
ECOLOGIA

VINÍCIUS MENDES

**SOLO E BIOTURBAÇÃO COMO
FERRAMENTAS DE AVALIAÇÃO DA
DEGRADAÇÃO EM PASTAGEM**



Rio Claro
2018

VINÍCIUS MENDES

SOLO E BIOTURBAÇÃO COMO FERRAMENTAS DE AVALIAÇÃO DA
DEGRADAÇÃO EM PASTAGEM

Orientadora: Dra. Vânia Silvia Rosolen

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Instituto de Biociências da Universidade Estadual
Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Campus de Rio
Claro, para obtenção do grau de Ecólogo

Rio Claro
2018

M538s	<p>Mendes, Vinícius</p> <p>Solo e bioturbação como ferramentas de avaliação da degradação em pastagem / Vinícius Mendes. -- Rio Claro, 2018</p> <p>48 f. : tabs., fotos, mapas</p> <p>Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Ecologia) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências, Rio Claro</p> <p>Orientadora: Vânia Silvia Rosolen</p> <p>1. Erosão. 2. Fertilidade de Solo. 3. Assentamento Santa Helena, São Carlos/SP. I. Título.</p>
-------	--

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Biociências, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

AGRADECIMENTOS

Agradecer é difícil para um felizardo como eu, que teve a honra de encontrar vários pássaros ao longo dessa caminhada. Espero que entendam que tudo que for dito abaixo é reflexo de minha vivência somada ao canto das aves, frente ao mundo.

Acreditar na existência de uma energia maior que você, leitor, venha chamar de Deus, Orixá, Entidade, Espírito, Cosmo e mais, me faz querer continuar e é nela que me recarrego. A mim, surge como uma música, sensação, comida, vivência, amigos ou família mas sempre junto de Gaia. E a fim de materializá-la, para então agradecer, farei uso de pessoas e animal.

Começo lembrando de Ailton, André e Bruno por me ajudarem no começo dessa jornada unespiana, me ensinando e protegendo. Anita, menina que me mostrou o verdadeiro significado de comprometimento e cooperação para/com o próximo. Augusto, me libertando para o mundo. Muito obrigado, por tudo! Camila, me ensinou a dizer "não" para as coisas, quando de fato, é não. Também me mostrou a não ter vergonha em apenas ser quem sou. Carolina, observando-a aprendi o que é ser resiliente e também redespertou minha adoração pela culinária. Dhemerson, me fez repensar sobre pré conceitos e entender que, ninguém é melhor que ninguém até que se prove o contrário. Não posso esquecer de lhe agradecer pela ajuda estatística nesta presente pesquisa.

É incrível a mudança que um animal ocasiona em sua vida. Em meu pensar, o todo é uma resposta que emitimos ao próprio todo. Engov chegou despercebido, um cão de rua que começou a frequentar a vizinhança. Um cão de rua que depois de certo tempo, começou a ser alimentado e por estar muito sujo, resolvi dar-lhe um banho. Um cão que era de rua, chegou e ficou, ouve meus desabafos e me ensinou o que mais precisava, em tal momento: ser persistente. Também me mostrou que se alongar nunca será suficiente. Alongue-se!

Gratulo, também, Gabriel. Menino que me mostrou o quão forte e paciente somos, pois só assim conseguimos ajudar um ao outro e mais, me ensinou que as vezes é necessário aceitar que errou e seguir em frente. Geovana, presente nos primeiros anos, me acolhendo todas as tardes em sua casa, com boas prosas e alimentos. Guilherme, o tempo opera tudo. Cada ser tem o seu e devo respeitar isso! Júlia M., a verdadeira representação da palavra "reiniciar". Júlia O., por sempre extrair a melhor versão de mim. Karen, ainda em tempo presente, enfrenta e vence uma disputa diferente a cada dia. Marina, pequena grande Lua

ruiva, obrigado por me acompanhar nas loucas viagens de exaltação e autoconhecimento. Espero que isso nunca termine!

Milene, agradeço-a pelo simples fato de existir. Por ser luz onde passa e perceber meu pedido de socorro no momento que nem mesmo eu, sabia que estava gritando. Rafaela, bela flor, me ensinou a gostar de poesias e me mostrou que, por mais obscuro que alguém possa ser, sempre há um pontinho de luz a ser admirado. Rayane, me fez perceber que toda história tem dois lados e as vezes, ambas podem ser verdadeiras. Mas mais que isso, aprendi a ser sincero com as pessoas. Victor, me mostrou que é possível crescer e manter sua criança interior. Yuri, me fez compreender que amizade é aceitar opiniões contrárias.

À minha mãe Benê, por me ensinar tudo que foi dito acima e compreender, pacientemente, que certos pensares e ações eu só aprenderia conforme vivesse e ando pela vida. Registro aqui meu muito obrigado (!) por todos os sacrifícios que tem feito por mim, enfrentando uma batalha diária para que eu possa estar aqui, agora, redigindo esse texto. Espero um dia poder retribuir, ao menos, uma parte de tudo isso. Te amo! Meu pai José e minha irmã Leticia, obrigado por todo o apoio e incentivo. Família!

Vânia, por me acolher e acreditar em mim. Por me incentivar e guiar. Pelas conversas e orientação nesta presente pesquisa. Não poderia ter tido orientadora melhor. Mulher guerreira, única em meio a um mar de homens engravatados. Obrigado! Agradeço também a Fernanda por me ajudar no começo desse estudo.

Aos professores que nunca me negaram ajuda no passar desses anos: Marco Assis, Zezé, Maria Inês, Thiago, Massanori, Milton, Vânia, Tadeu, Galetti, Milene, Patrícia, Rosa Maria, Antonio, Francine, Marina etc; carrego comigo um pouco de seus ensinamentos! Pessoal do Assentamento PDS Santa Helena e do Sítio Agroflorestral, obrigado pelo acolhimento caloroso durante as visitas, com prosas e saberes.

Aos amigos que passaram por mim, deixaram um bem e depois voaram, obrigado. Sou grato, também, aos que ainda contribuem e a quem vem chegando para essa minha evolução profissional e, principalmente, pessoal.

RESUMO

Um solo degradado sofre perda total ou parcial da sua capacidade de sustentação, comprometendo o crescimento de plantas e outros organismos. Macro e microrganismos sendo dependentes diretos das condições físicas e químicas do solo podem ter suas comunidade drasticamente alteradas. Essa queda na comunidade pode resultar na perda de nutrientes. Ou seja, o processo de detrição feito por macrorganismos diminui e em consequência a mineralização, feito pelos microrganismos, também diminui, acarretando numa menor absorção de nutrientes pelas plantas. Sendo o solo composto por domínios funcionais, alguns organismos se enquadram nesses domínios como "engenheiros" modificando o meio e alterando a disponibilidade de recursos para outras espécies. As minhocas, por exemplo, constroem galerias através de seu movimento translocando os microrganismos, aumentando o espaço para escoamento da água etc. Já os cupins, quando presentes, constroem murundus que resultam em ilhas ecológicas que, crescendo gradualmente de tamanho, podem ser considerados pontos chave para o início de um processo de restauração. Um ambiente degradado deixa de abrigar essa fauna, tornando o solo pobre tanto em nutrientes quanto em biodiversidade. O presente estudo visa entender o grau de degradação do solo no assentamento PDS Santa Helena, localizado no município de São Carlos/SP, através de dados químicos e análise da bioturbação, propondo um meio de recuperação da biodiversidade perdida. Sendo assim, amostras de solo foram coletadas em cinco pontos e em cada ponto o solo foi coletado em duas profundidades (0-30cm e 30-60cm), posteriormente, as amostradas foram analisadas em laboratório; também foram feitas fotomicrografias para o estudo da bioturbação. Os pontos tratados apresentaram um solo quimicamente mais fértil em relação ao ponto controle devido a possível introdução de insumos nesses locais, porém o controle apresentou indícios de bioturbação, podendo ser um solo mais biodiverso em relação ao tratamento. Os dados obtidos concluem que está ocorrendo degradação do solo sob pastagem desencadeando uma queda na biodiversidade local, mesmo esses pontos tratados apresentando melhores índices químicos em relação ao controle. Essa ausência de macro e microfauna resulta na perda da estruturação natural do solo. A indicação de uma restauração agroflorestal pode trazer benefícios ao solo além de propiciar um maior desenvolvimento econômico e social aos agricultores locais.

Palavras chave: Erosão. Fertilidade de solo. Ecologia. Assentamento Santa Helena, São Carlos/SP.

LISTA DE FIGURAS

1 Mapa do assentamento PDS Santa Helena, São Carlos/SP.....	16
2 Perfil topográfico.....	17
3 Pontos de coleta.....	17
4 Exemplos de perfis de Neossolo Quartzarênico estudados em campo.....	21
5 Gráfico da PCA relativo aos pontos de coleta.....	25
6 Dendograma de similaridade dos perfis estudados.....	26
7 Regressão linear correlacionando as principais variáveis.....	33
8 Fotomicrografias dos solos estudados.....	35
9 Engenheiros do solo.....	38
10 Triângulo do vida.....	40

LISTA DE TABELAS

1 Frações granulométricas das amostras de solo coletadas no assentamento PDS Santa Helena, São Carlos/SP.....	20
2 Dados químicos e Teor de Umidade das amostras de solo coletadas no assentamento PDS Santa Helena, São Carlos/SP.....	23
3 Correlação das variáveis químicas e Teor de Umidade.....	28
4 Teor de Matéria Orgânica em porcentagem nos solos estudados.....	30
5 Interpretação de nível de acidez do solo.....	32

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 OBJETIVO.....	14
3 METODOLOGIA.....	15
3.1 Área de estudo.....	15
3.2 Atividades em campo.....	16
3.2.1 Reconhecimento de campo.....	16
3.2.2 Perfil topográfico e abertura das trincheiras para descrição e coleta de solo.....	17
3.2.3 Coleta das amostras de solo.....	18
3.3 Atividades de laboratório.....	18
3.4 Tratamento estatístico.....	19
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
4.1 Composição granulométrica e química do solo.....	20
4.2 Análise da bioturbação.....	35
4.3 Proposta de recuperação ambiental e diretriz social.....	40
5 CONCLUSÃO.....	44
REFERÊNCIAS.....	45

1 INTRODUÇÃO

Em ecologia a bioturbação é reconhecida como um “ecossistema de engenharia” realizado por organismos que modificam substancialmente a estrutura física do seu habitat e, direta ou indiretamente, mudam a disponibilidade de recursos (componentes do solo) para outras espécies (Bots; Benites, 2005; Meysman et al., 2006). Essa ação corresponde a processos de deslocamento físico do solo por meso e macrofauna, influenciando o funcionamento dos ecossistemas através de suas ações (Wilkinson et al., 2009).

O solo é o substrato primordial dos ecossistemas naturais. Sua preservação ou recuperação é indispensável para estabilidade do ecossistema (Kageyama et al., 2008). Em ecossistemas terrestres, a degradação significa a destruição da cobertura vegetal e da fauna, alteração na qualidade e vazão do sistema hídrico e perda da camada fértil do solo. Neste cenário, os “*inputs*” naturais não são mais capazes de repor as perdas de matéria orgânica do solo, nutrientes e biomassa, estoques de propágulos etc (Minter/IBAMA, 1990).

Entende-se por solo degradado aquele que sofreu perda total ou parcial de sua capacidade de sustentação, comprometendo o crescimento de plantas e outros organismos (Kageyama et al., 2008). Gonçalves et al. (2000) revelam que no Brasil, essa ação está associada aos métodos de cultivo e ao desmatamento.

Considerando a pecuária intensiva como uso do solo sem o manejo adequado, a conversão da vegetação original pode resultar na degradação dos atributos físicos do solo, modificando sua taxa de infiltração e do escoamento superficial, comprometendo o equilíbrio do sistema. A redução de infiltração da água ocorre devido à diminuição da porosidade do solo, formando um selamento superficial, que por sua vez, afeta a intensidade do impacto da chuva no solo, ou seja, salpico das partículas presentes conforme o gotejamento (Panachuki, 2003) e fluxo de massa. Essa degradação por deslocamento (hídrico ou eólico) causa a remoção da camada mais fértil do solo, deformando sua superfície com acentuação ou formação de irregularidades, como sulcos da erosão (Dedecek, 1992). O impacto das gotas associado ao escoamento superficial constituem mecanismos responsáveis pela erosão entre esses sulcos. Gerando um processo erosivo de três fases sequenciais, intituladas (1) desprendimento – das partículas do solo, (2) arraste – transporte dessas partículas e (3) deposição das partículas – quando ocorre a diminuição da velocidade do escoamento. O item (2) transporte, é uma junção de partículas do solo em suspensão, nutrientes, matéria orgânica, sementes e se for o caso, agroquímicos (Carvalho et al., 2002; Griebeler et al., 2001).

