

INFLUÊNCIA DO PISOTEIO DO GADO NA ALTERAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DE HORIZONTES SUPERFICIAIS EM SANTO ANTÔNIO DE PÁDUA

INFLUENCE OF CATTLE TRAMPLING ON CHANGE OF PHYSICAL PROPERTIES OF SURFACE HORIZONS IN SANTO ANTONIO DE PÁDUA (RJ)

Antonio Soares da Silva ¹, Gabriel Campos Pereira da Costa ¹, Gabriel Spínola Garcia Távora ¹, Roman Seliger ²

¹ Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil

¹ Leipzig University (UNI Leipzig), Leipzig, Alemanha

Correspondência para: Antonio Soares da Silva (antoniossoares@gmail.com)

doi: 10.12957/geouerj.2019.46650

Recebido em: 23 ago. 2019 | Aceito em: 18 dez. 2019



RESUMO

A degradação dos solos é um fenômeno comum no Brasil e em muitos locais do planeta. Entre as diversas formas de degradação, as alterações das características físicas do solo devido ao uso agrícola ou com pecuária parecem ser uma das formas mais frequentes. Em Santo Antônio de Pádua (RJ), a degradação dos solos foi iniciada ainda no século XVIII, com a remoção das florestas para plantio de cana-de-açúcar e café e, posteriormente, com a introdução da pecuária no século XX. O trabalho foi conduzido de forma a caracterizar fisicamente os horizontes superficiais sob fragmentos florestais, pastagem e em trilha de boi. Os resultados obtidos mostraram que não há diferença significativa entre os horizontes superficiais sob fragmentos florestais e pastagens com relação ao teor de matéria orgânica, densidade do solo e porosidade total. Porém, na comparação entre os horizontes superficiais nos fragmentos florestais e nas trilhas de boi, a diferença é significativa com relação à densidade do solo e à porosidade total. Entre as pastagens e as trilhas de boi, a diferença não é significativa. A avaliação global dos resultados mostrou que os horizontes superficiais nas pastagens se constituem em um ambiente intermediário entre os fragmentos florestais e as trilhas de boi. Com um manejo mais adequado, a atividade de criação de bovinos poderia ser praticada com um impacto menor do que o verificado nas propriedades do município.

Palavras-chave: Pecuária. Horizonte A. Matéria Orgânica. Mata Atlântica.

ABSTRACT

Soil degradation is a common phenomenon in Brazil and in many places on the planet. Among the various forms of degradation, changes in soil physical characteristics due to agricultural or livestock use appear to be one of the most frequent forms. In Santo Antônio de Padua Municipality, soil degradation began in the 18th century with the removal of forests for planting sugar cane and coffee, and later with the introduction of livestock in the 20th century. The work was developed in order to physically characterize the superficial horizons under forest fragments, pasture, and cattle tracks. The results showed that there was no significant difference between the surface horizons under forest fragments and pastures in relation to the organic matter content, soil density, and total porosity. However, when the surface horizons in the forest fragments are compared with the cattle track samples, the difference is significant in relation to soil density and total porosity. Between pastures and cattle tracks the difference is not significant. The global evaluation of the results showed that the superficial horizons in the pastures constitute an intermediate environment between the forest fragments and the cattle tracks. With better soil management practices, the activity of cattle breeding could be practiced with a smaller impact than that verified in the properties of the municipality.

Keywords: livestock. A horizon. organic matter. Atlantic Forest.

INTRODUÇÃO

O município de Santo Antônio de Pádua está localizado na região Noroeste do estado do Rio de Janeiro e apresenta terras em avançado estado de degradação. Uma das causas para a degradação é o processo de ocupação e uso do solo, marcado, ao longo do tempo, pelo plantio de cana-de-açúcar e café, pela pecuária e, mais recentemente, pela extração de rochas ornamentais.

A remoção da vegetação original (Mata Atlântica) foi iniciada no início do século XVIII (LAMEGO, 1963), dando lugar a plantações de cana-de-açúcar, café e, posteriormente, pecuária. No início do século XX, a ocupação do solo foi consolidada, pois a região já apresentava cidades e vilas implantadas. Apesar da decadência das atividades econômicas ao longo do último século, as terras permaneceram desprovidas de cobertura vegetal arbórea, mantendo o uso do solo com pastagens. Atualmente, a vegetação original encontra-se restrita a um grande número de fragmentos espalhados pelo município (BRASIL et al., 2013).

Essas ações, que perduraram por mais de 200 anos, são as causas para grande parte do processo de degradação dos solos, pois apenas o fato de se remover a cobertura vegetal já promove alterações nas características dos solos. Botelho e Silva (2007) relatam que ao remover a cobertura vegetal, rompe-se com o aporte de matéria orgânica no solo (MOS), fundamental para dar estabilidade aos agregados do solo (GUERRA, 1994). Com a redução do teor de MOS, os horizontes superficiais perdem parte de um de seus componentes, que altera as suas características morfológicas (tornam-se mais claros) e físicas (redução da estabilidade dos agregados e tornam-se menos espessos).

O aumento da erosão dos solos é uma consequência imediata da remoção da vegetação, sendo potencializada pela introdução da pecuária bovina. Sobre esta lógica de ocupação e degradação dos solos, Silva e Botelho (2014), afirmam que a mesma ocorreu no médio Vale do Paraíba do Sul, onde, a cafeicultura foi sucedida pelas pastagens.

São vários os impactos causados nos solos em função do uso agrícola e/ou com pecuária. Entre esses: a redução do teor de MOS, aumento da densidade do solo (DS) e a redução da porosidade total. Ao discutir

o processo erosivo causado pelo rebanho bovino, Thomaz e Dias (2009) atribuem a tal processo o nome de bioerosão, ressaltando a participação da fauna bovina como agente modelador do relevo e causador de bioerosão. O impacto causado pelo uso intensivo e de baixo investimento em práticas de manejo é uma das principais causas da erosão no Brasil (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1994; GUERRA, 1994; 1999; 2003; SATTLER et al., 2017; SELIGER et al., 2018; SOARES DA SILVA et al., 2018).

Naylor et al. (2002) discutem o papel da biogeomorfologia e suas perspectivas para pesquisas futuras e são enfáticos ao afirmar que são necessários estudos que proponham metodologias para a análise do impacto da fauna sobre a formação e destruição do solo.

