

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MARCUS VINICIUS CREMONESI

AVALIAÇÃO DE ATRIBUTOS QUÍMICOS, FÍSICOS E MACROFAUNA EM ÁREAS
DE CULTIVO DE BANANA E MATA, NAS ADJASCÊNCIAS DO RIO RIBEIRA DE
IGUAPE.

CURITIBA

2020

MARCUS VINICIUS CREMONESI

AVALIAÇÃO DE ATRIBUTOS QUÍMICOS, FÍSICOS E MACROFAUNA EM ÁREAS
DE CULTIVO DE BANANA E MATA, NAS ADJASCÊNCIAS DO RIO RIBEIRA DE
IGUAPE.

Tese apresentada ao curso de Pós-Graduação em
Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias,
Universidade Federal do Paraná, como requisito
parcial à obtenção do título de Doutor em Ciência
do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Danilo Eduardo Rozane

CURITIBA

2020

Cremonesi, Marcus Vinicius

Avaliação de atributos químicos, físicos e macrofauna em áreas de cultivo de banana e mata, nas adjacências do rio Ribeira de Iguape / Marcus Vinicius Cremonesi. - Curitiba, 2020.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo. Orientador: Danilo Eduardo Rozane

1. Solos - Erosão. 2. Físico-química do solo. 3. Solo - Metais pesados. 4. Fauna do solo. 5. Solos - Qualidade. I. Rozane, Danilo Eduardo. II. Título. III. Universidade Federal do Paraná.

TERMO DE APROVAÇÃO



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO CIÊNCIA DO SOLO -
40001016014P4

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIA DO SOLO da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **MARCUS VINICIUS CREMONESI** intitulada: **AVALIAÇÃO DE ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS, MACROFAUNA EM ÁREAS DE CULTIVO DE BANANA E MATA, NAS ADJACÊNCIAS DO RIO RIBEIRA DE IGUAPE**, sob orientação do Prof. Dr. **DANILO EDUARDO ROZANE**, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua Aprovação no rito de defesa.

A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 19 de Fevereiro de 2020.

DANILO EDUARDO ROZANE

Presidente da Banca Examinadora (UNIVERSIDADE EST. PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO)

ELOANA JANICE BONFLEUR

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

WILIAN CARLO DEMETRIO

Avaliador Interno Pós-Doc (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

ALINE ROBERTA DE CARVALHO SILVESTRIN

Avaliador Externo (PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ)

Dedicado aos meus pais, marido e amigos, que sempre me apoiaram nessa empreitada.

AGRADECIMENTOS

Ao futuro, e a tudo aquilo que ele nos reserva.

A minha mãe, Cida, pelo incentivo constante. Ao meu pai, Edgard, pelo apoio. A minha tia, Dal, pelos momentos de descontração.

Ao meu companheiro, Eric, pela paciência e dedicação.

Ao meu orientador, Professor Danilo, pelo projeto e pela longa jornada de aprendizado que desenvolvemos.

Aos meus coorientadores e amigos, Alessandra Santos, Luana S. Celante, Liliane Maia, Zieglenristen C. Calabria, por todo o tempo despendido na elaboração deste projeto.

Aos professores George G. Brown, Marie L. C. Bartz e Karina M. V. Cavalieri Polizeli, pelo suporte.

A Universidade Federal do Paraná e ao Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, pelo acolhimento e ensino.

Ao Fundo Estadual de Recursos Hídricos – FEHIDRO, pelo financiamento de parte do projeto.

A Universidade Estadual Paulista (UNESP), pela cessão do espaço.

A EMBRAPA Florestas, pelo apoio técnico.

A ABAVAR e a AMAVALES pelo apoio junto aos produtores e portos de areia.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa.

Aos professores do programa de pós-graduação em ciência do solo, por todo o conhecimento compartilhado.

Ao corpo técnico da UFPR, pelo suporte no uso de equipamentos e materiais.

Aos demais colegas do curso, sem o qual não faria sentidos estarmos aqui.

A vida não cabe no Lattes.
(autor desconhecido/arte de rua)

RESUMO GERAL

Apesar da importância mundial da cultura e da expressividade da área cultivada no Brasil e no mundo, pouco se tem focado no aspecto da qualidade do solo em relação ao sistema de cultivo da bananeira, quando comparada às outras frutíferas como citros, café e videira, principalmente considerando-se os grandes polos regionais de produção, como o Vale do Ribeira, principal região produtora do estado de São Paulo e principal remanescente de Floresta Atlântica do Brasil. A avaliação da qualidade do solo pode ser realizada de diferentes modos e sobre diferentes óticas, sendo geralmente utilizadas áreas nativas como referência da alteração promovida pelos sistemas agrícolas. Avaliando-se os atributos químicos (saturação por bases, pH, capacidade de troca de cátions, macro e micronutrientes, estoque de carbono e elementos tóxicos), físicos (infiltração de água, estabilidade de agregados, densidade e porosidade do solo) e biológicos (ocorrência, riqueza, diversidade e equitabilidade) é possível estabelecer a qualidade do sistema e compará-lo com sua condição originária mais próxima disponível. O baixo revolvimento do solo e ausência de maquinário pesado para os tratamentos culturais, realizados muitas vezes manualmente, contribuem para a manutenção da qualidade do solo, favorecendo comunidades edáficas, a infiltração e disponibilidade de água, o aumento do estoque de carbono e a maior agregação. Enquanto que o aporte contínuo e pouco criterioso de fertilizantes e corretivos ao longo dos anos pode promover a contaminação do solo e da água pela presença de elementos potencialmente tóxicos como Cd, Cr e Pb.

Palavras-chave: Perda de solo. Metais pesados. Macrofauna do solo. Qualidade do solo. Química e física do solo.

GENERAL ABSTRACT

Despite the worldwide importance of cultivation and the expressiveness of the cultivated area in Brazil and in the world, little has been focused on the aspect of soil quality in relation to the banana cultivation system, when compared to other fruits such as citrus, coffee and grapevines, mainly considering the major regional production hubs, such as Vale do Ribeira, the main producing region in the state of São Paulo and the main remnant of the Atlantic Forest in Brazil. The assessment of soil quality can be carried out in different ways and from different perspectives, with native areas generally being used as a reference for the alteration promoted by agricultural systems. Evaluating the chemical attributes (saturation of basis, pH, cations exchange, macro and micronutrients, carbon stock and toxic elements), physical (water infiltration, aggregate stability, soil bulk density and porosity) and biological (occurrence, richness, diversity and equitability) it is possible to establish the quality of the system and compare it with its nearest original condition available. The low soil turnover and the absence of heavy machinery for cultural treatments, often carried out manually, contribute to the maintenance of soil quality, favoring edaphic communities, the infiltration and availability of water, the increase in the carbon stock and the greater aggregation. While the continuous and inconsiderate supply of fertilizers and correctives over the years can promote soil and water contamination by the presence of potentially toxic elements such as Cd, Cr and Pb.

Key words: Soil loss. Heavy metals. Soil macrofauna. Soil quality. Soil chemistry e physics.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. BACIA DO RIO RIBEIRA DE IGUAPE, COM DESTAQUE PARA A LOCALIZAÇÃO DOS MUNICÍPIOS DE ELDORADO, SETE BARRAS E REGISTRO.....	22
FIGURA 2. CROQUI DA ESTAÇÃO DE COLETA DE SEDIMENTOS E ÁGUA DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL.	24
FIGURA 3. BIPLLOT DOS DOIS PRIMEIROS COMPONENTES PRINCIPAIS COM TODAS AS OBSERVAÇÕES (A) E SUAS PROJEÇÕES EM RELAÇÃO ÀS ÁREAS DE FLORESTA – F, E BANANA – B, (B) E EM RELAÇÃO AOS MUNICÍPIOS DE ELDORADO (e), SETE BARRAS (sb) E REGISTRO (r) (C).	31
FIGURA 4. RELAÇÃO ENTRE A PLUVIOSIDADE OBTIDA E A MÉDIA HISTÓRICA PARA OS MUNICÍPIOS DE ELDORADO, SETE BARRAS E REGISTRO NO PERÍODO DE ABRIL DE 2018 A NOVEMBRO DE 2019.	33
FIGURA 5. CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA DO SOLO (Ksat) MÉDIA PARA A CAMADA DE 0 A 20 cm, PLUVIOSIDADE E PLUVIOSIDADE ACUMULADA PARA OS MUNICÍPIOS DE ELDORADO, SETE BARRAS E REGISTRO NO PERÍODO DE ABRIL DE 2018 A OUTUBRO DE 2019.	36
FIGURA 6. DISTRIBUIÇÃO DE CLASSES DE AGREGADOS EM FUNÇÃO DA INTERAÇÃO ENTRE ÁREA E CLASSES DE AGREGADOS (A) E ENTRE PROFUNDIDADE E CLASSE DE AGREGADOS (B).	50
FIGURA 7. DIÂMETRO MÉDIO PONDERADO (DMP), DIÂMETRO MÉDIO GEOMÉTRICO (DMG), ESTOQUE DE CARBONO E DENSIDADE DO SOLO PARA OS SISTEMAS FLORESTA ATLÂNTICA E CULTIVO DE BANANA NOS MUNICÍPIOS DE ELDORADO, SETE BARRAS E REGISTRO - SP EM DIFERENTES PROFUNDIDADES.	53
FIGURA 8. RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO PARA OS SISTEMAS FLORESTA ATLÂNTICA E CULTIVO DE BANANA NOS MUNICÍPIOS DE ELDORADO, SETE BARRAS E REGISTRO - SP EM DIFERENTES PROFUNDIDADES.	55