Em relação à degradação química do solo causada pela erosão destacam-se a queda da qualidade e quantidade de matéria orgânica e dos teores de macro e micronutrientes (Kageyama et al., 2008). Bertol et al. (2001) atribuem a degradação química do solo como uma consequência da redução no volume de macroporos, aumento no volume de microporos e densidade do solo.

Dependentes diretos dessas condições físicas e químicas, os macro e microrganismos podem ter suas comunidades drasticamente alteradas em curtos períodos. Em condições desfavoráveis, a diversidade e a riqueza desses organismos são rapidamente afetadas, reduzindo-se (Kageyama et al., 2008), indo na sequência do efeito “*bottom-up*” atingirá a biodiversidade de flora e fauna do local.

No Brasil existem exemplos de solos bioturbados por gerações sucessivas de térmitas (*murundus*) que resultam em ilhas ecológicas que crescem gradualmente em tamanho e, conseqüentemente, em termos de complexidade, diversidade de espécies, biomassa e energia total devido à sobreposição de espécies que ocupam o local ao longo do tempo (Oliveira Filho, 1988).

Essas ilhas podem ser a entrada para a restauração de todo um sistema degradado por ter como finalidade aceleração do processo mencionado. Conhecendo esses núcleos já pré-estabilizados (chamados de ilhas), têm-se os locais mais férteis e produtivos para o estabelecimento de ilhas vegetais com alta diversidade, atribuindo uma gama maior de fauna. A produção de ilhas sugere a formação de pequenos núcleos onde são colocadas plantas de formas de vida distintas (ervas, arbustos, lianas e árvores), com precocidade para floração e frutificação a fim de atrair polinizadores, predadores, dispersores e decompositores. Geram assim, de forma rápida, condição de adaptação e reprodução de outros organismos nucleadores. Entende-se que essas ilhas, ao longo do tempo, começam a se expandir através da atuação dos elos móveis, como os morcegos. A tendência então, é que essas ilhas se conectem começando a estabilizar uma mata (Reis et al., 2003; Lundberg; Moberg, 2003; Kageyama et al., 2008).

A funcionalidade do solo, portanto, é compreendida a partir da diversidade microbiana, cuja ecologia depende do manejo e uso sustentável da terra. Mesmo reconhecendo que a biodiversidade está diretamente relacionada à estabilidade do ecossistema ainda são insuficientemente explorados os papéis dos processos bioquímicos que eles medeiam no solo

(Kennedy, 1999; Moreira et al., 2008). Para então classificá-los em grupos funcionais de acordo com suas atuações nos processos biológicos (Torsvik; Ovreas, 2002).

Torsvik e Ovreas (2002) afirmam que o metabolismo microbiano tende a ser baixo quando não há vegetação neste solo e à medida que a vegetação volta a se estabelecer, a diversidade funcional microbiana cresce. Podendo se tornar estável, quando a sucessão vegetal chega num estado estável (clímax).

Entende-se, então, que o solo é composto por domínios funcionais. Entre eles a rizosfera (volume de solo que sofre influência das raízes), termitosfera (ambiente influenciado por cupins), drilosfera (solo sofre influência de minhocas) e rachadura (condições edafoclimáticas). Dentro desses domínios há uma série de atividade que envolve, como mencionado anteriormente, macro e microrganismos, podendo ser particulares ou não de cada domínio e estruturação do solo (Lavelle, 2000).

As minhocas, sendo as mais conhecidas no processo de bioturbação, por exemplo, constroem tocas ou galerias através de seu movimento na matriz do solo. O tipo e o tamanho das galerias dependem da categoria ecológica. Minhocas anecicas criam galerias semi-permanentes subverticais, enquanto que as minhocas endógenas cavam tocas horizontais. Estas galerias podem ser preenchidas com moldes, que podem ser divididos em agregados menores por outras minhocas menores ou organismos do solo. As galerias são cilíndricas e sua área de parede revestida com muco cutâneo cada vez que o verme passa (Bots; Benites, 2005).

Os microrganismos do solo (bactérias) são marcadamente concentrados na superfície das paredes da galeria e dentro dos 2 mm adjacentes do solo circundante. Este microambiente compreende menos de 3 por cento do volume total do solo, mas contém 5-25% da microflora do solo e é onde predominam alguns grupos funcionais de bactérias. Começando assim uma dinâmica entre as comunidades ali presentes (Lavelle; Spain, 2001).

O ato de escavar, portanto, é tido como uma importante interação no subsolo. Em efeitos diretos, nematóides controlam as populações de bactérias e fungos, além de dispersar organismos decompositores pelo solo. As minhocas influenciam na competição da planta e susceptibilidade aos herbívoros. Os collembolas perturbam as redes miceliais micorrízicas em pastagens, influenciando no fluxo de carbono através da rizosfera da planta. Os pseudo-scorpions controlam a população de collembolas. Formigas em atividade de forrageamento

influenciam o ambiente circundante do solo dentro e além do montículo, com efeitos de curto e longo prazo sobre a dinâmica e estrutura do solo e, banco de sementes. (Meysman et al., 2006; Bots; Benits, 2005).

As interações entre a fauna do solo e a vegetação são, portanto, numerosas e complexas, necessitando de uma visão mais mecanicista sobre os efeitos da bioturbação nos microorganismos do solo, invertebrados do solo, dinâmica de nutrientes e sistemas radiculares (Meysman et al., 2006).

Lavelle (2000) enfatiza o papel dos macrorganismos relacionando-os às suas funções, principalmente detritívoras, tornando os microrganismos responsáveis pela mineralização dos nutrientes gerados e disponibilizados no solo novamente. Por fim, a redução dessa biodiversidade é um importante indicador de perda de resiliência, tendo a consequência de degradação na qualidade do solo.

Nesses casos, a intervenção se faz necessária, a fim de estabilizar e reverter esses processos, através da recuperação do ecossistema afetado. As ações devem se basear em práticas de uso e manejo, evitando a pulverização, compactação e, de novo, ação erosiva das chuvas, restaurando funções como drenagem, retenção de água e nutrientes (Kageyama et al., 2008).

2 OBJETIVO

Este estudo avaliou a perda da qualidade física e biológica do solo degradado sob pastagem. A área de estudo reflete uma situação de degradação do solo e ambiental muito comum no Brasil ligado à prática de pastagens extensivas em solos arenosos, sem a aplicação de qualquer técnica de manejo. Esta pesquisa observou o grau de degradação ecossistêmica por meio da comparação de áreas com condições ambientais distintas levando a uma resposta para métodos de restauração e melhoria da funcionalidade ecológica do solo.

3 METODOLOGIA

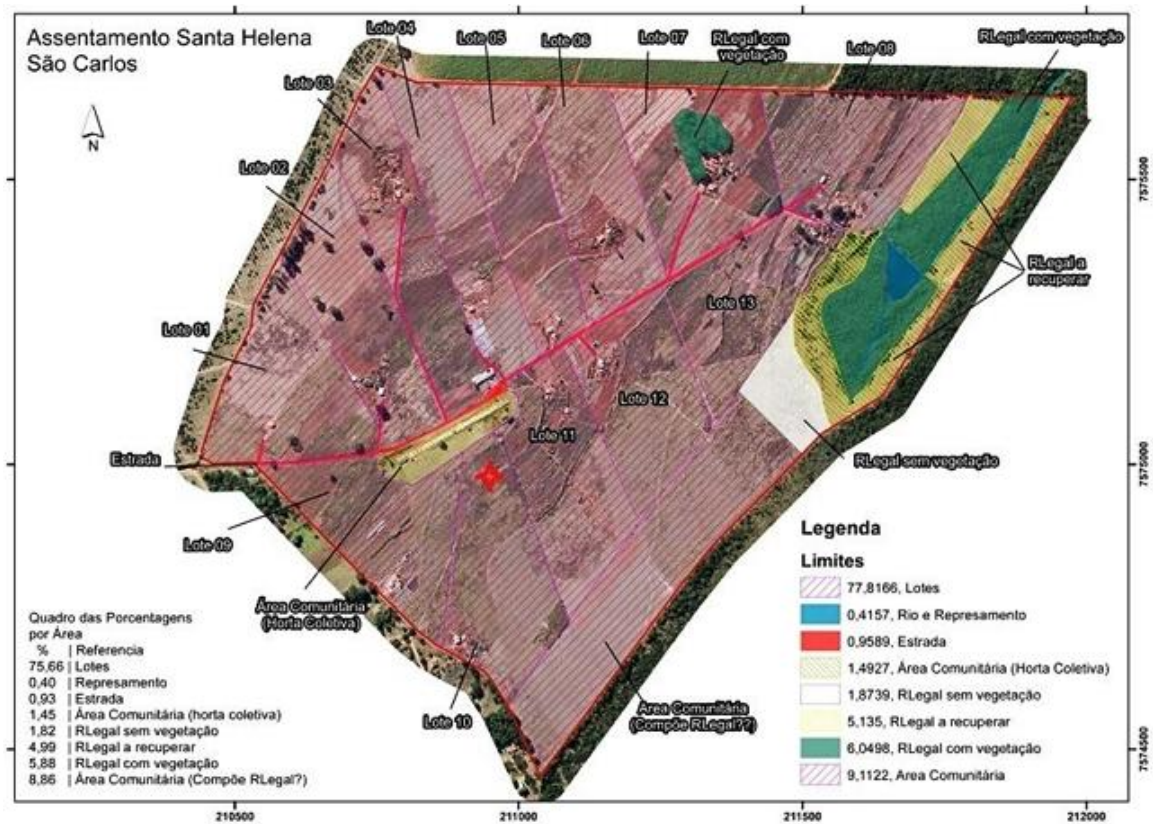
3.1 Área de estudo

O estudo foi realizado em uma área do Projeto de Desenvolvimento Rural (PDS) Santa Helena localizado no município de São Carlos/SP, há 12 km da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), onde a vegetação original foi completamente retirada e a pastagem extensiva sem manejo ocupa a área.

Localiza-se entre coordenadas geográficas de 21°08'44,6140" S e 48°43'29,2627" W, com altitude média de 540m. Essa região apresenta relevo colinoso (baixa declividade, até 15% em amplitudes locais inferiores a 100m) e de acordo com a classificação brasileira o solo corresponde ao Neossolo Quartzarênico (Arenoso). O clima é tropical de altitude com inverno seco, temperatura média mínima de 15,3° C e máxima de 27,0° C com precipitação média anual de 1512 mm (Silva *et al.*, 2016; EMBRAPA, 2006).

O PDS Santa Helena contempla quatorze famílias assentadas pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA). Cada família possui uma área produtiva de 5,4 ha e o assentamento rural possuiu uma área total de 102,5 ha, incluindo as áreas comunitárias, de reserva legal (6,58 ha) e área de preservação permanente (4,28 ha) (Silva *et al.*, 2016), ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - Mapa do assentamento PDS Santa Helena, São Carlos/SP



Fonte: Assis et al. (2016, p. 3).

3.2 Atividades em campo

3.2.1 Reconhecimento de campo

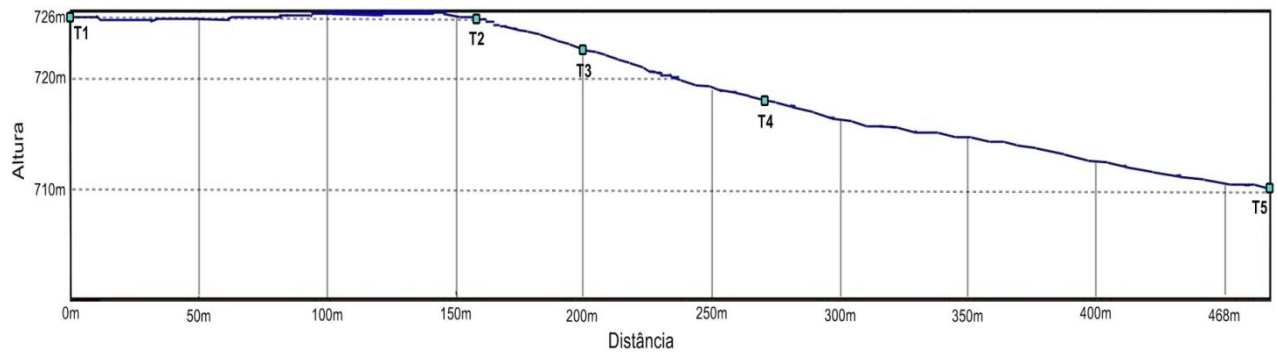
No dia 15 de setembro de 2016 ocorreu a primeira visita de campo no assentamento PDS Santa Helena com o propósito de conhecer e conversar com as famílias residentes nos lotes. Esta etapa inicial de trabalho resultou na descoberta de problemas ligados á degradação do solo.