Dentro dessa linha de pensamento, alguns autores apresentaram resultados sobre a dimensão e a profundidade do impacto da pegada do boi. Para Trein et al. (1991), a compactação causada pelo pisoteio bovino atinge a camada superficial do solo, até 7,5 cm de profundidade. Essa compactação pode ocorrer devido à umidade inadequada do solo durante o período de pastejo, ao sistema contínuo de pastejo e à reduzida massa de forragem nas áreas. Os bovinos exercem, em média, uma pressão de 0,17 MPa por casco, podendo atingir um aprofundamento do casco no solo da ordem de 12 cm (COHRON, 1972).

A densidade do solo é um dos parâmetros que reflete o efeito do pisoteio animal nas áreas de pastagem. Reinert et al. (2001) sugerem o valor $1,45 \text{ mg m}^{-3}$ como sendo o limite da densidade do solo em áreas de pastagem e com solo com teores de argila acima de 55%. A partir desse valor, a produtividade dos solos começaria a diminuir. No entanto, não existe consenso entre os autores. Para Reichert et al. (2003), a densidade crítica para Latossolos com teores de argila maiores que 70% estaria próximo a $1,40 \text{ mg m}^{-3}$.

Devido à variação nos níveis de degradação dos solos, é necessário se estabelecer o background que permita se determinar se um solo foi recuperado. Assim, estabelecer não apenas níveis de degradação, mas também demonstrar níveis de recuperação são objetivos a serem propostos por pesquisadores.

Os níveis de degradação e, conseqüentemente, de recuperação estão atrelados a indicadores que podem ser físicos, químicos e biológicos. Esses indicadores podem ser identificados concomitantemente no solo, embora a plenitude de cada um deles ocorra em momentos diferentes. O aumento do teor de matéria orgânica tem sido relatado como um dos principais indicadores do início da recuperação de um solo degradado. Em pesquisas desenvolvidas em áreas de mineração em processo de recuperação, Anderson et al. (2008), Moraes et al. (2008), Wick et al. (2009) e Yada et al. (2015) apontam que não apenas o teor de carbono orgânico do solo, mas também todo o processo que envolve a sua presença no solo, entre eles, atividade microbiana, respiração basal e melhoria da estruturação do solo, são indicadores de estágios do processo de recuperação/restauração. Mesmo que esses valores não sejam iguais aos das áreas de controle, intervalos de cinco a dez anos, já apontam para uma melhoria nas condições de recuperação de solos degradados.

O processo de recuperação ocorreria com a redução e/ou interrupção do pastejo ou mesmo se estabelecendo formas de manejo mais adequadas (BETTERIDGE et al., 1999). Para esses autores, a extensão da área degradada e o nível de compactação do solo depende do tipo de animal envolvido no pastoreio. Em duas propriedades com pastagem de ovelhas e bovinos em diferentes condições de umidade, o maior nível de compactação do solo ocorreu com gado ovino, estando essa diferença relatada com o tipo de casco de cada animal, que, nesse caso, possui menor superfície de contato. No entanto, espacialmente, a área impactada pelos bovinos foi superior, devido ao maior trajeto percorrido. A superfície dos solos pastejadas pelas ovelhas tende a ser mais rugosa do que o solo sob pastagem de bovinos.

Em função do nível de degradação, o solo pode apresentar diferentes níveis de qualidade, sendo necessário estabelecer um nível de Qualidade do Solo (QS). Para Doran (1997) e D'Andrea (2002), a QS ocorre a partir do funcionamento do solo dentro de um ecossistema, natural ou antropizado, sustentando a produtividade de plantas e animais, mantendo a qualidade do ar e água, sendo as alterações realizadas nesse sistema, agentes e reveladores da alteração das propriedades do solo e conseqüente perda de QS.

A escolha de indicadores de QS para avaliar o estágio de degradação ou de recuperação de uma área é muito variada. Ainda que se possa utilizar indicadores físicos, químicos e biológicos, parece ser uma tendência entre os trabalhos analisados a utilização de parâmetros físicos como indicadores. A tais parâmetros físicos, são acrescidos o teor de carbono orgânico do solo. A escolha desses indicadores parece ser fruto da maior facilidade de sua obtenção.

Ingaramo (2003), Doran e Parkin (1994) e Guerra (1994), destacam índices como densidade do solo, resistência mecânica, porosidade, textura, matéria orgânica e estabilidade dos agregados como fatores caracterizadores da qualidade do solo, sendo os mesmos condicionadores dos processos erosivos. Essas propriedades dos solos são alteradas em função do trânsito de animais, que exerce uma força sobre a camada superficial do solo, altera as unidades estruturais, aumenta a densidade do solo, reduz a porosidade e modifica a hidrologia do topo do solo, aumentando a geração de fluxos superficiais e conseqüentemente erosão (GUERRA, 1994; MORGAN, 2005; SUZUKI et al., 2007).

Ainda que toda a área de pastagem seja afetada de alguma forma pelo pisoteio do gado, os locais mais emblemáticos em termos de degradação são as trilhas de boi (Figura 1). A passagem constante dos animais nesses trechos acaba por gerar depressões que variam de poucos centímetros a pequenas ravinas com profundidades que podem atingir 50 cm de profundidade (THOMAZ e DIAS, 2009; SELIGER et al., 2018). A profundidade da trilha seria resultado da dimensão e extensão do impacto da força exercida sobre o solo em função do pisoteio bovino. Para Trein et al. (1991), esse impacto atinge a profundidade de até 7,5 cm, enquanto que para Cohron (1972) e Greenwood e Mckenzie (2001), o impacto que resulta na compactação superficial do solo atinge a profundidade de 12 cm a 15cm. A distancia entre as trilhas de gado é determinada pela inclinação da encosta, tipo do gado (bovino, caprino, ovino e outros), altura da gramínea e largura de trilha (HOWARD e HIGGINS, 1987). O tipo de gramínea influencia também a formação das trilhas no sentido de que espécies de grama tipo topete, sem rizoma ou estolhos forma trilhas mais larga e profundas e grama curta, com rizoma e estolhos favorecem o desenvolvimento de trilhas estreitas e pouco profundas (OIKAWA et al., 1988). As trilhas na encosta, normalmente, seguem as curvas de nível na encosta, sendo às vezes, rompidas devido a força da água do escoamento

superficial. Trilhas diagonais e verticais na encosta são frequentemente formadas pelo gado procurando chegar em locais onde são colocados os suplementos alimentares ou para chegar as áreas mais altas.