FIGURA 9. CURVAS DE RETENÇÃO DO CONTEÚDO DE ÁGUA NO SOLO ($m^3 m^{-3}$) EM FUNÇÃO DO POTENCIAL MÁTRICO (-kPa) PARA A CAMADA DE 0,0 A 0,2 M NOS SISTEMAS FLORESTA E CULTIVO DE BANANA NOS MUNICÍPIOS DE ELDORADO, SETE BARRAS E REGISTRO - SP.	56
FIGURA 10. DISTRIBUIÇÃO E FREQUÊNCIA RELATIVA DO TAMANHO DE POROS PELA DERIVAÇÃO DA EQUAÇÃO DE VAN GENUCHTEN PARA A CAMADA DE 0,0 A 0,2 m NOS SISTEMAS FLORESTA ATLÂNTICA E CULTIVO DE BANANA NOS MUNICÍPIOS DE ELDORADO, SETE BARRAS E REGISTRO - SP.	58
FIGURA 11. ACÚMULO DE CHUVA MENSAL POR MUNUCÍPIO E TEMPERATURA MÉDIA. *MESES DE COLETA DE AMOSTRAS.	66
FIGURA 12. BILOT DOS COMPONENTES PRINCIPAIS 1 E 2 PARA OS AUTOVETORES (VARIÁVEIS) E SCORES (AMOSTRAS) E PROJEÇÃO DAS AMOSTRAS EM FUNÇÃO DAS ESTAÇÕES DO ANO E DOS SISTEMAS AVALIADOS.	68
FIGURA 13. BILOT DOS COMPONENTES PRINCIPAIS DOS ATRIBUTOS DO SOLO (PC1) E DAS ESTAÇÕES DO ANO (PC2) EM FUNÇÃO DOS ATRIBUTOS BIOLÓGICOS PARA CADA AUTOVETOR (VARIÁVEIS) E SCORES (AMOSTRAS).	69
Figura 14. BILOT DA ANÁLISE DISCRIMINANTE LINEAR EM FUNÇÃO DA INTERAÇÃO ENTRE ESTAÇÕES E SISTEMA DE CULTIVO E APENAS PARA AS ESTAÇÕES DO ANO.	71
FIGURA 15. LOCATION OF THE CITIES SAMPLED OVER THE RIBEIRA RIVER BELONGING TO THE STATE OF SÃO PAULO, BRAZIL.	80
FIGURA 16. FREQUÊNCIA (% DO TOTAL DE INDIVÍDUOS COLETADOS) DE ESPÉCIES DE MINHOCAS ENCONTRADAS NOS SISTEMAS DE FLORESTA ATLÂNTICA (AF) E CULTIVO DE BANANA (BC) (A) POR MUNICÍPIOS (B).	86

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-CLIMÁTICA DAS ÁREAS AMOSTRADAS PARA CADA SISTEMA (FLORESTA E BANANA) PARA OS MUNICÍPIOS DE ELDORADO, SETE BARRAS E REGISTRO - SP.	22
TABELA 2. ATRIBUTOS DA FERTILIDADE E GRANULOMETRIA E SEUS VALORES BALIZADORES DE INTERPRETAÇÃO NAS ÁREAS DE FLORESTA E CULTIVO DE BANANA EM TRÊS MUNICÍPIOS DO VALE DO RIBEIRA – SP.	27
TABELA 3. ELEMENTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS E SEUS VALORES BALIZADORES DE INTERPRETAÇÃO PARA ÁREAS DE FLORESTA E CULTIVO DE BANANA EM TRÊS MUNICÍPIOS DO VALE DO RIBEIRA – SP.	29
TABELA 4. COMPONENTES PRINCIPAIS (PCS), AUTOVALORES, PORCENTAGEM DA VARIÂNCIA EXPLICADA E PROPORÇÃO ACUMULADA (%) PELOS COMPONENTES, E PROPORÇÃO DA VARIÂNCIA (%) E CORRELAÇÃO PARA AS VARIÁVEIS DENTRO DE CADA COMPONENTE.	30
TABELA 5. CAMPANHAS, PERÍODOS DE AMOSTRAGEM, NÚMERO DE AMOSTRAS OBTIDAS, ESCOAMENTO SUPERFICIAL, COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL (CES) E PERDA DE SOLO POR SISTEMA E EM CADA MUNICÍPIO.	33
TABELA 6. MÉDIAS DOS TEORES SOLÚVEIS PROVENIENTES DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL PARA ÁREAS DE FLORESTA E BANANA NOS MUNICÍPIOS DE ELDORADO, SETE BARRAS E REGISTRO E VALORES DE REFERÊNCIA PARA ÁGUAS SUBTERRÂNEAS (CETESB) E RIOS CLASSE II (CONAMA).	37
TABELA 7. TEORES DE AREIA, ARGILA E SILTE OBTIDOS PARA A CAMADA ARÁVEL (0,00 - 0,20 M) EM ÁREAS DE FLORESTA ATLÂNTICA E CULTIVO DE BANANA NOS MUNICÍPIOS ELDORADO, SETE BARRAS E REGISTRO - SP.	49
TABELA 8. MÉDIAS ENTRE PROFUNDIDADES E ÁREAS PARA OS ATRIBUTOS ESTOQUE DE CARBONO (EC), DENSIDADE DO SOLO (DS), ESTOQUE DE CARBONO TOTAL NA CAMADA DE 0,00 A 0,20 m	

(EC total), DIÂMETROS MÉDIOS PONDERADOS (DMP) E GEOMÉTRICOS (DMG), POROSIDADE TOTAL (PT), MACROPOROSIDADE (MAC), MICROPOROSIDADE (MIC) E ÁGUA DISPONÍVEL (AD).	52
TABLE 9. AUTOVALOR, PROPORÇÃO E PROPORÇÃO ACUMULADA DA VARIÂNCIA POR COMPONENTE PRINCIPAL, AUTOVETOR E PORCENTAGEM DA VARIÂNCIA PARA CADA VARIÁVEL DENTRO DE CADA COMPONENTE.....	67
TABELA 10. PROPORÇÃO DO TRAÇO E SCORES DAS VARIÁVEIS DAS FUNÇÕES DISCRIMINANTE LINEAR (LDA) 1 E 2 PARA AS ESTAÇÕES DO ANO E A INTERAÇÃO ENTRE ESTAÇÕES E SISTEMAS DE CULTIVO.....	70
TABELA 11. SISTEMA, CÓDIGO DA BACIA HIDROGRÁFICA, IDADE DO SISTEMA, LOCALIZAÇÃO E CLASSE DE SOLO DOS LOCAIS NOS DIFERENTES MUNICÍPIOS DA AVALIAÇÃO. ¹ Nº CARTOGRÁFICO OFICIAL PARA A BACIA HIDROGRÁFICA.....	81
TABELA 12. FAMÍLIAS DE MINHOCAS, RIQUEZA DE ESPÉCIES E ÍNDICES SHANNON E PIELOU EM DOIS SISTEMAS: CULTIVO DE BANANA (BC) E FLORESTA ATLÂNTICA (AF), PARA TRÊS MUNICÍPIOS DO VALE DO RIBEIRA.	85