Numa segunda visita, realizada no dia 16 de outubro de 2016, foram selecionados os locais para o estudo detalhado do solo. Foi escolhida uma vertente e localizado cinco pontos representativos para abertura de trincheiras, descrição dos solos e coleta de amostras para análise em laboratório.

3.2.2 Perfil topográfico e abertura das trincheiras para descrição e coleta de amostras de solo

O perfil topográfico (Figura 2) foi feito para conhecer a forma da vertente e posterior mapeamento da cobertura pedológica.

Figura 2 - Perfil topográfico



Fonte: O autor.

A vertente escolhida está situada nos lotes 7 e 13. Foram abertas cinco trincheiras (T1, T2, T3, T4 e T5) posicionadas em todos os segmentos da encosta (Figura 3). Nestas, os solos foram descritos e amostras coletadas.

Figura 3 - Pontos de coleta



Fonte: Cardoso (2017).

O ponto controle (T1) está localizado no alto da vertente e representa o solo de referência, coberto pela mata nativa preservada. Este pequeno fragmento de vegetação nativa corresponde a Reserva Legal da propriedade. De acordo com relatos, esta mata nunca foi queimada e o solo usado para qualquer outro uso como aqueles localizados nas outras posições da vertente. Os perfis T2, T3, T4 e T5 hoje estão usados para pastagem extensiva, não tecnificada. Antes da pastagem, o solo foi, por muitas décadas usado para o plantio de cana-de-açúcar. Os pontos na pastagem serão descritos como solos tratados e correspondem aos pontos T2, T3, T4 e T5.

3.2.3 *Coleta das amostras de solo*

As amostras para estudo da bioturbação foram coletadas nas profundidades entre 0-30 e 30-60 cm. Nestas profundidades estão os horizontes organo-minerais nos quais se concentram a maior atividade orgânica. Também, considerando que o processo de degradação pode levar à perda de solo, os maiores impactos ocorrerão na superfície. Foram coletadas amostras indeformadas, com estrutura preservada, para avaliação do desenvolvimento estrutural e bioturbação do solo em microscopia óptica.

3.3 *Atividades de laboratório*

A avaliação das propriedades químicas do solo foi feita por meio de análises do complexo sortivo usando a fração terra fina seca ao ar (Laboratório de Análise de Solos, ESALQ, USP). Foram avaliados os parâmetros pH, P, K, Ca, Mg, Al, MO, SB, CTC, V e m. A quantificação das frações granulométricas do solo foi feita pelo método do densímetro (Laboratório de Geotecnia, DGA, UNESP).

As observações sobre a bioturbação do solo foram feitas em microscópio óptico. Para a confecção das lâminas, as amostras indeformadas coletadas no campo foram impregnadas com resina araldite e confeccionadas seções delgadas de 3 x 5 cm. A descrição foi feita em microscópio petrográfico Zeiss Axioskop 40 e câmera fotográfica Canon de 5.0 megapixels (Departamento de Petrologia e Metalogenia/UNESP). Lâminas descritas de acordo com Bullock et al. (1985).

3.4 *Tratamento estatístico*

Os dados coletados em campo compõem uma rede de possíveis interações. Para discutí-los de forma a reduzir suas dimensões descritivas e visualizar melhor as relações entre objetos e medidas uma Análise de Componentes Principais (PCA) foi feita, através do software JMP Statistical Discovery - From SAS, permitindo uma afirmação realmente segura sobre a mudança ocasionada no ambiente tratado vs. controle.

Segundo Gotelli (2011) a PCA é uma maneira simples de ordenar os dados, em que, por meio de muitas variáveis cria-se algumas poucas, estas chamadas de variáveis-chave (onde cada uma é composta de muitas das variáveis originais), caracterizando o máximo possível a variação múltipla dos dados. Assim, recorrendo a essas novas variáveis, uma regressão múltipla pode ser feita, mostrando o quão significante são suas correlações.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Composição granulométrica e química dos solos

Os dados físicos e químicos dos perfis estudados estão nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1 - Frações granulométricas das amostras de solo coletadas no assentamento PDS Sta. Helena, São Carlos/SP

PERFIL	PROFUNDIDADE (cm)	DETERMINAÇÕES			
		AT (g Kg ⁻¹)	Silte (g Kg ⁻¹)	Argila c/ disposição (g Kg ⁻¹)	Classe de textura
T1	00 a 30	798	25	176	md-ar
	30 a 60	767	20	213	md-ar
T2	00 a 30	801	25	173	md-ar
	30 a 60	812	34	154	md-ar
T3	00 a 30	794	29	176	md-ar
	30 a 60	779	20	201	md-ar
T4	00 a 30	855	23	123	ar
	30 a 60	827	22	151	md-ar
T5	00 a 30	906	19	75	ar
	30 a 60	859	16	124	ar

Fonte: O autor. Legenda: T = trincheira; AT = areia total; md-ar = médio arenoso; ar = arenoso.

A granulometria, tanto do ponto controle (T1) quanto dos pontos tratados (T2, T3, T4 e T5), reflete a uma composição de solo muito arenoso, corroborando com a classificação. Em todos os perfis, a classe textural corresponde a média ou média arenosa. Para ser enquadrado na classe arenosa a quantidade de areia deve compreender mais de 150g por Kg de solo, verificado em todas as amostras (Raij, 2011).

Neossolos Quartzarênicos são solos sem contato lítico (material endurecido subjacente ao solo) dentro de 50cm de profundidade, apresentando textura arenosa. São essencialmente quartzosos, tendo frações de areia grossa e fina 95% ou mais, sendo considerados Órticos quando não apresentam lençol freático elevado em grande parte do ano (EMBRAPA, 2006), exemplificado na Figura 4.

Figura 4 - Exemplo de perfis de Neossolo Quartzarênico estudados em campo



Fonte: Cardoso (2017). Legenda: Foto A refere-se ao ponto controle (T1) e foto B ao ponto tratado; a diferença na coloração se dá pela maior quantidade de matéria orgânica no ponto controle.

Mesmo não havendo contato lítico, permitindo o livre crescimento do sistema radicular, o solo estudado apresenta sérias limitações de uso agrícola devido a sua textura excessivamente arenosa, baixa capacidade de retenção de água e elevada erodibilidade.

Em relação a atributos químicos, Neossolos Quartzarênicos apresentam baixos teores de matéria orgânica e capacidade de troca de cátions (CTC), mesmo no horizonte A, limitando a reserva de nutrientes para plantas. Por ter essa adsorção de nutrientes reduzida, o que é natural desse tipo de solo, ocorre elevada perda por lixiviação (Freitas, 2013). Nesses casos, Frazão et al. (2008) e Carneiro et al. (2009) induzem a melhoria desse solo através da adição de insumos, como calcário e adubos solúveis.

Anterior a existência do assentamento PDS Santa Helena a área era denominada Fazenda Santa Helena e arrendada para o plantio de cana de açúcar sob responsabilidade da Usina Ipiranga, do grupo Copersucar, localizada em Descalvado/SP, além da exploração de avicultura de corte (Satavelle et al., 2016). A cana de açúcar apresenta um sistema radicular

diferente de outras culturas e desde que não haja impedimentos físicos ou químicos, atinge camadas profundas do solo (EMBRAPA, 2017).

Por serem solos naturalmente pobres e para facilitar o crescimento dessas raízes em profundidade, contribuindo para o aumento da produtividade da cultura, é provável que insumos foram colocados nesse solo, fazendo com que o volume de solo explorado pelas raízes fosse maior. Essa forma de manejo pode ajudar a explicar o fato dos tratamentos (T2, T3, T4 e T5) apresentarem valores de fertilidade química superiores ao determinado na área controle (T1), conforme mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 - Dados químicos e Teor de Umidade das amostras de solo coletadas no assentamento PDS Sta. Helena, São Carlos/SP

PERFIL	PROFUNDIDADE (cm)	DETERMINAÇÕES													
		pH (H ₂ O)	pH (CaCl ₂)	P Mehlich 1 (mg.dm ⁻³)	K (mg.dm ⁻³)	Ca KCl 1mol.L ⁻¹ (cmolc.dm ⁻³)	MgKCl 1mol.L ⁻¹ (cmolc.dm ⁻³)	Al KCl 1mol.L ⁻¹ (cmolc.dm ⁻¹)	H+Al Acetato de Cálcio (cmolc.dm ⁻³)	M.O. Colorimétrica (g.dm ⁻³)	SB (cmolc.dm ⁻³)	CTC (cmolc.dm ⁻³)	V (%)	m (%)	T.U
T1	00 a 30	4,8	4,2	1,7	16	0	0	0,5	2,9	6,7	0	2,9	0	100	1,16
	30 a 60	4,8	4,3	0,9	7	0	0	0,4	3,6	3,5	0	3,6	0	100	0,88
T2	00 a 30	5,6	5	1,5	22	0,8	0,6	0,1	2,4	8	1,5	3,9	38,5	6,25	0,95
	30 a 60	5,9	5,1	0,8	6	0,5	0,3	0,1	2	1,3	0,8	2,8	28,6	11,11	1,13
T3	00 a 30	6,2	5,2	1	32	0,5	0,8	0,1	2,3	4,2	1,4	3,7	37,8	6,67	1,80
	30 a 60	6,3	5	1	15,6	0,2	0,3	0,1	2,6	2,6	0,9	3,5	25,7	10	1,83
T4	00 a 30	6,2	5,4	3,5	17	0,9	0,9	0,1	2,1	10,3	1,8	3,9	46,2	5,26	0,93
	30 a 60	6,1	5,3	0,9	7	0,7	0,6	0	3	2,9	1,3	4,3	30,2	0	1,81
T5	00 a 30	6,2	5	7,9	12	0,3	0,2	0,1	1,5	0,3	0,5	2	25	16,67	0,19
	30 a 60	5,8	4,8	1,6	6	0,6	0,4	0,1	2,5	3,5	1	3,5	28,6	9,09	5,10

Fonte: O autor. Legenda: T = trincheira.

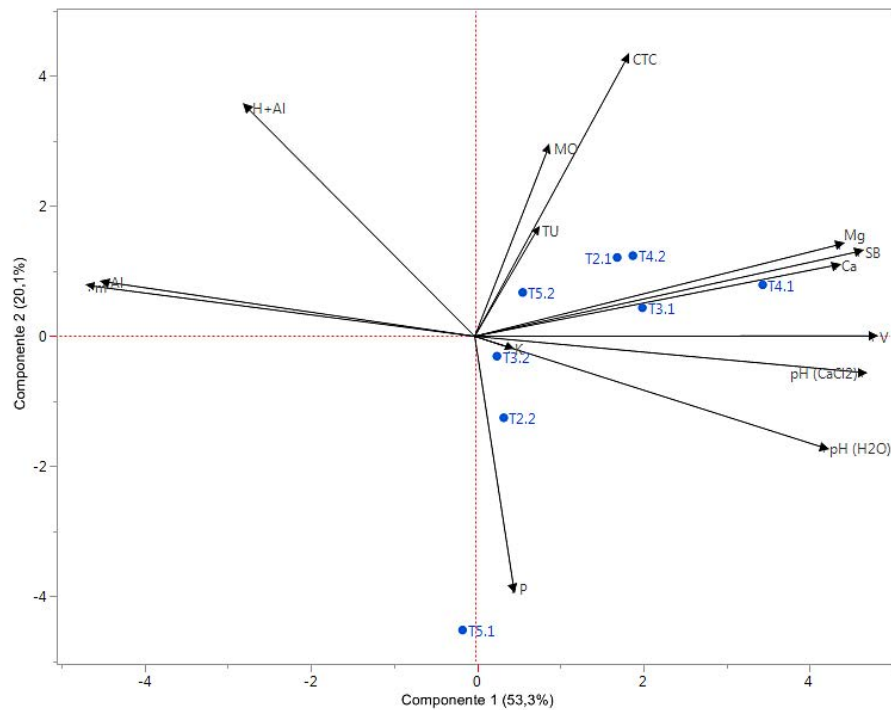
Os dados de pH variam entre 4,8 e aproximadamente 6, indicam um solo pouco ácido para todos os pontos analisados. O que se observa é que a maior acidez (4,8) foi determinada no ponto controle (T1) enquanto que nos pontos tratados (T2, T3, T4 e T5) houve elevação do pH. Os teores mais elevados de Fósforo (P), de 3,5 e 7,9 mg/dm⁻³, foram determinados na superfície de T4 e T5 enquanto que os teores mais elevados de Potássio (K), de 22 e 32 mg dm⁻³, foram determinados na superfície de T2 e T3.

