 fev. 2022.

MALTONI, K. L. **Estudo da compactação e, ou, adensamento em subsuperfície de latossolos sob diferentes usos.** Tese de Doutorado Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, p. 73, 1994.

MARTINS, J. C.; FERNANDES, R. **Processos de degradação do solo-medidas de prevenção.** Vida Rural, v. 5, n. 1827, p. 34-36, 2017.

MEDEIROS, R. B.; PINTO, A. L. **Avaliação da vulnerabilidade ambiental na área do Assentamento São Joaquim, Selvíria/MS.** Revista Caminhos de Geografia, v. 15, n. 49, p. 126-137, 2014.

MIELNICZUK, J. **Potencialidade e perspectivas de uso de culturas de cobertura e rotações de culturas como prática de conservação do solo.** In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 10., 1994, Florianópolis, SC. Pequena propriedade x desenvolvimento sustentável: resumos. Florianópolis: SBCS, 1994, p. 101-104, ref. 011.

MOREIRA *et al.* **O ecossistema solo: Solos: tipos, suas funções no ambiente, como se formam e sua relação com o crescimento das plantas.** 1.ed. Minas Gerais: Ufla, 2013. p. 47-62.

MULUMBA, L. N.; LAL, R. Mulching effects on select soil properties. **Soil Tillage Res**, 98: p. 106-111, 2008.

NASCIMENTO, C. L. do. **Avaliação econômica do aproveitamento do vinhoto concentrado como fertilizante.** 2003. 87f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências de Engenharia, Universidade Estadual do Norte Fluminense, RJ, 2003.

NOELLEMAYER *et al.* Carbon contents and aggregation related to soil physical and biological properties under a land-use sequence in the semiarid region of central Argentina. **Soil Tillage Res.** 99: p. 179-190, 2008.

OADES, J. M. Mucilages at the root surface. **J. Soil Sci.**, 29: p. 1-16, 1978.

OADES, J. M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. **Plant Soil**, 76: p. 319-337, 1984.

ORGANIZAÇÕES DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU. **A cada 5 segundos, mundo perde quantidade de solo equivalente a um campo de futebol**. ONU News: Perspectiva Global Reportagens Humanas, 05 dez. 2019. Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2019/12/1696801>>. Acesso em: 15 jan. 2022.

PARROTA, J. A. The role of plantation forests in rehabilitating degraded tropical ecosystems. **Agriculture Ecosystems and Environment**. Amsterdam, v. 41, p. 115-133, 1991.

PINTO *et al.* **A Degradação Ambiental no Brasil: Uma Análise das Evidências Empíricas**, p. 1-16. In: Seminário de Jovens Pesquisadores em Economia e Desenvolvimento.,1., Santa Maria - RS, 2013. Anais. Santa Maria-RS: UFSM.

REID, J. B.; GOSS, M. J. Effect of living roots of different plant species on the aggregate stability of two arable soils. **J. Soil Sci.**, 32: p. 521-541, 1981.

RODRIGUES *et al.* On the restoration of high diversity forests: 30 years of experience in the Brazilian Atlantic Forest. **Biological Conservation**, v. 142, p. 1242-1251, 2009.

SALTON, J. C. **Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavoura-pastagem em ambiente tropical**. Tese-Doutorado em Agronomia/Ciência do Solo – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

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

SEITZ, R. A. **A regeneração natural na recuperação de áreas degradadas**. II Simpósio Nacional de Áreas Degradadas. Curitiba-PR, painel 2/103 a 110, 1994.

SILVA *et al.* **O tráfego de máquinas agrícolas e as propriedades físicas, hídricas e mecânicas de um Latossolo dos cerrados**. R. Bras. Ci. Solo, 27: p. 973- 983, 2003.

SIX *et al.* A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil Tillage Res**, 79: p. 7-31, 2004.

SIX, J.; JASTROW, J. D. Soil organic matter turnover. In: LAL, R., ed. **Encyclopedia of soil science**. New York, Marcel Dekker. p. 936-942, 2002.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: Genesis, composition, reactions**. 2nd. ed. New York, John Wiley & Sons, 1994.

TATSCH, G. L. **Recuperação de uma área degradada através do Método de Nucleação** - Santa Margarida do Sul-RS. 40 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Pampa - Unipampa, São Gabriel - RS. 2011.

TISDALL, J. M. Formation of soil aggregates and accumulation of soil organic matter. M.R. Carter, and B.A. Stewart (ed.) **Structure and organic matter storage in agricultural soils**. Lewis Publ., Boca Raton, FL, p. 57– 96, 1996.

TISDALL, J. M; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soil. **J. Soil Sci.**, 33:p. 141-163, 1982.

TOGNON, A. A. **Atributos dos latossolos mapeados em Cerrados (Brasil Central) e floresta Amazônica**. Piracicaba. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, p. 192, 1997.

XIU *et al.* **Negligible particle-specific antibacterial activity of silver nanoparticles**. Nano letters, [s.l.], v. 12, n. 8, p. 4271-4275, 9 jul. 2012. American Chemical Society (ACS), 2012.

YODER, R. E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal of the American Society of Agronomy**, Washington, DC, v. 28, n. 5, p. 337-351, 1936.

ZANDONADI *et al.* Ação da matéria orgânica e suas frações sobre a fisiologia de hortaliças. **Horticultura brasileira**, Brasília, v. 32, n. 1, p. 14-20, jan./mar. 2014.

ZINN *et al.* Edaphic controls on soil organic carbon retention in the Brazilian Cerrado: Texture and mineralogy.:-1214 (this issue). **Soil Sci. Soc. Am. J.** 71, p. 1204, 2007.