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL.....	16
2 CAPÍTULO I: INFLUÊNCIA DO MANEJO SOBRE TEORES PSEUDOTOTAIS DE ELEMENTOS POSSIVELMENTE TÓXICOS E PERDA DE SOLO EM ÁREAS DE CULTIVO DE BANANA.	18
2.1 RESUMO.....	18
2.2 ABSTRACT	18
2.3 INTRODUÇÃO	19
2.4 MATERIAL E MÉTODOS	21
2.4.1 SOLO	23
2.4.2. PERDA DE SOLO E ESCOAMENTO SUPERFICIAL.....	24
2.4.2. INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO	26
2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
2.6 CONCLUSÕES	37
2.7 REFERÊNCIAS.....	38
3 CAPÍTULO IV: EFEITO DO SISTEMA DE CULTIVO DE BANANA SOBRE A ESTABILIDADE DE AGREGADOS E A POROSIDADE EM UM CAMBISSOLO HÁPLICO AS MARGENS DO RIO RIBEIRA DE IGUAPE – SP.	45
3.1 RESUMO.....	45
3.2 ABSTRACT	45
3.3 INTRODUÇÃO	45
3.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	47
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
3.6 CONCLUSÕES	58
3.7 REFERÊNCIAS.....	59
4 CAPÍTULO II: ANÁLISE MULTIVARIADA PARA INTERPRETAÇÃO DA MACROFAUNA EPIEDÁFICA DO SOLO EM FLORESTA ATLÂNTICA E CULTIVO DE BANANA NO VALE DO RIBEIRA - SP.....	62
4.1 RESUMO.....	62
4.2 ABSTRACT	62
4.3 INTRODUÇÃO	62
4.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	64
4.5 RESULTADOS	65

4.6 DISCUSSÃO	72
4.7 CONCLUSÕES	74
4.8 REFERÊNCIAS.....	74
5 CAPÍTULO III: OCORRÊNCIA DE MINHOCAS EM CULTIVOS DE BANANA E FLORESTA ATÂNTICA NO VALE DO RIBEIRA - SP.....	78
5.1 RESUMO.....	78
5.2 ABSTRACT	78
5.3 INTRODUÇÃO	78
5.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	80
5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	82
5.6 CONCLUSÕES	87
5.7 REFERÊNCIAS.....	87
6 CONCLUSÃO GERAL.....	91
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	91
8 REFERÊNCIAS.....	92
ANEXO 1 – VALORES BRUTOS DE ABUNDÂNCIA DE TAXONS DE MACROFAUNA AO LONGO DAS ESTAÇÕES DO ANO.	107
ANEXO 2 – VALORES MÉDIOS DE FREQUÊNCIA RELATIVA DE CLASSES DE TAMANHO DE AGREGADOS EM FUNÇÃO DAS ÁREAS E PROFUNDIDADES.....	108

1 INTRODUÇÃO GERAL

Na fruticultura mundial a banana figura na segunda posição com 114 mi t⁻¹, perdendo apenas para as citrícolas com 146 mi t⁻¹ e, considerando o consumo *in natura*, é a mais consumida. Ocupando menos de 6 mi ha⁻¹, a média da produção mundial vigora em torno de 20,2 t ha⁻¹ e vem crescendo com ganhos em produtividade sem alteração na área plantada desde 2011 (FAO, 2018).

O Brasil responde por aproximadamente 7 % da produção mundial de banana, com 35 % localizado na região Sudeste, dos quais 15 % correspondem ao estado de São Paulo, aproximadamente 1,1 mi t (IBGE 2019), equivalente a 1 % da produção mundial, sendo o Vale do Ribeira, região sul do estado, responsável por mais de 72 % desse total. A região, apesar de primariamente agrícola, possui apenas 2 % de sua área sobre o cultivo de banana, com maior concentração próxima dos corpos hídricos.

Sabe-se que o Vale do Ribeira apresenta um vasto mosaico de solos, fruto da intensa atividade geológica no passado (THEODOROVICZ E THEODOROVICZ, 2007), com mineralogia de característica metabásica com a presença de distintos elementos como Pb, Cd e Cr (OLIVERIA et al., 2002), além de um relevo intenso e variado com perdas de solo estimadas de 5 a 30 t ha⁻¹ ano⁻¹ (DALMAS, 2013).

A banana, por sua vez, demanda grande quantidade de nutrientes, principalmente K, N e P (NEPAR, 2019), devido ao seu porte e estrutura, com a adubação realizada de maneira manual na região, geralmente parcelada a cada dois ou três meses. Entretanto, os fertilizantes em geral podem carregar consigo certa proporção de elementos potencialmente tóxicos como Pb, Cd, Cr e As, além de micronutrientes como Cu, Zn, Mn e Ni (NAVA et al., 2011; KASSIR et al., 2012).

Apesar de considerada uma cultura de ciclo anual, seu rizoma é perene podendo permanecer por décadas em produção. Assim, a aplicação contínua de fertilizantes em longo prazo pode afetar ou favorecer o acúmulo de certos elementos no solo ou, de acordo com o manejo adotado, ocasionar a contaminação dos corpos d'água via escoamento superficial.

Ademais, o manejo adotado pode também afetar as comunidades edáficas presentes no ambiente, aumentando ou diminuindo a ciclagem de carbono e nutrientes e regulando a população e espécies de invertebrados (GIZZI et al., 2009; BARETTA et al., 2011), que podem afetar a dinâmica e o controle de pragas, além

de alterarem atributos físicos do solo, como porosidade e agregação, e químicos como a capacidade de troca de cátions.

Apesar da importância econômica e social da cultura, são escassos os estudos que abordem seu efeito sobre a qualidade e a dinâmica dos atributos do solo, principalmente para as principais regiões produtoras e em sistemas consolidados de longa data. Assim, esta tese teve como objetivo avaliar os efeitos promovidos pelo sistema de cultivo de banana sobre a química, física e biologia do solo em relação às áreas de Floresta Atlântica na região do Vale do Ribeira, no estado de São Paulo.

2 CAPÍTULO I: INFLUÊNCIA DO MANEJO SOBRE TEORES PSEUDOTOTAIS DE ELEMENTOS POSSIVELMENTE TÓXICOS E PERDA DE SOLO EM ÁREAS DE CULTIVO DE BANANA.

2.1 RESUMO

O empresário agrícola na bananicultura emprega manejos às atuais bases de produção que incluem aplicações de corretivos, fertilizantes e defensivos agrícolas. Além dos componentes benéficos à produção, estes insumos podem conter em sua composição elementos potencialmente tóxicos que se acumulam no solo e podem atingir os corpos hídricos. Os teores pseudototais de As, Pb, Cd, Cr, Cu e Zn e os atributos da fertilidade e granulometria do solo de bananais e fragmentos de floresta do bioma mata atlântica adjacentes às áreas de cultivo, ambos às margens do Rio Ribeira de Iguape, foram submetidos a análise de componentes principais a fim de identificar relações decorrentes do manejo nos municípios de Eldorado, Sete Barras e Registro, no Vale do Ribeira, principal região produtora de bananas do estado de São Paulo. Foram instaladas também estações de coleta de água e sedimentos provenientes do escoamento superficial, e determinada a condutividade hidráulica saturada do solo, para quantificação da perda de solo e dos teores solúveis de elementos do escoamento superficial em direção ao rio. Foram encontrados valores elevados para pH, Ca, Mg, K, P e Zn bem como Cd, Pb e Zn pseudototais em ambos os sistemas. A análise de componentes principais foi eficiente na distinção dos sistemas em função da fertilidade e dos componentes texturais do solo, sendo possível estabelecer relações entre o manejo das áreas de banana e o acúmulo de elementos potencialmente tóxicos. O manejo adotado nas áreas de cultivo e a ausência de manejo na floresta, aliados à baixa declividade e ao alto potencial de infiltração de água resultaram em valores de perda de solo insignificantes para o período avaliado.

Palavras-chave: Metais pesados. *Musa spp.*. Erosão. Análise de componentes principais. Qualidade do solo e água.