Os teores Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) são nulos em T1 porém aumentam ligeiramente em todos os perfis da pastagem. Considerando a textura arenosa dos solos estudados e a distribuição dos elementos químicos do complexo sortivo, é possível que o comportamento apresentado esteja relacionado com o manejo prévio e atual do solo. Esperava-se que o solo sob a mata apresentasse indicadores de qualidade química superiores ao solo da pastagem, o que não ocorreu. Possivelmente a adição de fertilizantes e calagem para controle da acidez alteraram as propriedades químicas naturais do solo.

Como esperado, o teor de Matéria Orgânica (MO) é mais elevado no perfil do solo em T1 quando comparado aos tratamentos, exceto na superfície do solo no ponto T4. A presença da vegetação preservada explica o enriquecimento da matéria orgânica em T1 e a incorporação de restos vegetais explica o valor no ponto T4. A Capacidade de Troca de Cátions (CTC) não está diretamente relacionada com a MO e sua distribuição está diretamente vinculada ao manejo que incorporou solo agrícola e de pastagem. O mesmo pode explicar a V% e a SB. O Alumínio associado ao Hidrogênio (Al+H) também se mostra regular em todas as amostras. O teor do Alumínio trocável é ligeiramente superior em T1 quando comparado aos outros pontos, podendo explicar a alta acidez no ponto controle. O fato de ambos valores de Al e Al+H serem altos em T1, pode explicar a Saturação por Alumínio (m) ser de 100% e menor nos outros pontos. Por fim, o Teor de Umidade (TU) é baixo em todos os pontos estudados, principalmente pelo caráter arenoso do solo.

A partir desses dados, gerou-se uma Análise de Componentes Principais (PCA) visando um melhor entendimento sobre as correlações existentes ou não no solo estudado (Figura 5).

Figura 5 - Gráfico da PCA relativo aos pontos de coleta



Fonte: O autor.

A PCA mostra que as relações/reações ocorrem de forma simultânea, interagindo entre si, significando que nenhuma espécie química, ou par iônico, pode ser isolada das demais. Ou seja, caso haja a retirada ou isolamento de alguma espécie (variável) do mesmo espaço amostral (gráfico) a organização destas, mudará, levando a resultados diferentes. Sendo assim, num contexto futuro se alguma (s) espécie (s) da solução migrar, por lixiviação por exemplo, as reações irão se reajustar e os pontos (T) estarão em outros locais do gráfico (Gotelli, 2011; Raij, 2011). Interessante é dizer, também, que esses reajustes tendem a ser frequentes, enquanto houver resiliência na área, até chegarem num ponto estável (Torsvik; Ovreas, 2002).

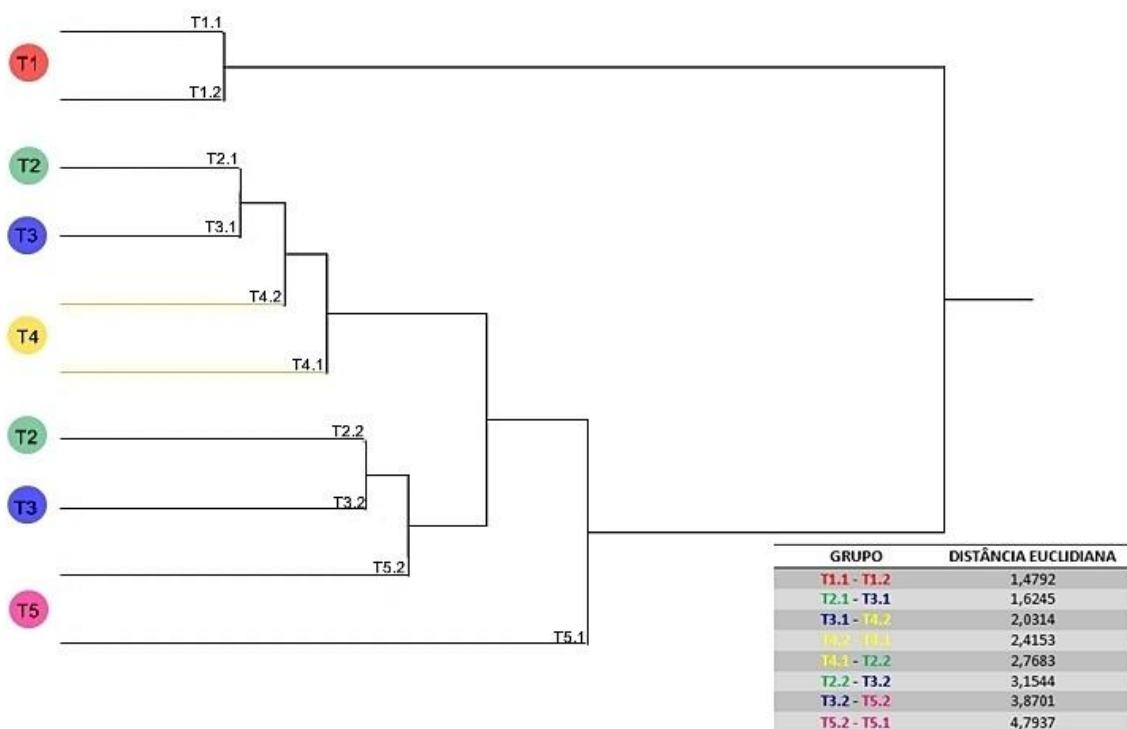
Resumidamente, a PCA indica quais variáveis exercem mais influência aos pontos de coleta, conforme o tamanho e direção das setas no gráfico e suas relações positivas ou negativas entre si; ou seja, setas convergentes têm uma relação (influência) positiva e setas divergentes constituem uma relação negativa. Esse modelo de análise multivariada busca uma simplificação em duas dimensões, estas, nomeadas componentes. Dois componentes, por meio de um conjunto de regressões, obtêm valores tidos como significativos ou não (Gotelli, 2011), conforme princípio da parcimônia. Neste caso, os dados apresentados conferem uma

expressão significativa pois a soma dos componentes 1 (53,3%) e 2 (20,1%) resultam num total de 73,4% de confiabilidade.

As coletas foram feitas em duas profundidades, para melhor entendimento dos processos que ocorrem no solo, em que T1.1, T2.1, T3.1, T4.1 e T5.1 referem-se a profundidades de 0 a 30cm e, T1.2, T2.2, T3.2, T4.2 e T5.2 correspondem a profundidades de 30 a 60cm. Os pontos de coleta (Figura 5) se distribuem em meio as variáveis da seguinte forma: T1 não é plotado no gráfico; T2.1, T4.2 e T5.2 sofrem influência, de maneira mais significativa, de MO, CTC, TU, Mg, SB e Ca; T3.1 e T4.1 são interferidos por Mg, SB, Ca, V e pH (CaCl₂); já T3.2 está relacionado ao K, pH (H₂O) e pH (CaCl₂); T2.2 é influenciado por pH (H₂O) e P; e por ultimo, o ponto T5.1 se relaciona, significativamente, com P.

O fato do ponto controle não ser plotado no gráfico mostra o quão diferente está dos outros pontos e, a fim de confirmar essa separação de grupos, gerou-se um Dendograma (Figura 6).

Figura 6 - Dendograma de similaridade dos perfis estudados



Fonte: O autor.

O Dendrograma indica o quão similar um ponto é do outro, conforme a relação entre as variáveis analisadas. O mesmo se dividiu em 2 grandes grupos, ao qual T1 é isolado dos

outros. Assim, o fato de T1 ter valores únicos, o diferenciando dos demais, faz com que o ponto esteja num espaço amostral de maior amplitude em relação aos pontos tratados, acabando por não se mostrar no gráfico da PCA. De certa forma isto já era esperado visto que o ponto controle (área de mata preservada) fosse mesmo diferente dos tratamentos (área degradada).

Os tratamentos, dessa forma, se agrupam em duas subunidades de um grupo maior, conforme a correlação, positiva e negativa, de suas variáveis e entre si (Tabela 3).

Tabela 3 - Correlação das variáveis químicas e Teor de Umidade

VARIÁVEIS	pH (H ₂ O)	pH (CaCl ₂)	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	M.O	SB	CTC	V	m	T.U
pH (H ₂ O)	1	0,9	0,2	0,3	0,5	0,6	-0,9	0,6	-0,1	0,7	0,06	0,8	-0,9	0,09
pH (CaCl ₂)	0,9	1	0,1	0,1	0,8	0,8	-0,9	-0,5	0,04	0,8	0,2	0,9	-0,9	-0,01
P	0,2	0,1	1	-0,1	0,008	-0,06	-0,1	-0,6	-0,1	-0,07	-0,6	0,1	-0,1	0,3
K	0,3	0,1	-0,1	1	-0,2	-0,02	-0,1	0,02	-0,1	0,06	0,07	0,06	-0,1	0,02
Ca	0,5	0,8	0,008	-0,2	1	0,8	-0,7	-0,4	0,4	0,9	0,4	0,9	-0,7	0,1
Mg	0,6	0,8	-0,06	-0,02	0,8	1	-0,6	-0,3	0,4	0,9	0,5	0,9	-0,7	0,1
Al	-0,9	-0,9	-0,1	-0,1	-0,7	-0,6	1	0,5	0,1	-0,7	-0,2	-0,8	0,9	-0,2
H+Al	-0,6	-0,5	-0,6	0,02	-0,4	-0,3	0,5	1	0,1	-0,3	0,5	-0,6	0,6	0,1
M.O	-0,1	0,04	-0,1	-0,1	0,4	0,4	0,1	0,1	1	0,4	0,5	0,2	0,07	-0,08
SB	0,7	0,8	-0,07	0,06	0,9	0,9	-0,7	-0,3	0,4	1	0,5	0,9	-0,8	0,1
CTC	0,06	0,2	-0,6	0,07	0,4	0,5	-0,2	0,5	0,5	0,5	1	0,3	-0,2	0,2
V	0,8	0,9	0,1	0,06	0,9	0,9	-0,8	-0,6	0,2	0,9	0,3	1	-0,9	0,1
m	-0,9	-0,9	-0,1	-0,1	-0,8	-0,7	0,9	0,6	0,07	-0,8	-0,2	-0,9	1	-0,2
T.U	0,09	-0,01	-0,3	0,02	0,2	0,1	-0,2	0,1	-0,08	0,1	0,2	0,1	-0,2	1

Fonte: O Autor. Legenda: ● Forte ● Média ● Forte ● Média ● Baixa

Na Tabela 3, como dito anteriormente, é mostrada uma correlação positiva ou negativa entre as variáveis estudadas. Em resumo, células numéricas cuja cor é azul apresentam relações positivas, cor vermelha corresponde a relações negativas e células de cor cinza demonstram uma relação insignificante (baixa).

As variáveis foram discutidas comparando-se as variáveis em todos os pontos e não através de pontos isolados, focando as quais exercem maior influência.

A CTC corresponde às somas das cargas negativas nas partículas de solo (fração de argila e matéria orgânica) que retém os cátions, tendo como os principais o Ca, Mg, K e Al. Sua importância vai além da retenção de cátions referindo-se também a água e atuando na estruturação e consistência do solo. Seu valor reflete a fertilidade e disponibilidade de nutrientes para as plantas, sendo um critério que varia conforme o uso do solo, natural ou antrópico (Souza et al., 2009; Raij, 2011).

Na Tabela 3 os valores apresentados de CTC + Ca e CTC + K são insignificantes. Quando Ca e K se tornam insuficientes há indicação de uma deficiência mineral no local. A relação CTC + Mg é tida como média (valor está entre 5-8 mmol/dm³). CTC + P apresenta valor negativo considerável justificando os baixos valores de Ca, K e Mg quando relacionados a CTC, vez que este nutriente é usado como insumo para incrementar o solo a fim de aumentar o sistema radicular do cultivo, motivo já explicado quando falamos sobre Neossolos Quartzarênicos, desestruturando os teores de Ca, Mg e K (Raij, 2011; EMBRAPA, 2017), contribuindo com a hipótese da entrada antrópica de nutrientes no local estudado quando as terras do assentamento PDS Sta. Helena eram utilizadas para cultura canavieira.