Figura 1. As principais formas erosivas presentes no município podem ser contempladas nesta fotografia do ano de 2007. Observam-se trilhas de boi (à esquerda), erosão laminar severa com exposição do horizonte B (superior direita) e ravinas (centro da fotografia). Fotografia: Antonio Soares da Silva, 2007.

A densidade do solo é um dos parâmetros que reflete o efeito do pisoteio animal nas áreas de pastagem. Reichert et al. (2003) e Reinert et al. (2008) sugerem o valor de $1,40 \text{ g cm}^{-3}$ como sendo o limite da densidade do solo em áreas de pastagem e com solo com teores de argila entre 550 g kg^{-1} e 700 g kg^{-1} , tendendo a produtividade dos solos a diminuir acima desse nível.

O processo de compactação do solo depende do teor de umidade. Dias Junior e Pierce (1996) ressaltam as condições inadequadas de umidade como principais causas de compactação, sendo um dos principais fatores determinantes da susceptibilidade à compactação. Em Santo Antônio de Pádua, com a concentração das chuvas no período de novembro a março, os solos permanecem por um longo período com alta taxa de umidade. Esse período coincide com máximo crescimento do pasto e, conseqüentemente, trânsito de animais, aumentando a probabilidade de compactação do solo.

A matéria orgânica também deve ser considerada com um fator preponderante para determinar a capacidade de compactação do solo, pois sempre apresenta correlação negativa com a densidade aparente Kiehl (1979). O teor de MOS também tem influência nas taxas de erosão (GUERRA, 1994; BRAIDA et al., 2006). Nos solos com maior teor de areia, tais como um Argissolo Vermelho-Amarelo arênico, é importante a manutenção de elevados teores de MOS (BRAIDA et al., 2006), pois a matéria orgânica é um dos agentes que melhoram a resistência do solo à erosão (MERTEN e MIELNICZUK, 1991; GUERRA, 1994; MORGAN, 2005).

O município de Santo Antônio de Pádua (Figura 2) apresenta características climáticas, pedológicas e geomorfológicas que contribuem para aceleração do processo de degradação e erosão dos solos. Apesar dos totais pluviométricos anuais não ultrapassarem 1200 mm em média, as chuvas estão concentradas nos meses de novembro a março (BRANDÃO et al., 2016). O mês mais seco apresenta o volume de chuva médio de 12,8 mm, e a temperatura média anual é 23,7°C.

A vegetação original de Mata Atlântica está restrita aos topos dos morros e áreas de mais difícil acesso. O mapa de cobertura vegetal e uso do solo do município mostrou que cerca de 83% do território apresentam cobertura de gramíneas e uso como pastagem (Figura 3). Cerca de 13% da área apresenta cobertura vegetal de floresta, independentemente do grau de sucessão ou do tamanho do fragmento (BRASIL et al., 2013).

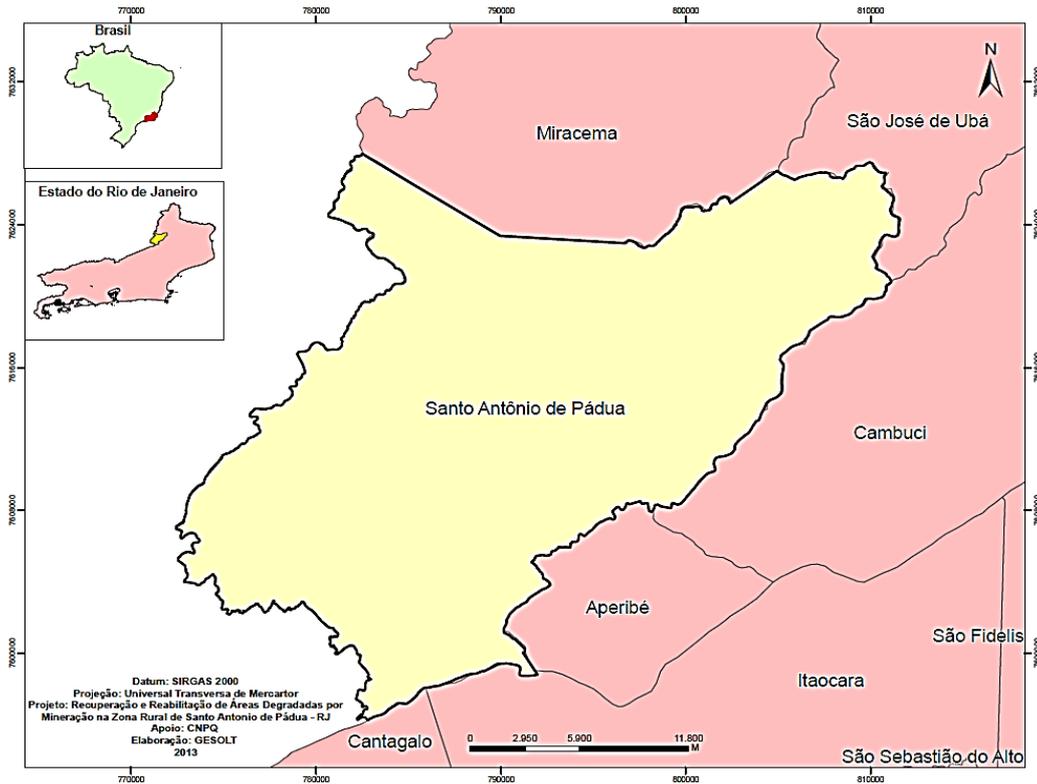


Figura 2. Mapa de localização do município de Santo Antônio de Pádua. Fonte: Brandão, 2016.

O relevo é caracterizado por colinas côncavo-convexas e alguns alinhamentos serranos de baixa altitude (DANTAS, 2001). Os solos são predominantemente Argissolos Vermelho-Amarelos e Argissolos Vermelhos, ambos de textura média a muito argilosa (CARVALHO FILHO et al., 2001).