2.2 ABSTRACT

The agricultural entrepreneur in banana crops employs practices that include applications of correctives, fertilizers and pesticides. In addition to the beneficial inputs for production, these additives may contain in their composition potentially toxic elements that accumulate in the soil. Pseudo-total contents of As, Pb, Cd, Cr, Cu and Zn as well the soil fertility and particle size attributes of cultivated areas and forest fragments from the Atlantic Forest biome adjacent to the cultivation areas were subjected to principal component analysis in order to identify relationships resulting from management in the counties of Eldorado, Sete Barras and Registro, in the Ribeira Valley, the main producing region of the state of São Paulo. Water and sediment collection stations from surface runoff were also installed, and the saturated hydraulic conductivity of the soil was determined to quantify soil loss and the soluble levels of runoff elements towards to the river. High pH, Ca, Mg, K, P and Zn values were found as well as pseudo-total Cd, Pb and Zn in both systems. The principal component analysis was efficient in distinguishing systems according to fertility and soil textural components, and it was possible to establish relationships between the

management of banana crops areas and the accumulation of potentially toxic elements. The management adopted in the cultivation areas and non-tillage management in the forest, combined with the low slope and the high potential for water infiltration resulted in insignificant values of soil loss for the evaluated period.

Keywords: Keyword 1. Heavy metals. Musa spp. Runoff. Principal component analysis. Soil and water quality.

2.3 INTRODUÇÃO

O Vale do Ribeira apresenta em sua formação geológica a junção dos Grupos Açungui e Setuva (ALMEIDA, 1956; PONTES, 1982; SORES, 1987) com rochas metassedimentares metabásicas e anfibólitos de baixo grau metamórfico ao sul e alto ao norte (OLIVEIRA et al., 2002), com presença de metais em sua constituição, tanto micronutrientes quanto elementos tóxicos. Tais elementos podem constituir risco ao ecossistema e a biodiversidade regional quando se tornam disponíveis devido ao intemperismo ou pela ação antrópica (KEDE et al., 2008).

A cobertura de floresta do bioma mata atlântica foi reduzida a apenas 7 % de sua extensão original no Brasil, com o estado de São Paulo possuindo a segunda maior área de floresta atlântica do país (2,34 mil ha) ocupando 16,3 % da área do estado (INPE & ATLÂNTICA, 2018). Sua maior concentração ocorre no Vale do Ribeira, que representa o maior remanescente original e contínuo do bioma do país, com 72 % (12,3 mil km²) da área da Bacia do Ribeira, compostos de florestas ombrófilas densas, mistas e semidecíduas (BRASIL, 2017; ATLÂNTICA, 2019).

A região denominada Vale do Ribeira abrange o nordeste do Estado do Paraná e sul de São Paulo, historicamente se desenvolveu a partir da descoberta de minas de garimpo no século XVII, cultivo de arroz alagado e chá preto no século XIX por imigrantes japoneses, e no século XX com cultivo de banana, sendo o principal produto agrícola da região, com mais de 36 mil ha⁻¹ cultivados (BUENO, 2010; ABAVAR, 2015), representando 72 % da produção do estado (IBGE, 2019) e ocorrendo preferencialmente próximo aos corpos hídricos.

A região apresenta um potencial de perda de solo, estimado por Dalmas (2013), de 5 a 30 t ha⁻¹ ano⁻¹, com 47 % da área classificada como moderada suscetibilidade a movimentos de massa de solo. As perdas de solo na agricultura paulista por erosão hídrica são em média de 38 t ha⁻¹ ano⁻¹ para cultivos perenes (MEDEIROS et al., 2016), e decorrem da intensidade da chuva ser superior à

velocidade de infiltração da água (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990, LIBARDI, 1995) onde além de solo, são também levados nutrientes e outros elementos, reduzindo o efeito da adubação nas culturas e comprometendo corpos d'água (CORRÊA e DEDECEK, 2009).

A banana ocupa, na fruticultura mundial, a segunda posição, com produção de 114 mi t⁻¹ em 2018, das quais 78,6 % são oriundas da América Latina e Caribe (FAO, 2018). O Brasil é o quarto maior produtor e responsável por cerca de 7 % da produção mundial (FAO, 2018; IBGE, 2019). O estado de São Paulo é o principal produtor nacional, cultivo distribuído regularmente durante o ano em todo o território nacional (VIEIRA, 2013), produzindo mais 1,1 mi t⁻¹, representando 1% da produção mundial.

O cultivo da banana apresenta produções escalonadas durante o ano todo e exige adubação constante e intensa, tendo o potássio (K) como macronutriente de maior demanda, seguido por nitrogênio (N) e fósforo (P) (BORGES et al., 2002; RAIJ et al., 2011). Além de N, P e K, os fertilizantes fosfatados e potássicos podem conter micronutrientes como cobre (Cu), manganês (Mn), zinco (Zn), níquel (Ni) entre outros (SILVA et al, 2012), bem como Elementos Potencialmente Tóxicos (EPT) como cádmio (Cd), chumbo (Pb), cromo (Cr) e mercúrio (Hg) (GABE & RODELLA, 1999; BIZZARO et al., 2008; CHEN et al., 2008; NAVA et al., 2011; KASSIR et al., 2012). Estes elementos podem ser provenientes da rocha de origem devido a não purificação no processo de manufatura do fertilizante (AMARAL SOBRINHO et al., 1992) ou de resíduos industriais introduzidos na formulação do fertilizante por seu baixo custo (GOLÇALVES JUNIOR, 2002).

O processo de disponibilização de EPT para a solução do solo a partir do material de origem é, geralmente, lento e depende de concentrações na solução que alterem a constante de equilíbrio do mineral (LINDSAY, 1979). Já na adição de EPT ao solo via adubação, sua solubilização pode ocorrer pelo aumento da concentração de cátions concorrentes às cargas da argila ou por alterações químicas no solo, como a acidificação ou o incremento de ácidos orgânicos (KRISHNAMURTI et al., 1997). Entretanto, sua mobilidade no solo é baixa, por apresentarem grande afinidade as cargas das argilas e pela possibilidade de complexos do tipo esfera interna, diminuindo ainda mais a possibilidade de disponibilização dos mesmos na fração trocável (SPOSITO, 1989; AMARAL SOBRINHO et al., 1998).

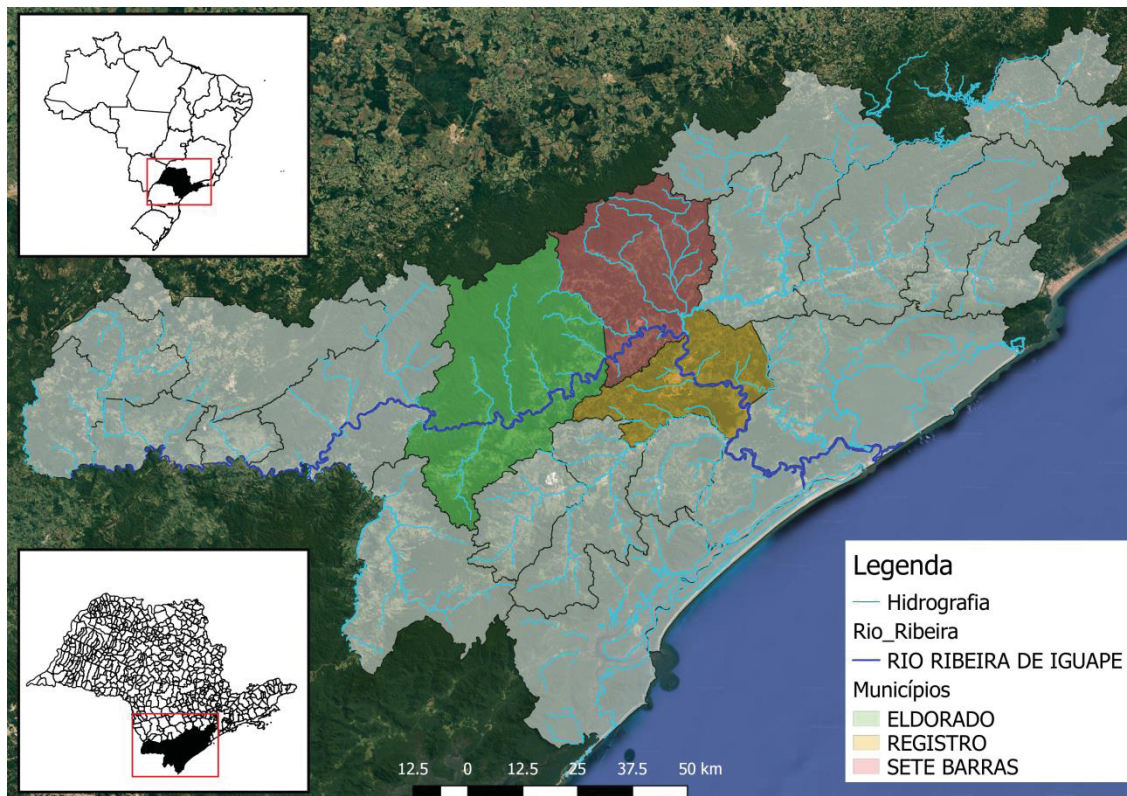
Assim, as aplicações intensas e contínuas de fertilizantes e corretivos da acidez ao longo dos anos podem favorecer o acúmulo e disponibilidade dos EPT no solo, comprometendo cursos hídricos e a cadeia trófica. Diante do exposto, este trabalho buscou identificar a influência do manejo em áreas de cultivo de banana sobre os teores pseudototais de EPT, utilizando a análise de componentes principais, e quantificar a perda de solo e elementos solúveis no escoamento superficial, tendo como referência áreas de floresta Atlântica no Rio Ribeira de Iguape.