O P em ambiente natural provém de material de origem (rocha) intemperizado, ou seja, o aporte e a ciclagem deste nutriente fica limitado a esse lento processo geológico, sendo introduzido ao ambiente de maneira antrópica e quando estes íons estão disponíveis, são absorvidos pelas raízes e incorporados na biomassa da planta que conforme é consumida leva o nutriente a seguir uma das três rotas relatadas: (1) pragas herbívoras, (2) animais de pastoreio ou (3) seres humanos. Após passar pelas rotas (1) e (2) o mesmo volta ao solo quando estes animais excretam no ambiente, mas se perde essencialmente na rota (3) pois excrementos humanos tendem a se sedimentar em oceanos (Gleissman, 2005).

Portanto, pode-se concluir que a CTC no ambiente estudado é baixa. Outra correlação baixa na junção de todas as variáveis é a de TU, em que, todas suas relações são insignificantes; algo já esperado devido ao solo local ser extremamente arenoso.

As partículas de argila e húmus, separadamente ou em agregados, formam estruturas lamelares conhecidas como micelas, tendo superfícies carregadas negativamente retendo no solo cargas positivas; a ligação desses íons no solo consiste na CTC. Uma CTC baixa mostra que a quantidade de ligações é insuficiente, apontando para um aporte negativo de matéria orgânica, esta por sua vez, afeta a taxa de deposição de argila no solo (Gleissman, 2005; Raij, 2011).

O entendimento sobre a argila é interessante quando se observa a relação da MO com outras variáveis da Tabela 3. Ao analisar, percebe-se que a MO não tem uma correlação significativa com nenhuma variável, exceto com a CTC a qual mantém uma relação média-baixa (0,5005). Ao voltarmos na Tabela 2, então, vê-se que, realmente, a quantidade de MO disponível no solo é suficientemente baixa em todos os pontos.

De acordo com Gleissman (2005) a MO pode alcançar de 15 a 20% em horizonte A, nos ecossistemas naturais, mas ressalta que na maioria dos solos a média é de 1 a 5%. Nos pontos de coleta, convertendo g.dm³ em porcentagem (%), observamos então valores muito baixos de MO (Tabela 4).

Tabela 4 - Teor de Matéria Orgânica em porcentagem nos solos estudados

PERFIL	PROFUNDIDADE (cm)	MO (%)
T1	00 a 30	0,67
	30 a 60	0,35
T2	00 a 30	0,8
	30 a 60	0,13
T3	00 a 30	0,42
	30 a 60	0,26
T4	00 a 30	1,03
	30 a 60	0,29
T5	00 a 30	0,03
	30 a 60	0,35

Fonte: O autor.

A matéria orgânica do solo é formada de componentes distintos e heterogêneos. Seu material vivo inclui raízes, microrganismos e pedofauna; seu material não vivo, tendo maior proporção, inclui a camada decomposta da superfície, raízes mortas, metabólicos microbianos e substâncias húmicas. Parte dessa matéria acaba sofrendo mineralização, ou seja, libera nutrientes minerais que podem ser absorvidos pelas raízes das plantas. Conforme o tempo e uso do solo, pode ser alcançada uma firmeza entre humificação e mineralização. Em resumo, além de fornecer nutrientes às plantas, ela constrói, promove, protege e mantém o ecossistema do solo (Gleissman, 2005).

Observando novamente a Tabela 2, se atentando para as variáveis Ca, Al e m, sobrepondo-a com a Tabela 3, obteve-se um dado extremamente interessante sobre a acidez do solo estudado. Raij (2011) interpreta as análises de solo, dessas variáveis citadas, da seguinte forma: $Al > 5 \text{ mmol/dm}^3$, $m > 40\%$ e $Ca < 4 \text{ mmol/dm}^3$ revelam condições desfavoráveis para o sistema radicular à culturas menos tolerantes à solos ácidos, como é o caso da cana de açúcar (EMBRAPA, 2017).

O ponto T1 apresenta valores nulos de Ca, e valores bons de Al (média de $0,45 \text{ cmol.dm}^{-1}$) que em tese não justifica a acidez excessiva. Mas ao analisar Ca (valor nulo) e $H + Al$ (média de $3,25 \text{ cmolc.dm}^{-3}$), percebe-se que o que caracteriza o solo ser extremamente ácido ($\text{pH} + \text{H}_2\text{O} = 4,8$ e $\text{pH} + \text{CaCl} = 4,25$) é o H e não o Al em si. Essa afirmação se justifica ao ver que m apresenta 100% de saturação, constatado por V (saturação de bases) apresentando-se nulo.

Já para T2, T3, T4 e T5 percebe-se que há uma relação mais forte entre Ca, Al e $Al+H$ apontando a valores de V e m mais contidos, o que explica um solo menos ácido, em relação a T1, conforme Tabela 5 em que Raij (2011) explica o nível de acidez no solo.

Gleissman (2005) pontua que a acidificação do solo é resultado da perda de bases pela lixiviação de água no perfil, da absorção de íons de nutrientes pelas plantas e sua remoção através de colheita ou pastoreio e, da produção de ácidos orgânicos por raízes e microrganismos (este último é pouco provável neste caso já que não há representatividade de ação biológica nas lâminas analisadas). Com isso, termina dizendo que solos fracamente tamponados contra esses processos de aporte ou remoção tenderão a ter acidez aumentada.

Tabela 5 - Interpretação de nível de acidez do solo

ACIDEZ	pH em CaCl₂	SB	V (%)	PERFIL
Muito alta	Até 4,3	Muito baixa	0 - 25	T1
Alta	4,4 - 5	Baixa	26 - 50	T2 / T5
Média	5,1 - 5,5	Média	51 - 70	T3 / T4
Baixa	5,6 - 6	Alta	71 - 90	--
Muito baixa	> 6	Muito alta	> 90	--

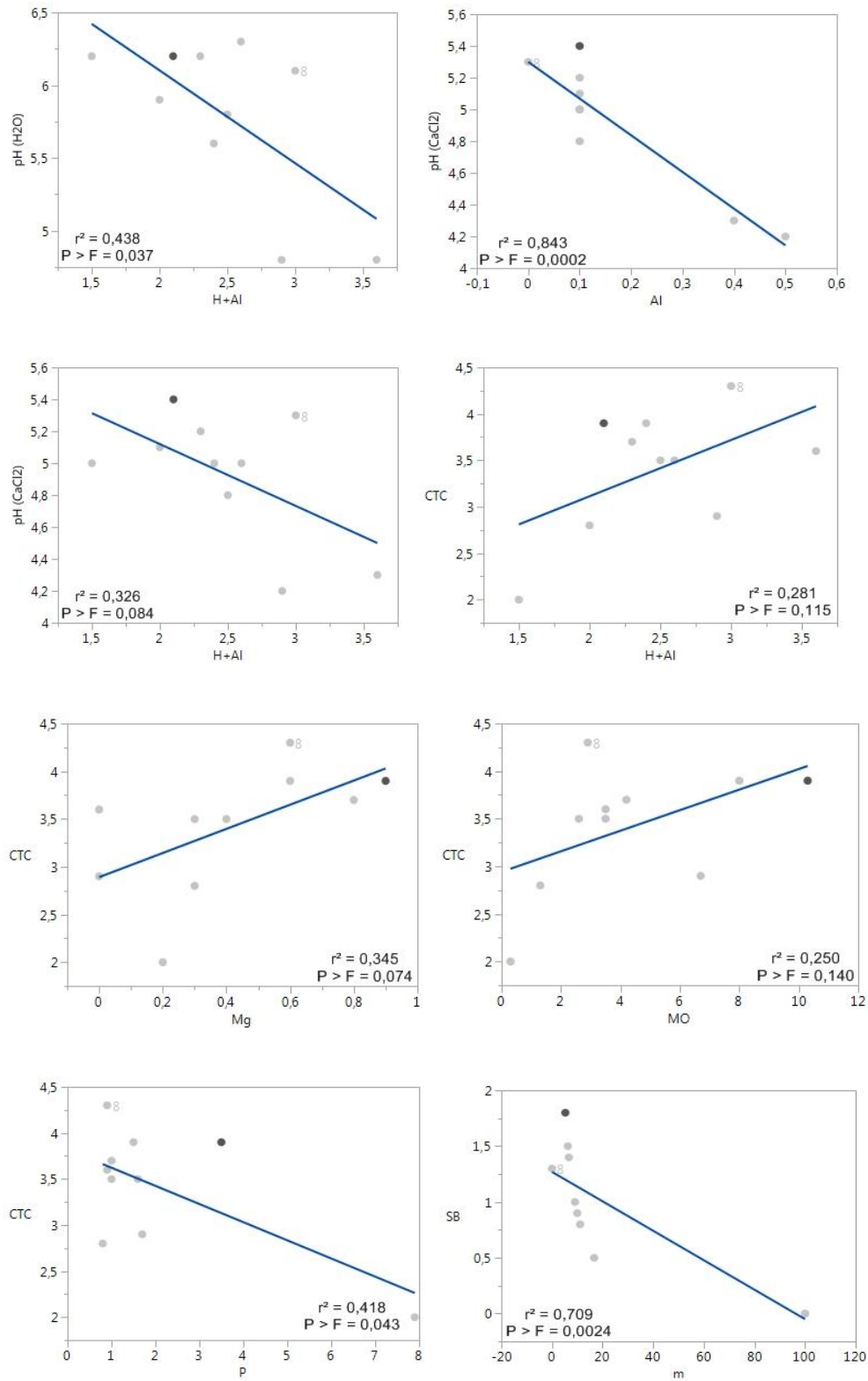
Fonte: Raij (2011, p. 126), adaptado pelo autor.

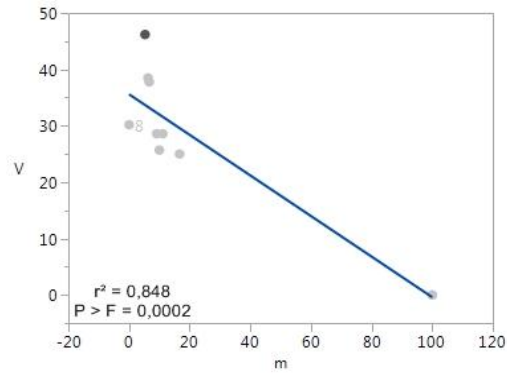
Relacionando os dados da Tabela 5 com os da Tabela 3, ilustrados na Figura 5, comprova-se essa correlação entre T2, T3, T4 e T5. Ou seja, o Al e Al + H influencia diretamente o pH, quanto menos alumínio menor será a acidez do solo. Justificando o motivo de m ter porcentagens baixas nesses pontos, assim como V ter porcentagem relativamente alta devido a associação da CTC, P, Ca, Mg e K.

Os resultados apresentados indicam que houve uma entrada significativa de insumos nos pontos tratados, sabendo que Neossolos Quartzarênicos são considerados solos pobres, justifica a acidez extrema em T1 quando comparado aos demais pontos. Explicando assim, o fato de T1 não ser plotado no gráfico da PCA, já que ele apresenta características químicas muito diferentes dos demais pontos. Portanto, conclui-se que T1 está abaixo do previsto, em termos de fertilidade, quando comparado aos tratamentos T2, T3, T4 e T5. Especulava-se que o ponto controle estaria em nível superior aos pontos tratados, o que não ocorreu devido a "*inputs*" antrópicos de insumos nessas áreas.

As análises feitas se provam quando analisadas em regressão linear (Figura 7), mostrando um bom percentual de captura de dados (r^2) e seus usos, em que, $P > F$ menor que 0,5 satisfaz estatisticamente essas correlações.

Figura 7 - Regressão linear correlacionando as principais variáveis





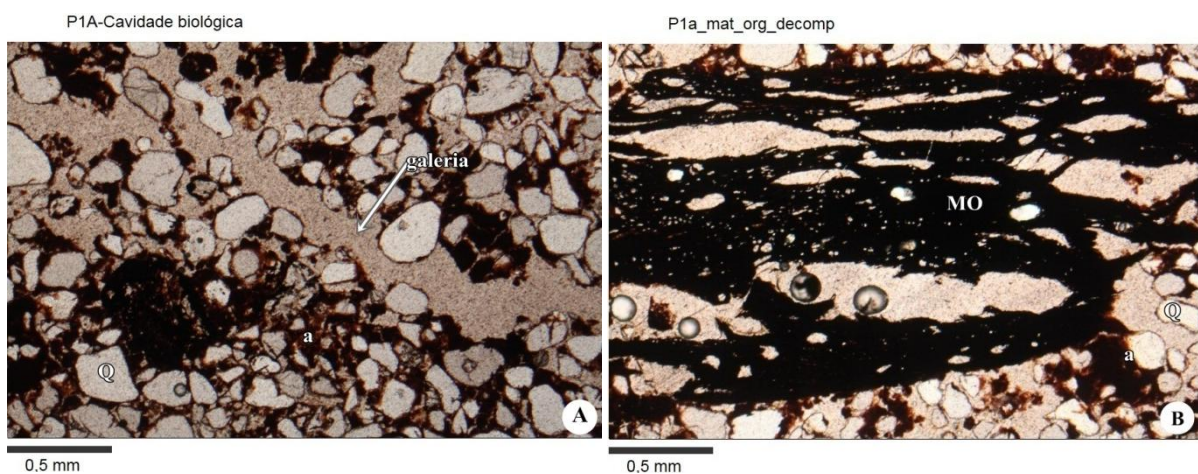
Fonte: O autor.