O município é destaque na produção de rochas ornamentais. No entanto, áreas de mineração ocorrem e/ou ocorriam em APPs (SILVA, 2011). A partir do apresentado anteriormente, o objetivo deste trabalho foi analisar as propriedades físicas dos horizontes superficiais para determinar o grau de degradação em função do uso como pastagem.

Metodologia

Para a realização deste trabalho, foram feitas coletas em 33 pontos, entre os quais foram selecionados 26 para análise, sendo quatro pontos em fragmentos florestais, 14 sob pastagens e oito em trilhas de boi. Os pontos amostrais excluídos deste artigo se referem a coletas em floresta de eucalipto, áreas de queimada. A coleta nos fragmentos teve como objetivo determinar quais seriam as características dos horizontes superficiais em ambiente com pouca ou nenhuma interferência antrópica. Mesmo estando

situadas dentro de áreas de pastagens, as trilhas de boi foram objeto de coletas em separado e, portanto, terão seus resultados apresentados separadamente. Estas trilhas são os locais por onde os animais passam com maior frequência, seja ao passar pelas porteiras para entrar nos piquetes ou para ir em direção aos locais onde são disponibilizados os suplementos minerais e água.

Em cada ponto, foi coletada uma amostra volumétrica, por meio do Anel de Kopecky, com volume total de 100 cm³, para determinação da Densidade do Solo (DS), umidade residual (%), Densidade da Partícula (DP) e Porosidade Total (PT); e uma amostra bruta para as demais determinações físicas e químicas. Todos os ensaios seguiram o Manual de Métodos de Análise de Solo (EMBRAPA, 1997). As análises morfológicas seguiram Lemos e Santos (1996) e foram feitas para caracterizar a espessura e cor dos horizontes superficiais.

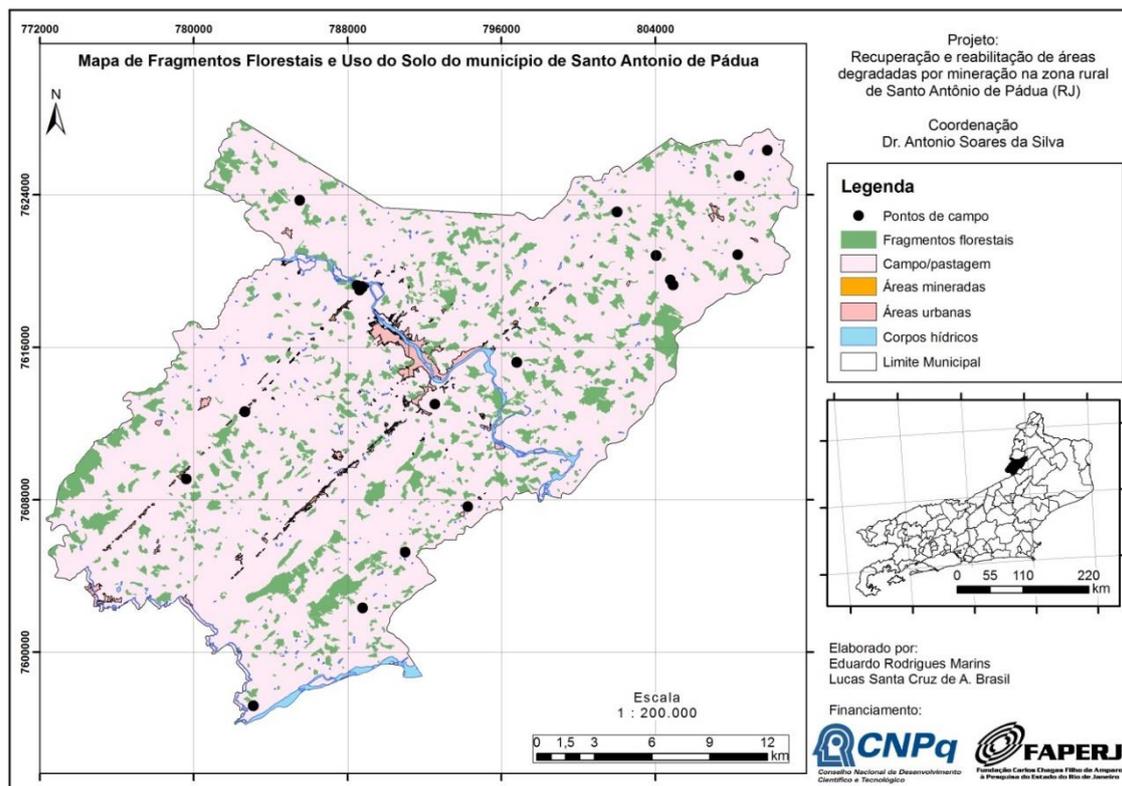


Figura 3. Mapa de cobertura vegetal e uso do solo com base em fotografias aéreas do ano de 2007. Destaca-se a grande fragmentação dos remanescentes de Mata Atlântica, que ocupam apenas pouco mais de 13% da área do município. Fonte:

BRASIL et al., 2013.

Em cada ponto, foi coletada uma amostra volumétrica, por meio do Anel de Kopecky, com volume total de 100 cm³, para determinação da Densidade do Solo (DS), umidade residual (%), Densidade da Partícula (DP) e Porosidade Total (PT); e uma amostra bruta para as demais determinações físicas e químicas. Todos os ensaios seguiram o Manual de Métodos de Análise de Solo (EMBRAPA, 1997). As análises morfológicas seguiram Lemos e Santos (1996) e foram feitas para caracterizar a espessura e cor dos horizontes superficiais.

Nessa pesquisa, a análise de variância foi utilizada para testar se havia alguma diferença significativa entre as médias e variâncias das variáveis (matéria orgânica e densidade do solo) para os diferentes grupos de classe de uso da terra (Fragmentos, Pastagem e Trilha de boi). A análise de variância tem por objetivo realizar um teste de hipótese que demonstre se três ou mais tratamentos apresentam diferenças entre as suas médias ou variâncias (ROGERSON, 2012).

Em um primeiro momento, foi realizado o teste de normalidade Shapiro-Wilk, com nível de significância de 5%. Esse teste foi aplicado para compreender se as amostras apresentam distribuição normal.