2.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Vale do Ribeira às margens do Rio Ribeira de Iguape, na região do “baixo ribeira” (próximo à foz do rio), nos municípios de Eldorado, Sete Barras e Registro (Figura 1), considerando em cada município dois sistemas distintos: Floresta Atlântica em estágio de regeneração transicional inicial para médio (Floresta) e sistema de cultivo de Banana variedade Nanica (Cavendish AAA) (Tabela 1), ambos adjacentes e localizados às margens do rio Ribeira de Iguape, todos sobre Cambissolos Háplicos Tb Eutróficos (LEPSCH, 1999; ROSSI, 2017).

Foram selecionadas áreas comerciais convencionais de banana pertencentes a produtores distintos em cada município, com produção comercial consolidada de longa duração nas áreas (Tabela 1), e manejo de solo, fitossanitário e de tratamentos culturais realizados pelos próprios produtores como regem as indicações técnicas vigentes (SALOMÃO & SIQUEIRA, 2015; FERREIA et al., 2016). As áreas de floresta, cedidas para este estudo e utilizadas como referência comparativa às áreas de banana, corresponderam a áreas de preservação permanentes (APP) em estágio de transição sucessional de inicial à intermediário. Tais áreas, antes do reflorestamento, eram utilizadas como pastagem para rebanhos bovinos e bubalinos.

FIGURA 1. BACIA DO RIO RIBEIRA DE IGUAPE, COM DESTAQUE PARA A LOCALIZAÇÃO DOS MUNICÍPIOS DE ELDORADO, SETE BARRAS E REGISTRO.



FONTE: O autor (2019).

TABELA 1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-CLIMÁTICA DAS ÁREAS AMOSTRADAS PARA CADA SISTEMA (FLORESTA E BANANA) PARA OS MUNICÍPIOS DE ELDORADO, SETE BARRAS E REGISTRO - SP.

Município	Área	Eldorado		Sete Barras		Registro	
		Floresta ¹	Bananal	Floresta	Bananal	Floresta	Bananal
Idade do sistema (anos)		30+	50	35+	15 ²	45+	40
Coordenadas	Latitude	24°29'57"S		24°23'34"		24°26'29"	
	Longitude	48°02'48"O		45°53'36"		47°49'22"	
	Altitude	28 m		15 m		13 m	
Declividade média (%)		6,39±0,4	4,59±1,8	4,23±1,0	3,42±0,5	5,31±1,3	4,50±0,9
Clima (Köppen)		Am		Af		Af	
	Mínima	53,4		57,0		59,2	
Precipitação (mm)	Média	126,8		133,2		128,3	
	Máxima	244,3		240,5		241,1	
	Anual	1521,5		1634,9		1539,9	
Temperatura (°C)	Mínima	12,6		13,0		12,9	
	Média	23,9		24,3		24,2	
	Máxima	33,8		34,2		34,1	

¹Tempo mínimo estimado do sistema. ²Tempo decorrido da reforma do bananal, considerando revolvimento de solo e replantio de mudas. Am: tropical húmido com mês mais seco inferior a 60 mm de pluviosidade. Af: tropical húmido com mês mais seco superior a 60 mm de pluviosidade.

FONTE: O autor (2019).

2.4.1 Solo

Foram coletadas amostras deformadas, com trado tipo “holandês”, na faixa de profundidade de 0,0 a 0,2 m. Cada amostra foi composta de quatro subamostras coletadas em sistema quadrangular, totalizando cinco amostras compostas por sistema e 10 por município. A amostragem foi realizada paralelamente à margem do rio, respeitando-se uma distância mínima de cinco e máxima de 30 metros da margem, com distância mínima entre cada amostra composta de 25 metros.

As amostras foram secas em estufa a 45° C até atingirem massa constante, tamizadas em peneira de 2 mm e analisadas segundo metodologia proposta por Raij et al. (2001) quanto aos valores de pH em CaCl₂, matéria orgânica (M.O.), cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), alumínio (Al), capacidade de troca de cátions (CTC), soma de bases (SB), saturação por bases (V), fósforo (P) por resina trocadora de ânions, acidez potencial (H+Al), ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu) e zinco (Zn), com leitura por espectrometria de emissão atômica por plasma acoplado indutivamente (ICP-AES). Os teores de areia, silte e argila foram determinados pelo método da pipeta (EMBRAPA, 2017).

Os teores pseudototais dos EPT: As, Cd, Cr, Pb, Ni, Cu e Zn foram determinados pelo método USEPA 3051 com base na metodologia de digestão ácida com HCl, HNO₃ e H₂O₂ (USEPA, 1996), segundo determinação da CETESB (CASARINI, 2001), e leitura por espectrometria de emissão atômica (ICP-AES). Os resultados obtidos foram então comparados aos valores limites de referência de qualidade (VRQ), de prevenção (VP) e intervenção agrícola (VI agrícola) para o estado de São Paulo, estabelecidos pela CETESB (2016).

Para análise dos dados a normalidade dos resíduos foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk ($p > 0.05$). Quando necessário, os dados foram transformados pela potência ótima de Box-Cox. Na sequência, procedeu-se a padronização para média=0 e variância=1. Foi empregado o método multivariado da análise de componentes principais (ACP), a partir da matriz de correlação dos dados, utilizando-se o *software* R, versão 3.6.1 (R Core Team, 2019).

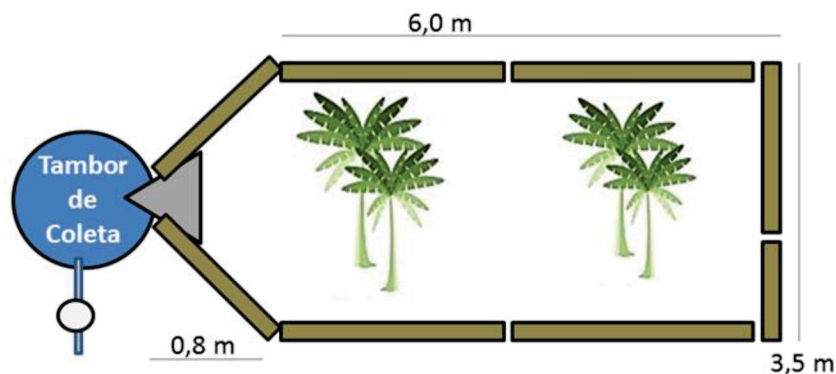
A análise de componentes principais busca maximizar a variância explicada usando combinações lineares, não correlacionadas entre si, que melhor descrevam a variabilidade dos dados (SILVA, 2016; MANLY, 2008). Cada combinação linear constitui um componente principal responsável por parte da variância do conjunto de dados (LATTIN et al., 2011).

2.4.2. Perda de solo e escoamento superficial

Nas áreas selecionadas para a amostragem, e respeitando-se os mesmos pontos utilizados para coleta de amostras de solo, foram instaladas estações de coleta para mensuração da perda de água e sedimentos provenientes do escoamento superficial, denominadas parcelas de erosão de Wischmeier (MEYER & WISCHMEYER, 1969), adaptadas em função dos sistemas, totalizando 30 estações.