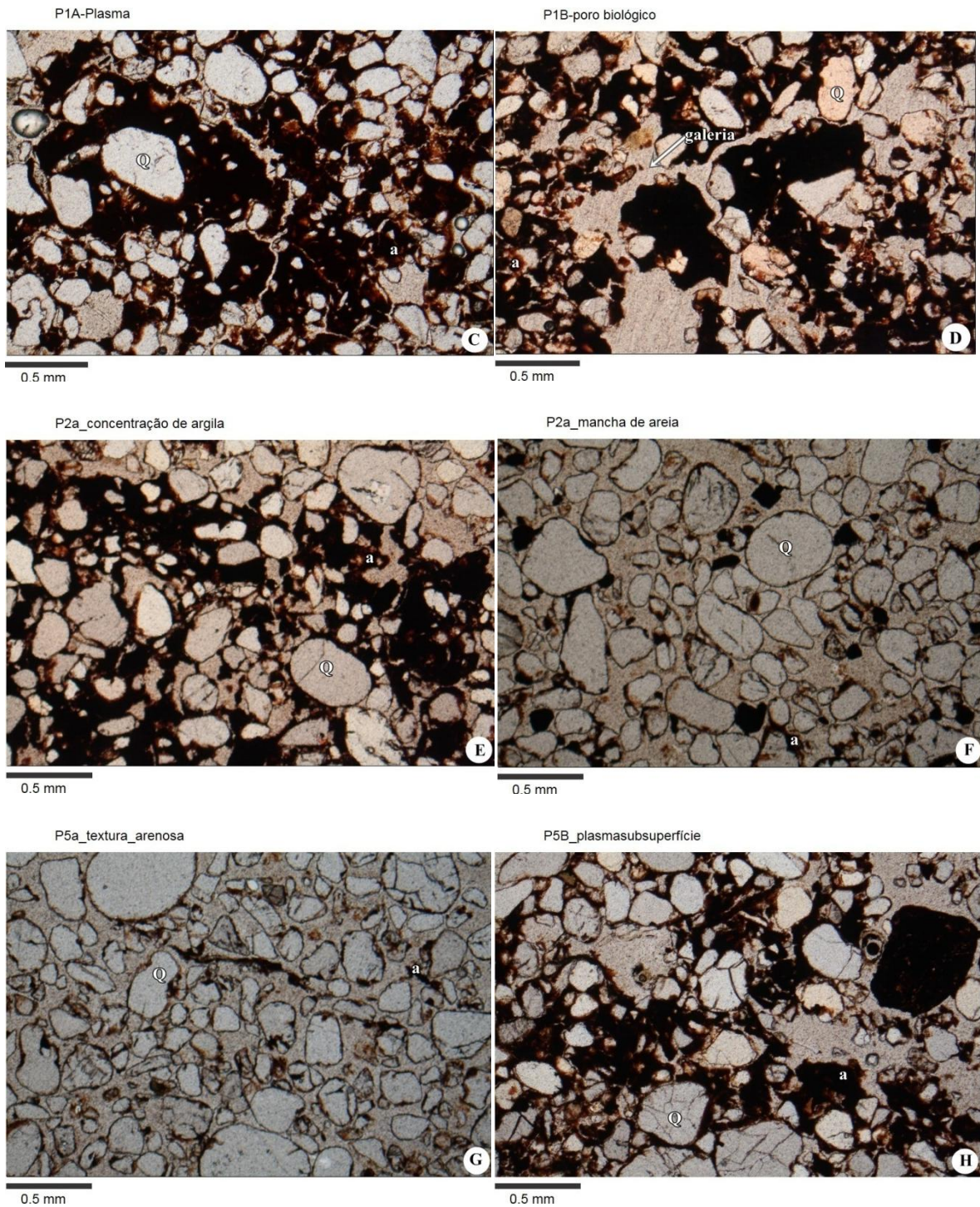
Enfatizando o fato de os pontos tratados apresentarem melhores indicadores químicos que o ponto controle surge a questão: um solo fertilizado é realmente melhor que um solo que presta serviços ecossistêmicos? Qual a importância da bioturbação? E, como tornar um solo naturalmente pobre, biodiverso?

4.2 Análise da bioturbação

A identificação dos processos de bioturbação é feita através da porosidade e desenvolvimento de estruturas biológicas (Figura 8). Ambas as feições são produzidas pelos organismos do solo.

Figura 8 - Fotomicrografias dos solos estudados





Fonte: Cardoso (2017). Legenda: Q = grão de quartzo; MO = matéria orgânica; a = argila.

As lâminas mostradas na Figura 8 são amostras significativas do solo coletado em campo. A lâmina (A) representa a cavidade biológica existente no ponto T1. O poro biológico refere-se a uma galeria separando os grãos de quartzo. A concentração de argila é local, não se distribuindo por todo o solo. A foto (B) mostra que há entrada de MO (parte escura) em T1 e

(C) um maior acúmulo de argila no solos de referência (cor vermelha). No interior da zona vermelha argilosa há um canal de origem biológica. A foto (D) mostra outros poros biológicos no ponto T1 que corta as zonas argilosas e grãos de areia. A foto (E) corresponde a profundidade de 30-60 cm no ponto T2. Nota-se que ocorrem zonas contínuas com maior concentração de argila cimentando os grãos de quartzo. Porém, poros biológicos não foram encontrados. Na foto (F), na superfície do T2, as concentrações de argila praticamente desaparecem, restando apenas núcleos isolados e grãos de quartzo soltos. A porosidade biológica inexistente e se desenvolvem apenas a porosidade de empilhamento. A foto (G) corresponde a superfície do ponto T5 e revela a textura completamente arenosa, com raros pontos argilosos e desenvolvimento de porosidade de empilhamento. Quando contrastado com o horizonte subsuperficial, na foto (H) percebe-se que há novamente um ligeiro aumento da fração argila.

Os resultados em microscopia óptica mostram que a perda de argila na superfície do solo em todo o segmento da média vertente. A perda é definitiva, ou seja, não são encontradas evidências que ocorrem eluviação e iluviação do material fino no perfil. Não foram encontrados indícios de cutans e deposição mecânica de argila. Como resultado desse processo de degradação, a porosidade formada é apenas de empilhamento, ou seja, aquela formada pela organização dos grãos de areia. Não há indícios de desenvolvimento de porosidade biológica, como observado no ponto de referência T1. A não presença de poros biológicos indica a não bioturbação do solo e, portanto, indícios de degradação e não produtividade ecossistêmica do solo. A perda da argila e a ausência de estruturas de bioturbação (microagregados e grumos) indicam que a erosão hídrica vem atuando na superfície do solo provocando perda da sua qualidade ambiental.

A disponibilidade de terras de ecossistemas naturais está sob uma severa pressão devido ao aumento populacional; a agricultura intensiva com elevada aplicação de insumos (seja fertilizantes, pesticidas ou combustíveis fósseis), além de sua expansão, leva à destruição e fragmentação de áreas biodiversas (Moreira et al., 2008), entre essas áreas, está o solo.

O solo regula um grande número de funções ecológicas, como controle da infiltração de água, percolação e retenção, troca de gases, matéria orgânica e dinâmica dos nutrientes minerais, biomassa microbiana, diversidade e susceptibilidade à erosão. Quando desvegetados, são caracterizados por alta saturação de Al, baixa disponibilidade de nutrientes,

MO e CTC, acarretando numa alta capacidade de lixiviação de bases (Bottinelli et al., 2014; Moreira et al., 2008).

Lal (1988) relata que a deterioração física do solo implica num colapso estrutural, diminuindo o tamanho e porcentagem de agregados, redução da macroporosidade, compactação de camadas de superfície e subsolo, esmagamento, selagem superficial e endurecimento do mesmo, podendo ser a causa e consequência da erosão. Já a degradação química é envolta pela lixiviação de bases, como a depleção de Ca e Mg. Em regiões semi-áridas como o Cerrado brasileiro, bioma cujo o assentamento PDS Santa Helena está localizado, a degradação química pode implicar na salinização, alcalinização e processos relacionados que levam ao acúmulo excessivo de sais no sistema radicular da planta.

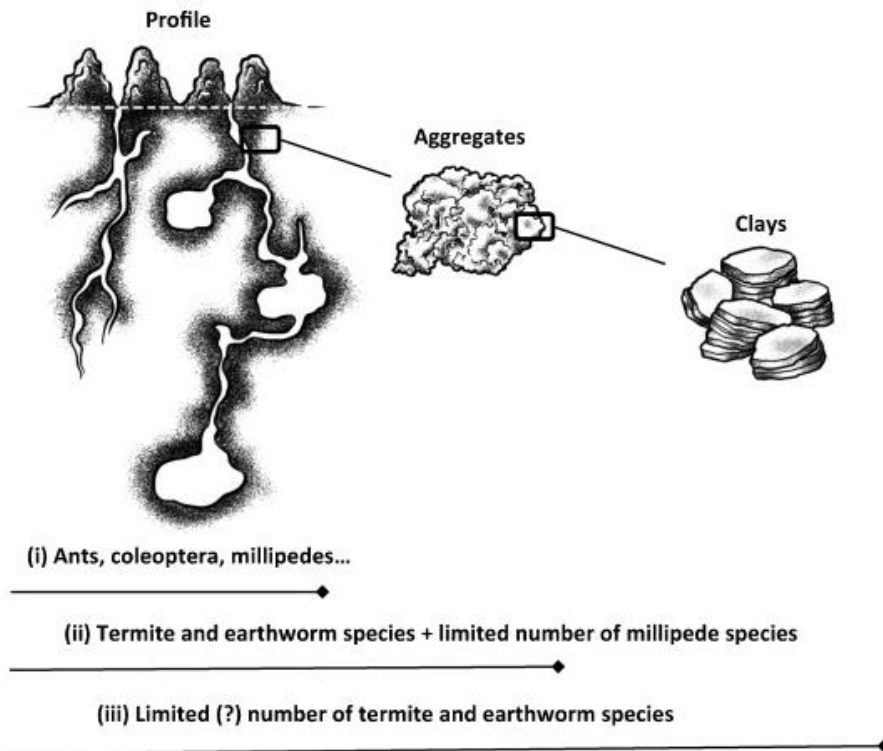
A fauna do solo, portanto, desempenha um importante papel na minimização da degradação, controlando, por exemplo, processos que aumentariam a deterioração e declínio na qualidade do solo; reconstruindo-o e revertendo tal tendência, restaurando assim, sua capacidade produtiva, suas propriedades físicas, químicas e biológicas (Lal, 1988), tudo isso, por meio de uma simples atividade, a escavação. Essa interação solo vs. animal se torna a maneira da fauna constituir uma corrente, em que, uma comunidade influencia a outra.

Entre a macrofauna do solo (invertebrado > 2mm) minhocas, térmitas (cupins) e formigas são quem desempenham importantes papéis no controle da dinâmica estrutural do mesmo, sendo chamados de "engenheiros do solo". Suas atividades correspondem a regulação de funções ecológicas e serviços ecossistêmicos (Bottinelli et al., 2014).

Esses engenheiros alteram a estrutura do solo incorporando "lixo" no ambiente. Algumas espécies se alimentam de resíduos orgânicos na superfície do solo, incorporando esses minerais perfil a dentro ou no revestimento de suas galerias. Essa incorporação de MO fresca, que teria sido degradada na superfície, gera grandes consequências na estrutura do solo, vez que a MO é um dos principais fatores que controlam a porosidade e estabilidade de agregados do mesmo (Bottinelli et al., 2014). Isso é visto na Figura 8, em que as lâminas (A, B, C e D) do ponto T1 apresentam MO e poros obtidos por meio de atividade biológica.

Bottinelli et al. (2014) explicam que cada animal tem sua esfera de influência no solo e os separa em três grupos gerais (Figura 9).

Figura 9 - Engenheiros do solo



Fonte: Bottinelli et al. (2014, p. 119).