Após a confirmação do teste de hipótese, foi feita a análise de variância *One-Way* (ANOVA). Nessa análise, que visa comparar se as diferenças entre as médias dos níveis do fator são significativas, é aplicado o Teste de Tukey, que considera um nível de significância de 5% entre as médias dos diferentes usos da terra. Todas as análises foram realizadas no software R (versão 3.4.3).

Resultados

As diferenças observadas nos atributos físicos dos solos indicam que o pisoteio do gado tem um impacto negativo para qualidade do solo. As análises estatísticas dos dados mostraram que, para variável matéria orgânica do solo, não há razão para rejeitar a hipótese de igualdade das médias, ao nível de significância de 5% (Tabelas 1 e 2).

Este resultado indica que, embora tenha sido verificado teores menores de MOS nos solos em trilha de boi, estes não diferem estatisticamente dos pontos de coleta em fragmentos de florestas e pastagem. Os

teores de MOS nas áreas dos fragmentos florestais são relativamente baixos, oscilando entre 1,36 % e 2,30% (Figura 4), contudo, estão de acordo com as características ambientais da região, que não possibilitam maior acumulação de matéria orgânica no solo.

Ponto	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	DS	PT	MOS	Classe Textural
	g kg ⁻¹				g cm ⁻³	%		
	Fragmento							
1	247	221	332	201	1,29	48,38	1,91	Média
2	540	171	132	157	1,06	55,27	2,30	Média
3	121	147	245	487	1,44	41,76	1,81	Argilosa
4	271	142	114	473	1,25	49,96	1,36	Argilosa
	Pastagem							
5	248	307	196	249	1,34	49,16	2,45	Média
6	223	227	239	311	1,16	52,43	3,01	Média
7	257	247	255	242	1,41	42,70	2,03	Média
8	528	195	163	114	1,35	45,25	2,15	Média
9	274	159	242	325	1,45	41,81	1,11	Média
10	437	166	220	178	1,41	42,37	2,55	Média
11	512	232	141	114	1,46	42,94	1,56	Média
12	296	276	220	208	1,34	44,93	1,84	Média
13	202	115	230	453	1,54	39,94	2,29	Argilosa
14	316	178	194	312	1,37	47,41	1,67	Média
15	266	154	143	437	1,52	38,47	1,75	Argilosa
16	349	221	201	229	1,36	41,92	3,05	Media
17	396	205	138	261	1,52	37,27	1,93	Media
18	255	162	55	528	1,18	54,61	0,95	Argilosa
	Trilha de boi							
19	318	239	222	221	1,56	39,56	1,54	Média
20	307	141	217	335	1,43	44,01	1,69	Média
21	240	159	266	335	1,53	38,68	2,19	Média
22	370	134	237	259	1,51	40,03	1,65	Média
23	275	232	228	266	1,54	39,87	1,81	Media
24	211	205	264	320	1,59	37,22	0,84	Média
25	321	178	197	304	1,60	38,09	0,56	Média

26	281	310	225	184	1,48	39,72	1,44	Media
----	-----	-----	-----	-----	------	-------	------	-------

Tabela 1. Dados físicos dos horizontes superficiais amostrados.

Legenda: DS: Densidade do Solo; PT: Porosidade Total; MOS: Matéria Orgânica do Solo.

No município de Santo Antônio de Pádua, os fragmentos florestais são muito numerosos, mas situados em locais com dificuldade de acesso (áreas muito inclinadas ou áreas rochosas) e, muitas vezes, com sinais de intervenção antrópica. Muitas dessas intervenções estavam associadas à abertura de trilhas, retirada seletiva de vegetação, acesso de animais etc. Essas ações, juntamente com o tamanho reduzido dos fragmentos, ampliam o efeito de borda, ampliam a entrada de luz, acelerando a mineralização da matéria orgânica, modificando a dinâmica desses ambientes (BRASIL et al., 2013; SILVA, 2014).

Atributos físicos	Usos		
	Fragmentos	Pastagens	Trilha de boi
Areia Total	464,75 a	528,71 a	490 a
Silte	205,75 a	188,36 a	232 a
Argila	329,5 a	282,93 a	278 a
Relação Silte/Argila	0,81 a	0,81 a	0,87 a
Da	1,26 a	1,39 a	1,53 b
Pt	48,84 b	44,37 ab	39,65 a
MOS	1,85 a	2,02 a	1,47 a

Tabela 2. Teste de igualdade das hipóteses para os atributos físicos e matéria orgânica do solo. Legenda: Médias seguidas de mesma letra na horizontal não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

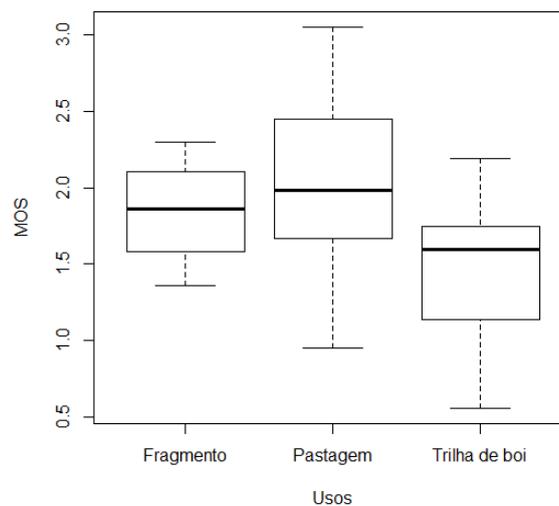


Figura 4. Boxplot com os dados de MOS para cada uma das classes de uso da terra analisada.

Nas áreas de pastagem, os valores de MOS são variados, oscilando entre 0,95% e 3,05%. Os valores de MOS são, inclusive, mais elevados em alguns dos pontos de coleta, que os pontos sob floresta. Esse efeito deve-se a dois motivos: o primeiro está relacionado à densidade do sistema radicular das gramíneas, que propiciam um elevado aporte de carbono ao solo, e à adição de esterco, quando da passagem dos animais (LAL, 2002). Já nas áreas de trilha de boi, o teor de MOS das amostras apresentaram os valores baixos, sendo o menor percentual 0,56% e o mais elevado de 2,19%. Pode-se afirmar que teores inferiores a 1% são comumente encontrados nos horizontes B dos solos tropicais (CANELLAS et al., 2000; LUMBRERAS et al., 2001). Esses resultados indicam que, em geral, os solos do município apresentam baixos teores de MOS, independentemente da cobertura do solo.