As estações de coleta possuíram uma área de 22,4 m², sendo uma fração de área retangular de 3,5 m de largura por 6,0 de comprimento anexa à outra fração área triangular para direcionamento das amostras de base 3,5 m e comprimento de 0,80 m, instaladas no sentido do declive (HUDSON, 1993; CAVICHILO et al., 2005) e englobou, pelo menos, duas famílias de bananeira, para o caso da área cultivada, e outras espécies no caso da floresta, como indicado no esquema da Figura 2. As estações de coleta foram delimitadas por placas de tábuas de pinus e a água e os sedimentos do escoamento superficial foram conduzidos por uma canaleta de saída acoplada a um galão de armazenagem de 60 l.

FIGURA 2. CROQUI DA ESTAÇÃO DE COLETA DE SEDIMENTOS E ÁGUA DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL.



FONTE: O autor (2019).

Para medir a quantidade de água escoada foram consideradas as medidas internas do tambor, sendo a base em forma de tronco de cone invertido (Equação 1) e o corpo cilíndrico ($\pi \cdot r^2 \cdot h$) e calculado o volume com auxílio de uma trena à partir da altura da lâmina d'água encontrada (h).

$$V = \left(\frac{\pi \cdot h}{3} \right) \cdot (r^2 + r \cdot R + R^2)$$

Equação 1.

Sendo V o volume do tronco de cone (cm^3), h a altura (cm), R e r o maior e menor raio (cm) respectivamente e $\pi = 3,1415$.

Para a determinação do escoamento superficial, foram realizadas campanhas mensais de amostragem, de modo que o volume encontrado (l) foi transformado em lâmina considerando-se a razão volume pela área da estação de coleta e extrapolado para $l \text{ ha}^{-1}$. O coeficiente de escoamento superficial (CES) será obtido para cada época de coleta considerando-se a razão da lâmina obtida ($l \text{ m}^{-2}$) pela precipitação acumulada no período ($l \text{ m}^{-2}$) (RODRIGUES et al., 2015).

A quantidade de sedimento foi medida, após a coleta de alíquotas de água para análise, a partir da retirada da massa superior de água utilizando-se da lei de Stokes para determinação da altura da mesma (Equação 2), sem prejuízo para a fração argila $\geq 2 \mu\text{m}$. Assim, considerou-se em média $1,25 \text{ cm hora}^{-1}$ a velocidade de sedimentação (V_s) das partículas de argila, realizando-se a coleta não decorrendo nenhum evento pluviométrico significativo num período anterior há 24 horas, no mínimo.

$$V_s = \frac{9,81 * (\rho_p - \rho_w) * d^2}{18 * \mu}$$

Equação 2.

Onde V_s é a velocidade de sedimentação (m s^{-1}), $9,81$ sendo a aceleração da gravidade (m s^{-2}), ρ_p a densidade de partícula (kg m^{-3}), ρ_w a densidade da água (kg m^{-3}), d o diâmetro da partícula (m) e μ a viscosidade da água ($\text{kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$).

Após, os sedimentos foram resuspendidos em solução e retirados com auxílio de bquer e ao final por sucção, e armazenados em tambores de 5 L para nova sedimentação. Após, a massa de água foi retirada visualmente por sucção, considerando-se o limite visual a transparência da água. O líquido restante foi acondicionado em recipientes e secado em estufa de circulação forçada de ar em temperatura de 45°C até atingir massa constante.

Para determinação da perda de solo em kg m^{-2} , considerou-se a razão da massa de sedimento seco pela área da estação de coleta, e extrapolou-se o valor para kg ha^{-1} , utilizando-se a média das repetições para caracterização de cada sistema.

As amostras de água provenientes do escoamento foram analisadas por um laboratório especializado e certificado em relação aos teores solúveis de alumínio (Al), antimônio (Sb), arsênio (As), bário (Ba), berílio (Be), boro (B), cádmio (Cd),

chumbo (Pb), cloreto (Cl^-), cloro (Cl), cobre (Cu), cromo (Cr), ferro (Fe), fluoreto (F^-), fosforo (P), manganês (Mn), mercúrio (Hg), níquel (Ni), nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-), nitrogênio amoniacal (N-NH_4), sulfato (SO_4^{2-}), sulfeto (R-S^{-2}) e zinco (Zn) solicitados pela resolução CONAMA, nº 357.

2.4.2. Infiltração de água no solo

Considerando a capacidade de infiltração de água no solo como um fator determinante no processo de perda de solo e escoamento superficial, foi realizada a determinação da condutividade hidráulica saturada do solo (K_{sat}) para as profundidades de 0-5, 5-10 cm e para a camada de 0-20 cm, respeitando os mesmos pontos amostrais para coleta de solo. A condutividade hidráulica do solo saturado é uma medida relacionada ao fluxo e a facilidade do transporte de água e solutos ao longo do perfil, sendo função da geometria, quantidade e principalmente da continuidade dos poros (MESQUITA E MORAES, 2004).

Para a determinação do K_{sat} utilizaram-se amostras indeformadas coletadas em anéis de aço inox com aproximadamente 50 mm de altura e 57 mm de diâmetro. As amostras foram submetidas à saturação em água deaerada até 2/3 da altura do anel por 48 h. O K_{sat} foi determinado pela metodologia da carga decrescente (REYNOLDS & ELRICK, 2002), em função do tempo de deslocamento de uma coluna de água entre a altura de 2 medidores dispostos sobre a amostra saturada.

Os resultados foram obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F e, quando significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey teste t a $p < 0,05$.

2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O cultivo de banana, apresentou os maiores valores para pH, P, K, Ca, Mg e CTC em relação às áreas de floresta, com exceção de Fe e Mn que respondem negativamente ao aumento do pH (Tabela 2 e Figura 3) (SANTIN et al., 2013), e foram, portanto, maiores no sistema floresta.

A fertilidade das áreas de floresta é considerada de média a alta (NEPAR, 2019), mesmo sem receberem prática alguma de correção ou adubação. Resultados semelhantes já foram reportados por Sakai e Lepsch (1984) e Berg et al. (1987) em levantamentos para classificação de solos próximos das áreas de várzea da região, caracterizando-os por teores médios naturais de Ca e K e altos teores de Mg.

TABELA 2. ATRIBUTOS DA FERTILIDADE E GRANULOMETRIA E SEUS VALORES BALIZADORES DE INTERPRETAÇÃO NAS ÁREAS DE FLORESTA E CULTIVO DE BANANA EM TRÊS MUNICÍPIOS DO VALE DO RIBEIRA – SP.

Local	Sistema	pH CaCl ₂		MO g dm ⁻³		P-resina mg dm ⁻³		K mmol _c dm ⁻³	
Eldorado	Floresta	5,9 ± 0,5	ns	30 ± 6,4	ns	11 ± 4,8	B	2,0 ± 0,7	ns
	Banana	6,1 ± 0,3	ns	28 ± 2,9	ns	84 ± 45,2	A	2,3 ± 0,5	ns
Sete Barras	Floresta	5,8 ± 0,3	B	35 ± 10,4	ns	21 ± 6,5	B	2,3 ± 0,6	B
	Banana	6,6 ± 0,2	A	29 ± 4,8	ns	168 ± 41,5	A	11,2 ± 5,6	A
Registro	Floresta	4,6 ± 0,3	B	23 ± 5,7	B	15 ± 5,1	B	1,5 ± 0,4	B
	Banana	6,2 ± 0,5	A	33 ± 7,9	A	122 ± 29,5	A	4,3 ± 2,2	A
Recomendado ¹		5,5 – 6,0		16 - 60		31 - 60		3,1 – 6,0	
Local	Sistema	Ca mmol _c dm ⁻³		Mg mmol _c dm ⁻³		S mg dm ⁻³		CTCef mmol _c dm ⁻³	
Eldorado	Floresta	74 ± 9,8	B	25 ± 3	B	0,7 ± 1,1	ns	116 ± 10,3	B
	Banana	98 ± 6,1	A	39 ± 10,5	A	0,9 ± 2,3	ns	155 ± 13,2	A
Sete Barras	Floresta	88 ± 11	B	26 ± 3,5	B	1,0 ± 2,6	ns	132 ± 16,1	B
	Banana	117 ± 8,2	A	40 ± 7,6	A	1,1 ± 2,3	ns	180 ± 11,2	A
Registro	Floresta	42 ± 22,5	B	15 ± 4,7	B	1,2 ± 2,3	A	84 ± 28,2	B
	Banana	103 ± 14,9	A	55 ± 10	A	0,7 ± 3,0	B	178 ± 23,7	A
Recomendado ¹		> 7,0		> 8,0		-		-	
Local	Sistema	Fe mg dm ⁻³		Mn mg dm ⁻³		Cu mg dm ⁻³		Zn mg dm ⁻³	
Eldorado	Floresta	54 ± 15,6	ns	46 ± 19,8	ns	2,9 ± 0,7	B	8 ± 2,7	ns
	Banana	99 ± 54,4	ns	33 ± 8,8	ns	5,1 ± 1,1	A	12 ± 3,3	ns
Sete Barras	Floresta	94 ± 28,7	A	55 ± 13,2	A	4,2 ± 1,4	ns	11 ± 3,4	A
	Banana	54 ± 6,6	B	24 ± 2,7	B	4,5 ± 1,4	ns	19 ± 5,2	B
Registro	Floresta	94 ± 23,1	A	47 ± 17,3	A	2,5 ± 1,4	ns	7 ± 7,2	ns
	Banana	60 ± 15,7	B	22 ± 10,3	B	2,6 ± 1,4	ns	10 ± 5,6	ns
Recomendado ¹		> 12,0		> 5,0		> 0,8		> 1,2	
Local	Sistema	B mg dm ⁻³		Areia %		Argila %		Silte %	
Eldorado	Floresta	0,18 ± 0,05	ns	40,8 ± 10,9	A	29 ± 5	ns	29 ± 6,6	B
	Banana	0,19 ± 0,06	ns	16,0 ± 4	B	33 ± 2,3	ns	50 ± 2,6	A
Sete Barras	Floresta	0,23 ± 0,07	ns	29,8 ± 19,7	ns	30 ± 3,9	B	39 ± 16,6	ns
	Banana	0,38 ± 0,14	ns	9,5 ± 3,6	ns	40 ± 4,9	A	50 ± 3,9	ns
Registro	Floresta	0,13 ± 0,02	B	49,2 ± 26,6	ns	25 ± 13,1	B	25 ± 13,9	ns
	Banana	0,23 ± 0,05	A	22,7 ± 10,7	ns	44 ± 6,6	A	33 ± 11,1	ns
Recomendado ¹		> 0,6		-		-		-	