O primeiro (i) é o *bioturbador sensu stricto*, formado por minhocas, insetos sociais e formigas (atuam principalmente no deslocamento de agregados). Este grupo corresponde a organismos que influenciam a estrutura do solo produzindo galerias e translocando agregados sem alterar a organização interna do solo, formando grandes redes e ocupando um volume significativo do mesmo. A formação desses macroporos tem primordial importância na regulação da infiltração de água, difusão de solutos, troca de gases e aeração do solo; além de influenciar na distribuição espacial das raízes de plantas.

O segundo grupo (ii) é chamado de *reorganizadores de agregados* e é representado por espécies que modificam o solo através da construção de galerias e consumo dos agregados (biogênicos); no geral, térmitas e minhocas. Os agregados biogênicos são produzidos após moagem de partículas de solo, por mandíbulas de cupins, misturando com a saliva ou são consumidos sob a forma de pastilhas fecais, por minhocas; produzindo ninhos e galerias.

Esses macroagregados geralmente possuem propriedades muito semelhantes às do solo circundante, sendo provável que essa modificação da organização interna seja limitada. Mas em outras situações a reorganização desses agregados resulta em propriedades físicas,

químicas e biológicas de solos diferentes. Um exemplo é a minhoca, onde a microestrutura pré-existente do agregado é destruída no intestino, durante o trânsito intestinal os minerais de argila e materiais orgânicos são misturados ficando incrustados formando um novo microagregado, que após excretado sua secagem e envelhecimento facilitam o fortalecimento de vínculos entre MO, muco e minerais gerando uma micro estabilização. Além disso, as minhocas podem enriquecer esses agregados com argila, aumentando essa estabilidade do solo.

Os cupins (Isoptera e Macrotermitinae), por sua vez, quando associados a certos tipos de fungos podem recuperar partículas de solo úmidas enriquecidas com argila, no perfil do solo, e acumulá-las na superfície do solo (construção de ninhos), remobilizando partículas e nutrientes.

O último grupo (iii) denominado *agentes de meteorização mineral* refere-se a organismos capazes de modificar a estrutura do solo do começo ao fim, ou seja, constroem galerias, modificam as propriedades de agregados e causam a intemperização das partículas de argila. Eles, térmitas e minhocas, também representam este grupo sendo capazes de suspender a erosão de minerais do solo.

É importante enfatizar que ao se falar de térmitas e minhocas, as explicações são dadas de modo amplo, na qual, cada espécie compõe um grupo específico descrito.

De modo geral, a influência desses engenheiros na estrutura do solo resulta numa dinâmica estável entre a capacidade de incorporar resíduos de superfície no solo, produzir agregados e galerias, dando vida ao solo. Algo tido como complexo, pois além do relatado, há muitas interações com infauna e vegetação subterrânea, em que, há estudos para ambientes marinhos mas quase nada se sabe para ambientes terrestres, necessitando de uma visão mecanicista sobre os efeitos da bioturbação nos microrganismos do solo. (Bottinelli et al., 2014; Meysman et al., 2006).

Outra questão a ser levada em conta em relação a esses estudos é que embora esses animais ocorram em todas as regiões ecológicas, há um predomínio relativo a composição das espécies, variando entre as regiões. Considerando que as minhocas são mais importantes para influenciar as propriedades do solo em regiões úmidas e sub-úmidas, já térmitas e formigas (pouco estudo) são mais importantes nos solos de trópicos áridos e semi-áridos (Lal, 1988; Bottinelli et al., 2014).

Sabe-se, então, que um dos principais efeitos ecológicos da bioturbação é a dispersão de partículas sólidas, como argila, MO, óxidos metálicos e contaminantes adsorvidos, mas que também se aplica a partículas de assinatura biológica, como micróbios, vírus, cistos, protistas, nematóides e ovos de metazoários (Meysman et al., 2006), revolvendo o solo, (re)distribuindo esses minerais e outros, num contexto "uniforme".

4.3 *Proposta de recuperação ambiental e diretriz social*

Tendo em vista que o trabalho foi realizado em um assentamento, pensa-se que o melhor meio de restaurar a área em âmbito ecológico e social é por meio da implantação de um sistema agroflorestal (SAF), considerando que sua implantação pode recuperar os serviços ecossistêmicos e produzir alimentos. O aumento da biota local certamente melhora a resiliência do solo ao mesmo tempo que gera uma fonte de renda aos moradores que ali vivem.

Os SAF's podem ser definidos de diversas formas mas num contexto particular, a definição que contempla o seu significado foi proposta pelo Centro Internacional de Pesquisa em Agrofloresta (ICRAF): "sistemas baseados na dinâmica, na ecologia e na gestão dos recursos naturais que, por meio da integração de árvores na propriedade e na paisagem agrícola, diversificam e sustentam a produção com maiores benefícios sociais, econômicos e ambientais para todos aqueles quem usam o solo em diversas escalas" (José, 2009).

Considerando o observado no assentamento PDS Sta. Helena sugere-se a implantação de sistemas que integram a lavoura, pecuária e floresta (ILPF). Essa integração aborda práticas agroflorestais no sistema conhecidas como consórcios. No local, a ideia inicial seria o uso do sistema agrosilvicultural (consórcios em que culturas agrícolas anuais se associam a espécies florestais) e sistema agrosilvipastoril (presença de espécies agrícolas ou florestais simultâneas e sequencialmente à criação de animais) (Cordeiro, 2015), uma vez que a área de pastagem local é voltada para alimentar o gado.

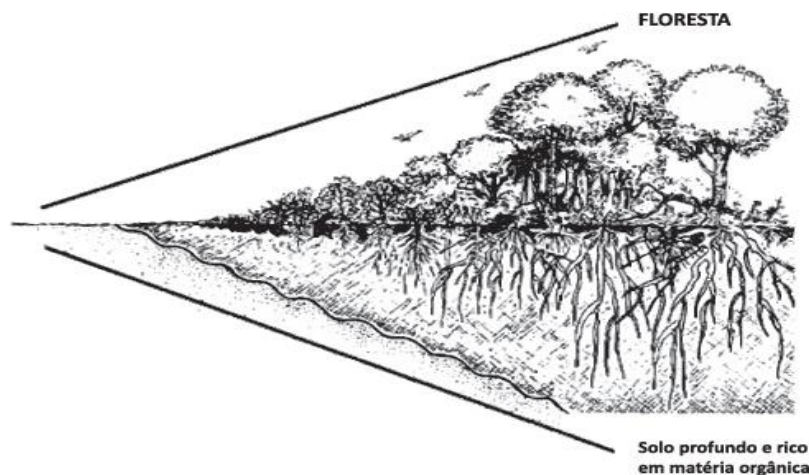
Porém esses sistemas não são suficientes quando se relacionam num contexto ecológico, principalmente, se a propriedade não possui Área de Reserva Legal (ARL) e/ou Área de Preservação Permanente (APP), o que não é o caso do Assentamento PDS Sta. Helena. Portanto o tipo de sistema a ser instaurado irá depender, único e exclusivamente, do objetivo final do produtor e o montante que ele está disposto a investir.

Agroflorestas sucessionais ou biodiversas simulam um verdadeiro ecossistema florestal devido a riqueza e abundância de espécies, associando plantas (agrícolas, florestais e medicinais) e animais. Quando situados próximos as residências, esses sistemas se tornam altamente produtivos (fácil acesso) contribuindo para a segurança alimentar e bem estar da família (Miccolis et al., 2016). Esse modelo, inteiramente agroflorestal, é uma boa opção para a área pois requer menos gastos, maior diversidade de produção gerando alimentos o ano todo de acordo com a própria sucessão e tende sempre há produzir alimentos, gradualmente, com maior valor econômico (frutas, por exemplo). E também, já é um modelo posto em prática em outros lotes do Assentamento PDS Santa Helena, facilitando a troca de conhecimentos, mudas e sementes.

A agrofloresta não é uma prática nova. Esses sistemas têm sido utilizados por agricultores e indígenas de todo o mundo, há milhares de anos, principalmente em países tropicais. Observando a natureza e buscando imitar a dinâmica das florestas (Rocha, 2014) como, por exemplo, sua renovação frente a clareiras; aplicado por nós em ações de podas, dinamizando o sistema e acelerando a produção, seja de matéria orgânica e/ou de alimentos.

Todas as ações acarretarão, a longo prazo, na produção de uma floresta, trazendo toda a complexidade pertencente a esse tipo de ambiente. Ernst Gotsch explica essa evolução apresentando um gráfico, nomeado por ele como Triângulo da Vida (Figura 10), unificando estágio sucessional e complexidade de uma (agro)floresta (Rocha, 2014).

Figura 10 - Triângulo da Vida



Fonte: Rocha (p37, 2014).

Num contexto agropecuário, ao abordar uma restauração ecológica deve-se incluir o agricultor ou proprietário rural em todos os processos (planejamento, implantação e manejo). Fazendo com que este se sinta parte do meio, mostrando que o restabelecimento de processos ecológicos, estruturação e função do ecossistema pode ser adquirido de modo significativo ao mesmo tempo que há um retorno econômico. Esses processos e funções, quando recuperados, incluem o homem ao ambiente, provando que é possível viver e se alimentar sem degradar o ecossistema ao qual ele se instalou (Kageyama et al., 2008). Esse tipo de ação é essencial para que o projeto se concretize e se conclua principalmente em propriedades pequenas, cujo o sustento familiar pode depender inteiramente da agricultura, não abrindo margens para erros.

Miccolis et al. (2016) relatam que essas ações protegem e alimentam a biodiversidade, mitigam mudanças climáticas e aumentam a capacidade de adaptação da área. Promovendo também a regulação do ciclo hidrológico, controle da erosão e do assoreamento, ciclagem de nutrientes aumentando a fertilidade do solo, melhorando suas propriedades físicas, químicas e biológicas. Aprofundando, esses ciclos de *inputs* naturais de nutrientes influenciam no microclima, conservação, biodiversidade e estruturação do solo. Além de contribuírem para o aumento de corredores ecológicos, estocagem de carbono, adaptação e aumento na resiliência da mata.

Contudo, entender as necessidades ambientais de uma área requer prática, pesquisas e partilhar conhecimentos tornando-os acessíveis (em todos os âmbitos que a palavra venha ter). Mas quando em trabalho de campo percebe-se como o conhecimento formal, adquirido pelo saber científico, desvincula-se do saber local perdendo, portanto, sua função social. Não externando os resultados obtidos dos estudos realizados à sociedade e, principalmente, à comunidade (local) cuja a pesquisa foi realizada. Desse modo o pequeno produtor, em muitos casos, não tem acesso a essas pesquisadas devido a falta de divulgação e retorno, por parte da Universidade, ou por dificuldade financeira. Esses entraves impedem ou inibem que sua produção se desenvolva de modo ecológico obrigando os agricultores a optar por insumos externos de alta demanda energética e de alto custo, podendo representar uma porcentagem significativa nos gastos de produção.

Um exemplo de falha na comunicação entre comunidade científica e sociedade pode ser observado na avaliação do solo a ser preparado ou manejado para produção, em que, na maioria das vezes é de elevado custo e difícil interpretação, para o pequeno produtor. Análises bióticas e abióticas do solo requerem considerável conhecimento na área, dificultando um

rápido entendimento pois se caracterizam, muitas vezes, como um receituário de procedimentos a serem adotados, exigindo um esforço excessivo. Os estudos abióticos foram os primeiros a surgirem para análise de solo. Isso se deve ao fato dos países de zona temperada terem sido pioneiros em estudos do solo onde não há muita atividade biológica intensa/visível focando, então, na estrutura física, principalmente (Bevilaqua, 2017).

Historicamente o Brasil surge com suas análises em mesmo princípio, ou seja, estudos físicos e químicos do solo. O austríaco Dr. Franz W. Dafert foi o primeiro pesquisador a estudar os solos tupis, a pedido de D. Pedro II, buscando entender a perda de produtividade de cafezais após cinco anos de plantio/derrubada da mata; começa então as pesquisas voltadas para a química (nitrogênio) do solo no país. Posteriormente o desenvolvimento desses estudos focaram em análises de acidez do solo, teor de matéria orgânica, magnésio, cálcio, potássio e fósforo; mais tarde o avanço se deu em estudos de granulometria, micronutrientes, sódio e metais pesados (toxicidade) (Raij, 2017).

Bevilaqua (2017) relata que existem algumas análises voltadas para fauna do solo em ambientes tropicais, agindo junto à prática da Agroecologia, mas que essas podem apresentar "*gaps*", serem de difícil compreensão/execução ou insuficientes. O autor propõe a criação de uma nova análise intitulada "Avaliação Visual da Saúde do Solo (AVSS)" focando na macrofauna edáfica presente no solo, objetivando um método de baixo custo, eficaz, fácil entendimento e execução do pequeno produtor. Uma combinação de quatro outras análises mais a soma da fauna (foco principal) em que, através de dados estatísticos, cumpriu a proposta inicial.