A Densidade do Solo (DS) mostrou-se um eficiente indicador para diferenciar as características dos horizontes superficiais nos três ambientes apresentados até o momento. A análise da variável densidade aparente rejeitou a hipótese de igualdade das médias. Por tal motivo, foi aplicado o teste de comparação múltipla de Tukey para identificar os fatores que se relacionam às diferenças.

Não houve diferenças significativas na média da densidade do solo entre os fragmentos de floresta nativa e pastagem. No entanto, o fator trilha de boi produz uma elevação na média da densidade solo, ao nível de significância de 5%. Ou seja, embora a cobertura vegetal original tenha sido removida ao longo dos anos para implementação da pastagem, os dados de DS das áreas de pastagem e de fragmentos nativa têm limites muito próximos. Entretanto, quando a comparação é feita entre a floresta nativa e as trilhas de boi, os resultados apontam que as médias não apresentam igualdade, diferindo estatisticamente e representando degradação dos solos por meio da DS elevada em trilhas de boi.

Nas áreas de fragmentos florestais, os valores de DS oscilaram entre 1,06 g cm⁻³ e 1,44 g cm⁻³ (Figura 5), sendo este valor considerado elevado para um ambiente de floresta. Apesar disso, esses valores estão de acordo com alguns trabalhos realizados na região. Brandão (2017) encontrou valores de DS de 1,23 g cm⁻³ e PT de 50,6% em fragmento florestal em Santo Antônio de Pádua. Como fora mencionado, os fragmentos florestais sofrem com intenso processo de efeito de borda e influência antrópica. Isso contribuiu com os baixos teores de matéria orgânica observados. Como a MOS tem um papel fundamental

para estabilizar os agregados, e diminuir a massa em relação ao volume (LESPCH, 2011), os baixos teores de MOS nas áreas de fragmento florestal podem ajudar a explicar os elevados valores de densidade do solo.

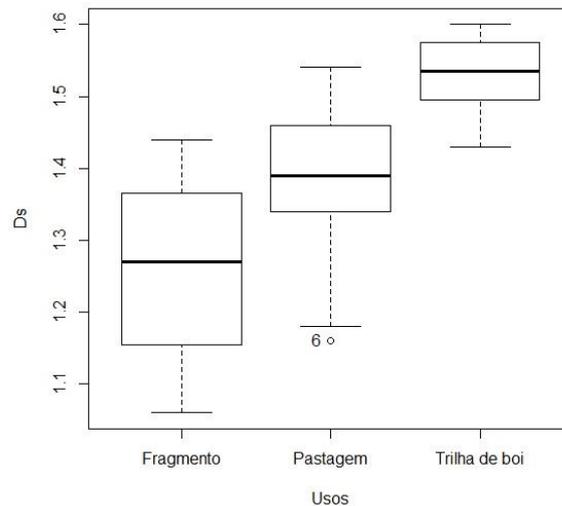


Figura 5. Boxplot com os dados de Ds para cada uma das classes de uso da terra analisada.

As áreas de pastagem cobrem cerca de 83% do município (BRASIL et al., 2013), sendo sua análise fundamental para compreender a dimensão das alterações nos horizontes superficiais em Santo Antônio de Pádua. No entanto, os resultados mostraram que os valores de DS não são muito elevados, porém, sempre acima de $1,30 \text{ g cm}^{-3}$, com três amostras com valores acima de $1,50 \text{ g cm}^{-3}$. Em dois pontos de coleta, o valor da DS foi de apenas $1,16 \text{ g cm}^{-3}$ e de $1,18 \text{ g cm}^{-3}$, sendo esses valores muito próximo dos valores encontrados nos fragmentos.

As trilhas de boi apresentam os maiores valores para a densidade do solo. O menor valor para a DS nas trilhas foi de $1,43 \text{ g cm}^{-3}$ e o mais elevado foi de $1,60 \text{ g cm}^{-3}$. É perceptível o aumento da DS quando os valores são comparados com as áreas de fragmentos e pastagens (Figura 5). Esse resultado comprova como o pisoteio do gado atua de modo heterogêneo dentro da pastagem, sendo as áreas desprovidas de gramíneas, aquelas com maiores valores de DS. Esse fato está relacionado aos baixos teores de MOS e, muitas vezes, à exposição do horizonte B, que se reflete porosidade total (PT), sendo o valor mais elevado de 44,01 % e o mais baixo de 37,22 %. Pode-se afirmar com esses baixos valores de PT que a capacidade de infiltração de água no topo do solo é muito baixa (KIEHL, 1979).

Assim, como os dados de densidade do solo, os dados de porosidade também rejeitaram a hipótese de igualdades entre as médias. Como se trata de uma variável que possui uma correlação negativa em relação à densidade do solo, tal resultado era esperado. Portanto, como pode-se observar, as áreas de fragmento florestal apresentaram os melhores resultados para porosidade, seguindo as áreas de pastagem e, por fim, as áreas de trilha de boi.

As áreas de fragmento florestal apresentaram valores de PT relativamente baixos, oscilando entre 41,76% e 55,27% (Figura 6), assim como nas áreas de pastagem, cujos valores oscilaram entre 37,27% e 54,61%. Já nas áreas de trilha de boi, os valores mais elevados de DS se refletem diretamente na PT. O maior percentual de PT é de 44,01% e o mais baixo de 37,22%. Os valores mais baixos de PT nos fragmentos florestais podem estar relacionados ao fato de se tratarem de áreas de florestas que são intensamente impactados pelas atividades antrópicas, tais como retirada de vegetação, pequeno tamanho dos fragmentos, o que aumenta o efeito de borda e amplia a entrada de luz, com a consequente, redução da umidade, dentre outros.

Os dados analisados mostraram que os solos sob os fragmentos florestais não apresentam indicadores muito melhores do que os solos sob pastagem. As razões para esse fenômeno podem estar atreladas ao próprio ambiente onde esses solos se desenvolvem, que não propicia uma grande acumulação de MOS, o que reflete na densidade do solo e na porosidade total, mais elevada e mais baixa respectivamente.