¹Classe alta para teores do solo segundo o manual de adubação e calagem para o estado de São Paulo (Raij et al., 1997). Letras maiúsculas representam a comparação entre os sistemas para o mesmo município a p<0,05 pelo teste T.

FONTE: O autor (2019).

Estes autores atribuíram a alta fertilidade natural à posição que o solo ocupa na paisagem, sendo suscetível à deposição de sedimentos tanto de montante quanto em episódios de cheias/enchentes do Rio, caracterizado como de meandros (PAES, 2014). Neste sentido, é possível confirmar com base no mapa geológico do estado de São Paulo (CPRM, 2006), que as áreas possuem característica de associações magmáticas alcalinas e litotipo deposicional de cascalho, areia, silte e argila, com o entorno caracterizado pela presença principalmente de rochas

calcissilicáticas como anfibólitos (hornblenda e plagiocásio cálcico) e xisto, além de albitas, cloritas, gnaisses, granitos, biotitas e demais minerais componentes de rochas ultrabásicas (CPRM, 2006).

Por apresentar expressivo acúmulo de biomassa e elevada exportação de massa/nutrientes em curtos períodos de tempo, a bananeira demanda de intensa e contínua adubação ao longo de seu ciclo (MELO et al., 2010; NOMURA et al., 2016), entretanto, quando considerados os resultados obtidos nas áreas (Tabela 2), de acordo com Raij et al. (1997) os valores médios encontram-se classificados com baixa acidez e muito baixa acidez (pH em CaCl_2); concentrações consideradas alta e muito alta para fósforo (P-resina); médio a muito alto para K; baixo e médio para B, respectivamente para os sistemas Floresta e Banana.

As demais concentrações médias de Ca, Mg, Fe, Mn, Cu e Zn para ambos os sistemas são classificados como altos (Tabela 2), o que podem incorrer em desbalanço nutricional, com possibilidade de perda de produtividade e predisposição à doenças (FURTADO et al., 2009; HUBER et al., 2012, FREITAS et al., 2015), no caso do cultivo de banana. Quanto a CTC, os valores superiores no sistema banana decorreram do manejo da adubação, que sustenta os altos teores de bases do solo e o acúmulo de material orgânico aportado pela cultura.

Os elevados teores de Zn e Cu (Tabela 2), além do solo como fonte, podem advir do manejo fitossanitário, como demonstrado por Vieira Neto et al. (2014) em oliveiras e também por Brunetto et al. (2014) e Hummes et al. (2019) em videiras, e Rozane et al. (2015) em citros. Dadas as características climáticas da região (Tabela 1), cuja banana “Nanica” é suscetível à Sigatoka Negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet), principal doença que acomete a cultura no mundo, a aplicação de fungicidas em escalas curtas de tempo nas áreas de banana torna-se prática necessária e recomendada com base nos critérios técnicos (MORAES et al., 2016), contudo aplicações excessivas podem favorecer o incremento de Cu e Zn no solo.

Com relação à textura, verificaram-se diferenças nas frações com valores superiores para areia e inferiores para silte entre os sistemas para Eldorado e valores superiores de argila para o sistema banana em Sete Barras e Registro (Tabela 2).

Entre os municípios, Registro contém a maior dispersão para os teores da fração areia, apresentando o maior teor desta fração no sistema floresta (90,2 %) e o menor teor no sistema banana (49,8 %). Os teores médios da fração grosseira

variam de 69,4 a 74,5 % no sistema floresta e 55,8 a 66,8 % no sistema banana. Resultados semelhantes foram obtidos por Batista et al. (2018) em trabalho realizado em solos do município de Adrianópolis, região do Alto Ribeira, que identificaram altos teores de fração grosseira variando de 63 a 93 % em três áreas distintas, sendo que esta variação foi atribuída aos diferentes materiais de origem, porém, todas no domínio geomorfológico Açungui, assim como as áreas amostradas neste trabalho.

Para os elementos potencialmente tóxicos (EPT), concentrações médias superiores ao valor de prevenção foram encontradas em para Cd no cultivo de banana em Sete Barras, Pb em ambos os sistemas em Eldorado (sugerindo a presença natural no solo) e Zn para o cultivo de banana em Eldorado e Sete Barras (Tabela 3) e sua ocorrência foi concomitante com o alto pH (>6,0) e os altos teores de Ca, Mg e Zn na fração trocável (Raij et al. 1997), indicando um possível efeito de manejo (Figura 3).

TABELA 3. ELEMENTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS E SEUS VALORES BALIZADORES DE INTERPRETAÇÃO PARA ÁREAS DE FLORESTA E CULTIVO DE BANANA EM TRÊS MUNICÍPIOS DO VALE DO RIBEIRA – SP.

Local	Sistema	As _{pt} mg kg ⁻¹		Cd _{pt} mg kg ⁻¹		Cr _{pt} mg kg ⁻¹		Pb _{pt} mg kg ⁻¹	
Eldorado	Floresta	6,4 ± 2,3	ns	0,8 ± 0,2	B	23,4 ± 4	B	86,5 ± 47,8	ns
	Banana	7,2 ± 2,3	ns	1,1 ± 0,1	A	30,8 ± 5,7	A	85,9 ± 46,6	ns
Sete Barras	Floresta	6,0 ± 1,2	ns	0,9 ± 0,2	B	27,7 ± 5,8	B	64,1 ± 14,9	ns
	Banana	8,2 ± 4,1	ns	1,4 ± 0,1	A	39,8 ± 5,4	A	68,9 ± 93,7	ns
Registro	Floresta	4,9 ± 3	ns	0,8 ± 0,4	ns	26,8 ± 13,1	ns	63,8 ± 37	A
	Banana	4,4 ± 1,3	ns	0,9 ± 0,2	ns	31,3 ± 6,9	ns	22,6 ± 7,6	B
Recomendado ²		15 / 35		1,3 / 3,6		75 / 150		72 / 150	
Local	Sistema	Ni _{pt} mg kg ⁻¹		Cu _{pt} mg kg ⁻¹		Zn _{pt} mg kg ⁻¹			
Eldorado	Floresta	11,6 ± 1,7	B	24,3 ± 4,5	B	76 ± 16,3	B		
	Banana	16,3 ± 2,3	A	34,5 ± 4,8	A	104 ± 12,6	A		
Sete Barras	Floresta	14,2 ± 2,8	B	29,9 ± 7,5	ns	85 ± 18,3	B		
	Banana	18,2 ± 1,5	A	36,0 ± 7,1	ns	126 ± 24,3	A		
Registro	Floresta	12,1 ± 7,2	ns	19,9 ± 11,6	ns	58 ± 32	ns		
	Banana	11,2 ± 4,6	ns	21,9 ± 8,2	ns	73 ± 37,9	ns		
Recomendado ²		30 / 190		60 / 760		86 / 1900			

²Valores orientadores para o solos no estado de São Paulo (Valor de Prevenção/Valor de Intervenção agrícola) (CETESB, 2016). _{pt}: pseudototal. Letras maiúsculas representam a comparação entre os sistemas para o mesmo município a p<0,05 pelo teste T.