Pode-se dizer que métodos de avaliação biológica do solo são, ainda, pouco pesquisados em áreas tropicais e, também, pouco discutidos e distribuídos frente ao pequeno agricultor. Prova disso é o "Manual de Análise de Solo (Teixeira, 2017)", obra nacional publicada pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) no ano de 2017, em que, não há nenhuma análise de cunho biológico. Apenas física, química, estrutural, mineral e micromorfológica.

Aprender sobre bioturbação e difundi-la diante os proprietários rurais é algo a ser pensado. O método criado por Bevilaqua (2017) é um bom exemplo de como aproximar pesquisa e pequeno produtor pois além de fácil realização, seu texto apresenta uma linguagem clara.

5 CONCLUSÃO

Os dados e informações gerados neste trabalho indicam que está ocorrendo uma degradação do solo sob pastagem. A degradação é textural por envolver a perda das partículas finas do solo superficial através da erosão hídrica. É também uma degradação ecológica uma vez que indícios de bioturbação inexistem nos perfis da pastagem. Ambos desencadeiam a degradação da biodiversidade pois o solo não apresenta feições de atividade biológica. O desmatamento, o manejo agrícola e a erosão hídrica degradam as camadas superficiais do solo, o empobrecendo em argila e enriquecendo em quartzo. Portanto, mesmo apresentando os melhores indicadores químicos, os solos da pastagem são degradados enquanto que o solo de referência sob a vegetação nativa apresenta os melhores indicadores de biodiversidade.

A ausência da biodiversidade do solo resulta na perda da sua estruturação natural, afetando outros indicadores físicos e químicos. A instalação de um sistema com práticas agroflorestais ou inteiro agroflorestal pode trazer benefícios ao solo por incorporar matéria orgânica e ampliar as trocas ecossistêmicas e preservar o recurso que é essencial para o desenvolvimento social e econômico dos agricultores.

Também é preciso atentar-se para o fato do distanciamento rural perante as conexões urbanas. A não relação entre o saber científico produzido nas universidades e o saber local dos agricultores gerou um pensar que não era previsto nesse estudo mas se fez necessário conforme o entendimento e andamento da pesquisa. A reforma agrária é postergada no país, dando abertura para aprovações de projetos de leis (PL) cujas propostas permitem ampliar a degradação do meio ambiente, por exemplo, o PL 6299/02 que aumenta a utilização de agroquímicos (barrados em outros países) na agricultura e o PL 4576/16, visando a restrição da venda de orgânicos. Isso afeta não só os assentados mas também o campo e área urbana, deixando de lado a ascensão da soberania alimentar; ampliando espaços para o setor latifundiário e suas "*commodities*". A ausência de uma política clara sobre o manejo das terras e meios de produção torna grande parte da população refém de uma minoria, esta, impondo o que iremos comer e o valor a ser pago.

REFERÊNCIAS

Bevilaqua, L. J. Avaliação visual da saúde do solo sob diferentes usos. Tese apresentada para o título de Mestre em Agroecologia, **UFSCar** - Araras/SP. 156p. 2017.

Bottinelli, N.; Jouquet, P.; Capowiez, Y.; Podwojewski, P.; Grimald, M.; Peng, X. Why is the influence of soil macrofauna on soil structure only considered by soil ecologists? **Elsevier: Soil and Tillage Research**. v. 146, part A, p. 118-124. 2014.

Bots, A.; Benites, J. The importance of soil organic matter: Key to drought-resistant soil and sustained food production. **Natural Resources Management and Environment Department**, Roma: FAO, 78p, 2005.

Bullock, P.; Federoff, N.; Jongerius, A.; Stoops, G.; Tursina, T.; Babel, U. **Handbook for Soil Thin Section Description**. Wolverhampton: Waine Research Publications, 1985.152 p.

Cardoso, F. E. **Avaliação dos processos de degradação dos solos e da viabilidade socioeconômica e ambiental de práticas de recuperação e conservação (assentamento rural PDS Santa Helena, São Carlos-SP)**. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais). Instituto de Geociências - IGCE, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Rio Claro, 2017. No prelo.

Carvalho, D. F. de; Montebeller, C. A.; Cruz, E. S. da; Ceddia, M. B.. Lana, A. M. Q. Perda de solo e água em um argissolo vermelho amarelo, submetido a diferentes intensidades de chuva simulada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 3, p385-389, 2002.

Cordeiro, L. A. M.; Vilela, L.; Kluthcouski, J.; Marchão, R. L. Integração lavoura-pecuária-floresta. Brasília, DF: **Embrapa**. 393 p., 2015.

Dedecek, R. A. A Dinâmica dos Solos em Áreas Degradadas. In: SIMPOSIO NACIONAL: RECUPERAÇÃO DE ÀREAS DEGRADADAS, Curitiba, 1992. **Anais...** Curitiba: UFPR/FUPEF, 1992.

EMBRAPA. Correção e adubação. **Agência Embrapa de Informação Tecnológica - AGEITEC**. Acessado em: 19 de Setembro de 2017. Disponível em

<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_6_711200516715.html>.

EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro: **EMBRAPA-SPI**, 2 ed., 412 p. 2006.

Frazão, L. A.; Píccolo, M. C.; Feigl, B. J.; Cerri, C. C.; Cerri, C. E. P. Propriedades químicas de um neossolo quartzarênico sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado mato-grossense. Brasília: **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 23, n. 5, p. 641-648. 2008.

Freitas, I. C. Atributos de um neossolo quartzarênico da pré Amazônia sob agroecossistemas de produção familiar [manuscrito]. **PPG em Agronomia, Universidade Federal de Goiás - UFG**. 2013.

Gleissman, S. R. Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável. 3 ed. Porto Alegre: **Editora da UFGS**, 653 p. 2005.

Gonçalves, J. L. M.; Stape, J. L.; Benedetti, V.; Fessel, V. A. G.; Gava, J. L. Reflexos do Cultivo Mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e nutrição das árvores. In: Gonçalves, J. L. M.; Benedetti, V. (Ed) **Nutrição e Fertilização Florestal**. Piracicaba: IPEF/FAPESP, 2000.

Gotelli, N. J. Princípios de estatística em ecologia. Tradução: Fabrício Beggato Baccaro... [et al.]. Porto Alegre: **Artmed**. 528 p. 2011.

Griebeler, N. P.; Pruski, F. F.; Martins Jr, D.; Silva, D. D. Avaliação de um modelo para a estimativa da lâmina máxima de escoamento superficial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 411-417, 2001.

José, S. Agroforest for ecosystem services and environmental benefits: na overview. **Agroforest Systems**, v. 76, p. 1-10, 2009.

Kageyama, P. Y.; Oliveira, R. E.; Moraes, L. F. D.; Engel, V. L.; Gandara, F. B. **Recuperação Ecológica de Ecossistemas Naturais**. 1. Ed. Rev. Botucatu: FEPAF, 2008 xii, 340p.

Keneddy, A. C. Bacterial diversity in agrossystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 74, n. 1, p. 65-76, 1999.

Lal, R. Effects of macrofauna on soil properties in tropical ecosystems. Amsterdam, Elsevier: **Agriculture, Ecosystems and Environmet.** v. 24, p. 101-116. 1988.

Lavelle, P. Ecological challenges for soil science. **Soil Science**, Washington, v. 165, n. 1, p. 73-86, 2000.

Lavelle, P.; Spain, A. **Soil ecology. Dordrecht.** Países Baixos: Kluwer Academic Publishers. 2001.

Lundeberg, J.; Moberg, F. Mobile Link Organisms and Ecosystem Functioning: Implications for Ecosystem Resilience and Management. **Ecosystems**, v. 6, n. 1, p. 87-98, 2003.

Meysman, F. J. R.; Middelburg, J. J.; Heip, C. H. R. Bioturbation: a fresh look at Darwin's last idea. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 21, n. 12, p. 688-695, 2006.

Miccolis, Andrew... [et al.]. Restauração ecológica com sistemas agroflorestais: como conciliar conservação com produção. Brasília: **Instituto Sociedade, População e Natureza - ISPN / Centro Internacional de Pesquisa Agroflorestal - ICRAF.** 266 p. 2016.

Minter/IBAMA. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação.** Brasília: IBAMA, 1990. 96p.

Moreira, F. M. S.; Siqueira, J. O.; Brussaard, L. **Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros.** Lavras: Ed. UFLA, 2008. 768p.

Oliveira Filho, A.T. The vegetation of Brazilian “murundus”: the island-effect on the plant community. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v .8, n. 4, p. 465-486, 1992.

Raij, B. Van. Fertilidade do solo e manejo de nutrientes. Piracicaba: **International Plant Nutrition Institute**, 420 p. : il. 2011.

Raij, B. Van; Cantarella, H.; Quaggio, J. A. Desenvolvimento de métodos de análise de solos: impactos na agricultura brasileira. Boletim Técnico-informativo do Instituto Agrônômico: **O Agrônômico.** v. 69, 2017. Disponível em <<http://oagronomico.iac.sp.gov.br/?p=999>>. Acessado em 02 de julho de 2018.

Rocha, E. J. P. L. Jardins agroflorestais: princípios, implantação e manejo. **Instituto de Permacultura: Organização, Ecovilas e Meio Ambiente - IPOEMA**. Brasília/Df. 82p. 2014.

Reis, A.; Bechara, F. C.; Espíndola, M. B.; Vieira, N. K.; Souza, L. L. Restauração de áreas degradadas: a nucleação como base para incrementar os processos sucessionais. **Natureza & Conservação**, Cidade, v. 1,n. 1,p. 28-36, 2003.

Riccomini, C. Considerações sobre a posição estratigráfica e tectonismo deformador da formação Itaqueri na porção centro-leste do Estado de São Paulo. **Revista do Instituto Geológico**, v. 18, n. 1/2, p. 41-48, 1997.

Saravalle, C. Y.; Lopes, P. R.; Franschechini, G.; Freire, L.; Souza-Esquerdo, V. F. Projeto de desenvolvimento sustentável Santa Helena - São Carlos/SP: uma problematização das oportunidades, fraquezas, ameaças e fortalezas. **Retratos de Assentamentos**. v. 19, n. 1. 2016.

Silva, A.P. Atributos pedoecológicos e censitários relativos à desertificação: Município de Soledade, Paraíba. Areia, **Universidade Federal da Paraíba (UFP)**, 56p, 1997.

Silva, R. B.; Silva, J. P.; Resende, R. U.; Lopes, P. R.; Santos, C. E. S. Sistema agrossilvipastoril como modelo de desenvolvimento rural sustentável no assentamento PDS Santa Helena, São Carlos, São Paulo. **IX Fórum de Desenvolvimento Territorial e Meio Ambiente\UNIARA**. 2016.

Souza, T. T.; Lima, A. B.; Teixeira, W. G. O aumento da capacidade de troca de cátions (CTC) do solo através da aplicação de carvão vegetal em um latossolo amarelo na Amazônia Central. In: **61º Reunião Anual da SBPC**, Manaus/AM, Brasil. 2009.

Souto, P. C.; Souto, J. S.; Miranda, J. R. P.; Santos, R.V.; Alves, A. R. Comunidade microbiana e mesofauna edáficas em solo sob caatinga no semi-árido da Paraíba. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 151-160, 2008.

Teixeira, P. C.; Donagemma, G. K.; Fontana, A.; Teixeira, W. G. Manual de métodos de análise de solo. Brasília, DF: **Embrapa**. 573 p. 2017.

Torsvik, V.; Ovreas, L. Microbial diversity and function in soil: from genes to ecosystems. **Current Opinion in Microbiology**, Amsterdam, v. 5, n. 3, p. 240-245, 2002.

Ugolini, F. C.; Edmonds, R. L. Soil biology: concepts and interactions. **Soil taxonomy and pedogenesis**. Amsterdam: Elsevier, p193-231, 1993.

White, P. S.; Pickett, T. A. Natural Disturbances ad Patch Dynamics: An Introduction. In: Pickett, T. A.; White, P. S. (Ed) **The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics**. New York: Academic Press, 1985.

Wilkinson M. T.; Richards, P. J.; Humphreys, G. S. Breaking ground: Pedological, geological, and ecological implications of soil bioturbation. **Earth-Science Reviews**, Cidade?, v. 97, p.257–272, 2009.

Aluno
Vinícius Mendes

Orientadora
Dra. Vânia Silvia Rosolen