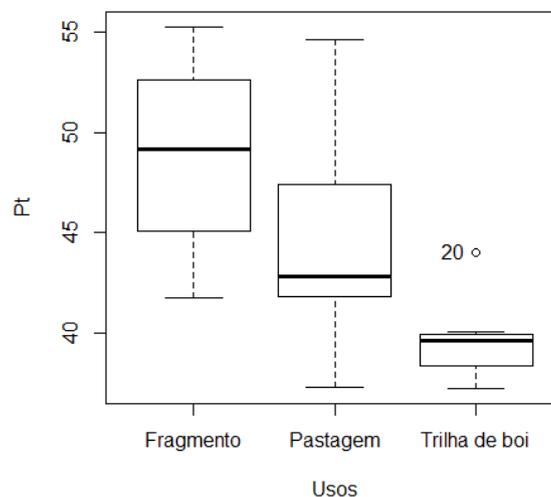


Figura 6. Boxplot com os dados de Ds para cada uma das classes de uso da terra analisada.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados mostraram nítida diferenciação entre os três ambientes analisados, ainda que em não seja significativa em alguns casos. Os solos sob os fragmentos de florestas e sob pastagem possuem valores de teor de matéria orgânica e de densidade do solo, cuja variação é pouco significativa. No entanto, quando se analisam os dados das amostras de solo coletados nas trilhas de boi, os sinais de degradação são mais visíveis, não somente pela própria trilha em si, mas também pelos dados de densidade do solo, porosidade total e matéria orgânica.

O teor de matéria orgânica é muito baixo nas trilhas de boi, indicando a total remoção do horizonte A, devido ao intenso pisoteio do gado. Essa alteração é acompanhada pelo aumento da densidade do solo, que, sem as raízes das gramíneas, tende a apresentar os maiores valores entre os resultados apresentados nesse trabalho.

A baixa diferenciação entre os fragmentos de floresta e a pastagem nos leva a acreditar que, com um manejo adequado das trilhas de boi, dentre eles, pastagem rotacionada, renovação das pastagens e replantar as áreas sem cobertura de gramíneas, a atividade de pecuária poderia ser mais difundida e resultar em um ambiente com menor nível de degradação.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, J. D.; INGRAM, L. J.; STAHL, P. D. Influence of reclamation management practices on microbial biomass carbon and soil organic carbon accumulation in semiarid mined lands of Wyoming. *Applied Soil Ecology*, v. 40, p. 387-397, 2008.
- BERTONI, J. e LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo*. São Paulo: Ícone, 1990. 355 p.
- BETTERRIDGE, K.; MACKAY, A. D.; SHEPHERD, T. G.; BARKER, D. J., BUDDING, P.J.; DEVANTIER, B. P. e COSTALL, D. A. Effect of cattle and sheep treading on surface configuration of a sedimentary hill soil. *Australian Journal of Soil Research*, v. 37, p. 743-760, 1999.
- BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. Bacia hidrográfica e a gestão ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (Orgs.). *Reflexões sobre a Geografia Física Brasileira*. Rio de Janeiro: BCD - União de Editoras S/A - Bertrand Brasil, 2007, p. 153-192.
- BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; REINERT, D. J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 30, n. 4, p. 605-614, 2006.

- BRANDÃO, C. B. **Análise multivariada das emissões de CO₂ em horizontes superficiais sob diferentes tipos de cobertura do solo**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGEO-UERJ). 2017. 147f.
- _____.; SILVA, A. S.; MIRANDA, R. A. C.; GUERRA, A. J. T. Determination of Climatological Profile of Santo Antônio de Pádua Municipality, Rio de Janeiro State and its Applicability to Degraded Areas Recovery. **Anuário do Instituto de Geociências** (Online), v. 39_1, p. 5-12, 2016.
- BRASIL, L. S. C. A.; MARINS, E. R.; SILVA, A. S. Definição de áreas prioritárias para revegetação em Santo Antônio de Pádua (Rio de Janeiro - Brasil). In: 14^o Encontro de Geógrafos da América Latina, 2013, Lima. **Anales do 14^o EGAL**, Lima: 2013.
- CANELLAS, L.P.; BERNER, P. G.; SILVA, S. G.; SILVA, M. B.; SANTOS, G. A. Frações da matéria orgânica em seis solos de uma toposequência no estado do Rio de Janeiro. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 35, n. 1, p. 133-143, 2000.
- CARVALHO FILHO, A.; LUMBRERAS, J. F.; SANTOS, R. D. Os solos do estado do Rio de Janeiro. In: **Estudo Geoambiental do estado do Rio de Janeiro**. CPRM. CD-RM. 2001. 36p.
- COHRON, G. T. Forces causing soil compaction. In: BARNES, K. K.; CARLETON, W. M.; TAYLOR, H. M.; THROCKMORTON R. I.; VANDER BERG, G. E. **Compaction of agricultural soils**. Beltsville: ASAE, 1972. p. 106-122.
- D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M. Atributos de agregação indicadores de qualidade do solo em sistemas de manejo na região dos Cerrados no sul do Estado de Goiás. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 26, n. 4, p. 1047-1054, 2002.
- DANTAS, M. E. Geomorfologia do estado do Rio de Janeiro. In: **Estudo Geoambiental do estado do Rio de Janeiro**. CPRM. CD-ROM. 2001. 63 p.
- DIAS JUNIOR, M. S.; PIERCE, F. J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 20, p. 175-182, 1996.
- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (Eds.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, ASA, CCSA, SSSA (SSSA Spec. Publ., 35), 1994. p. 3-21.
- DORAN, J. W. Soil quality and sustainability. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, 26, Rio de Janeiro, 1997. **Anais**. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. CD-ROM.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Rio de Janeiro. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, EMBRAPA-CNPQ, 1997, p. 212.
- GREENWOOD, K. L.; MCKENZIE, B. M. Grazing effects on soil physical properties and the consequences for pastures: A review. **Austr. J. Exper. Agric.**, v. 41, p. 1231-1250, 2001.
- GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Ed Bertrand Brasil, 1994. p. 149-209.
- _____. Encostas e a Questão Ambiental. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs.). **A Questão Ambiental: Diferentes Abordagens**. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, 2003, p. 191-218.
- _____. O início do processo erosivo. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Orgs.). **Erosão e conservação dos solos - conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999, p. 17-55.
- HOWARD, J. K.; HIGGINS, C. G. Dimensions of grazing-step terracettes and their significance. **International Geomorphology**, 2, 545-568, 1987.
- INGARAMO, O. E. **Indicadores físicos de la degradación del suelo**. La Coruña, Universidade da Coruña, 2003. p. 298 (Tese de Doutorado).
- KIEHL, E. J. **Manual de edafologia**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 262 p.
- LAL, R. Soil carbon dynamics in cropland and rangeland. **Environmental Pollution**, v. 116, p. 353-362, 2002.
- LAMEGO, A. R. **O Homem e a Serra**. Rio de Janeiro: IBGE. 2a. Edição, 1963. 464 p.

- LEMONS, R. C.; SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 3ª ed. Campinas: SBCS/EMBRAPA-SNLCS, 1996, 83 p.
- LEPSCH, I. **19 Lições de Pedologia**. São Paulo. Oficina de Textos, 2011.
- LUMBRERAS, J. F.; CARVALHO FILHO, A.; CALDERANO FILHO, B.; SANTOS, R. D. **Levantamento pedológico, vulnerabilidade e potencialidade ao uso das terras – Quadrículas de Silva Jardim e Rio das Ostras**. EMBRAPA. Boletim de Pesquisa, nº 23. 2001.
- MERTEN, G. H.; MIELNICZUK, J. Distribuição do sistema radicular e dos nutrientes em Latossolo Roxo sob dois sistemas de preparo do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 3, p. 369-374, 1991.
- MORAES, L. F. D.; CAMPELLO, E. F. C.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A. Características do solo na restauração de áreas degradadas na Reserva Biológica de Poço das Antas, RJ. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 2, p. 193-206, 2008.
- MORGAN, R. P. C. **Soil erosion and conservation**. 3ª. Ed. Blackwell Publishing. 2005. 304 p.
- NAYLOR, L. A.; VILES, H. A.; CARTER, N. E. A. Biogeomorphology revisited: looking towards the future. **Geomorphology**, v. 47, p. 3-14, 2002.
- OIKAWA, M.; SHIMAMURA, M.; USHIYAMA, M.; FUKUYAMA, M. Characteristics of Cattle Tracks on Steep Grassland in Relation to Cattel Behavior and Land Conservation. **Japan Agricultural Research Quarterly**, 22(3), 200–205, 1988.
- REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Revista Ciência & Ambiente**, v. 27, p. 29-48, 2003.
- REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADA, M. M. C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura de Argissolo Vermelho. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 32, p. 1805-1816, 2008.
- ROGERSON, P. A. **Métodos estatísticos para Geografia: um guia para o estudante**. Bookman Editora, 2012.
- SATTLER, D.; SELIGER, R.; NEHREN, U.; TORRES, F. N.; SILVA, A. S.; RAEDIG, C.; HISSA, H. R.; HEINRICH, J. Pasture Degradation in South East Brazil: Status, Drivers and Options for Sustainable Land Use Under Climate Change. In: LEAL FILHO, W.; FREITAS, L. E. (Orgs.). **Climate Change Adaptation in Latin America**. 1 ed.: Springer International Publishing, 2017, v. 1, p. 3-17.
- SELIGER, R.; SATTLER, D.; SOARES DA SILVA, A.; COSTA, G. C. P.; HEINRICH, J. Rehabilitation of Degraded Sloped Pastures: Lessons Learned in Itaocara, Rio de Janeiro. In: Nehren, U.; Schlüter, S.; Raedig, C.; Sattler, D.; Hissa, H. (Orgs.). **Strategies and Tools for a Sustainable Rural Rio de Janeiro**. 1 ed.: Springer International Publishing, 2018, v. 1, p. 391-404.
- SOARES DA SILVA, A.; SELIGER, R.; SATTLER, D.; HEINRICH, J. Soil Degradation in Southeast Brazil: A Challenge for Restoration and Rehabilitation. In: Nehren, U.; Schlüter, S.; Raedig, C.; Sattler, D.; Hissa, H. (Orgs.). **Strategies and Tools for a Sustainable Rural Rio de Janeiro**. 1 ed.: Springer International Publishing, 2018, v. 1, p. 377-389.
- SILVA, A. S. Mineração e áreas de preservação permanentes (APPs) em Santo Antônio de Pádua – RJ. **Revista Soc. & Nat.**, Ano 23, n. 2, p. 173-185, 2011.
- _____. **Relatório final do projeto: Recuperação e reabilitação de áreas degradadas por mineração na zona rural de Santo Antônio de Pádua (RJ)**. Edital MCT/CNPq/CT-Agronegócio nº 26/2010. 2014, 89 p.
- _____; BOTELHO, R. G. M. Degradação dos solos no estado do Rio de Janeiro. In: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. (Orgs.). **Degradação dos Solos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014, p. 261-292.
- SYZUKI, L. E. A. S.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; LIMA, C. L. R. Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 42, n. 8, p. 1159-1167, 2007.
- THOMAZ, E. L.; DIAS, W. A. Bioerosão: evolução do rebanho bovino brasileiro e implicações nos processos geomorfológicos. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 10, n. 2, p. 3-11, 2009.
- TREIN, C. R.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Métodos de preparo do solo na cultura do milho e ressemeadura do trevo, na rotação aveia + trevo/milho, após pastejo intensivo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 15, p. 105–111, 1991.

WICK, A. F.; INGRAM, L. J.; STAHL, P. D. Aggregate and organic matter dynamics in reclaimed soils as indicated by stable carbon isotopes. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 41, p. 201-209, 2009.

YADA, M. M.; MINGOTTE, F. L. C.; MELO, W. J.; MELO, G. P.; MELO, V. P.; LONGO, R. M.; RIBEIRO, A. I. Atributos químicos e bioquímicos em solos degradados por mineração de estanho e em fase de recuperação em ecossistema amazônico. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 39, p. 714-724, 2015.