FONTE: O autor (2019).

A análise de componentes principais (ACP) explicou 70,11 % da variância dos dados contida nos dois primeiros componentes principais (CP), sendo 50,36 e 18,74 % distribuídos no CP 1 e 2 respectivamente (Tabela 4).

A maioria das variáveis obtidas correlacionaram-se com o CP 1, com exceção dos teores de Fe, Mn e Pb. No entanto, os teores de Mn e Pb definiram o CP 2. Ainda, os teores de Mg e Cu correlacionaram-se com ambos os CPs e os teores de MO não influenciaram nenhum dos primeiros componentes (Tabela 4 e Figura 3).

A distinção entre o cultivo de banana e a floresta é reforçada pelo biplot entre os componentes 1 e 2 (Figura 3B e 3A), que ao complementar as Tabelas 2, 3 e 4, justificam a distinção entre os sistemas em função tanto da fertilidade como também da granulometria, com maiores teores de argila nas áreas de cultivo de banana e areia nas áreas de floresta (Figura 3A).

TABELA 4. COMPONENTES PRINCIPAIS (PCS), AUTOVALORES, PORCENTAGEM DA VARIÂNCIA EXPLICADA E PROPORÇÃO ACUMULADA (%) PELOS COMPONENTES, E PROPORÇÃO DA VARIÂNCIA (%) E CORRELAÇÃO PARA AS VARIÁVEIS DENTRO DE CADA COMPONENTE.

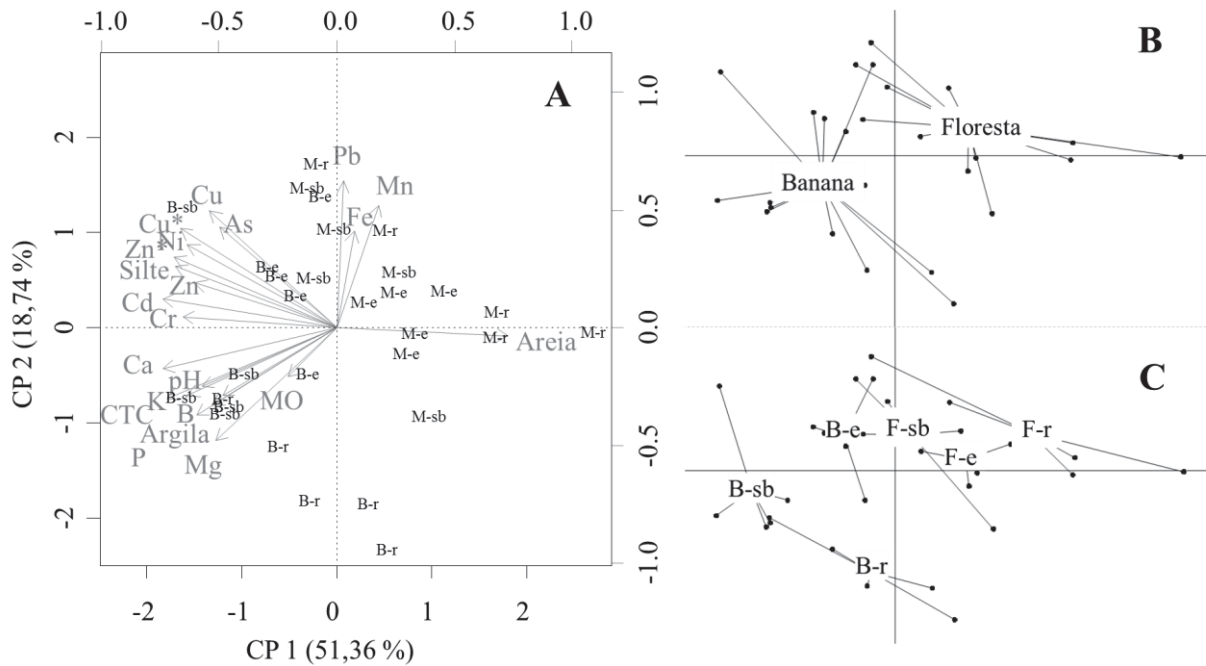
Componente		1			2		
Autovalor		11,30			4,12		
Variância (%)		51,36			18,74		
% Acumulada		51,36			70,11		
Variáveis		Autovetores	% Variância para os autovetores (Correlação)		Autovetores	% Variância para os autovetores (Correlação)	
Fertilidade	pH	0,21	4,53	(0,72)	2,36	2,36	(-0,31)
	MO	0,08	0,59	(0,26)	1,65	1,65	(-0,26)
	P	0,22	4,94	(0,75)	5,17	5,17	(-0,46)
	K	0,24	5,54	(0,79)	3,11	3,11	(-0,36)
	Ca	0,28	7,61	(0,93)	1,14	1,14	(-0,22)
	Mg	0,19	3,67	(0,64)	8,75	8,75	(-0,60)
	CTC	0,27	7,22	(0,90)	3,36	3,36	(-0,37)
	Fe	-0,03	0,07	(-0,09)	6,46	6,46	(0,52)
	Mn	-0,07	0,45	(-0,22)	10,29	10,29	(0,65)
	Cu	0,20	4,06	(0,68)	9,35	9,35	(0,62)
	Zn	0,23	5,06	(0,76)	1,39	1,39	(0,24)
Granulometria	B	0,18	3,29	(0,61)	3,16	3,16	(-0,36)
	Ni	0,24	5,55	(0,79)	4,76	4,76	(0,44)
	Areia	-0,27	7,34	(-0,91)	0,04	0,04	(-0,04)
	Argila	0,20	3,90	(0,66)	4,06	4,06	(-0,41)
	Silte	0,26	6,51	(0,86)	2,55	2,55	(0,32)
EPT	As	0,18	3,41	(0,62)	6,96	6,96	(0,54)
	Cd	0,27	7,55	(0,92)	0,57	0,57	(0,15)
	Cr	0,24	5,94	(0,82)	0,09	0,09	(0,06)
	Pb	-0,01	0,01	(-0,03)	14,65	14,65	(0,78)
	Cupt	0,25	6,13	(0,83)	6,73	6,73	(0,53)
	Znpt	0,26	6,64	(0,87)	3,39	3,39	(0,37)
Total		-	100,00	-	-	100,00	-

FONTE: O autor (2019).

Quanto aos EPT, verifica-se que os maiores teores estão relacionados às áreas de cultivo de banana, principalmente para Cd, com maior correlação dentre os

autovetores (Tabela 4), seguido de Zn, Cu, Cr e As. Para Pb, foi observado um comportamento diferenciado, com maior correlação com Mn e Fe nas áreas de floresta (Figura 3), enquanto os demais micronutrientes permaneceram fortemente correlacionados às áreas de cultivo de banana.

FIGURA 3. BIPLLOT DOS DOIS PRIMEIROS COMPONENTES PRINCIPAIS COM TODAS AS OBSERVAÇÕES (A) E SUAS PROJEÇÕES EM RELAÇÃO ÀS ÁREAS DE FLORESTA – F, E BANANA – B, (B) E EM RELAÇÃO AOS MUNICÍPIOS DE ELDORADO (e), SETE BARRAS (sb) E REGISTRO (r) (C).



FONTE: O autor (2019).

Diversos estudos já demonstraram a influência do material de origem nos teores pseudototais de elementos metálicos no solo (ACOSTA et al, 2011; RIVERA et al., 2015; MELO et al., 2017; ALTHAUS et al., 2018). No trabalho de Batista et al. (2018) os autores identificaram os minerais primários e secundários como fontes de Pb na fração grosseira (areia+silte) de Cambissolos da região do Alto Ribeira.

Tais autores identificaram micas trioctaedrais (mineral primário) formadas em processos metamórficos onde o Pb pode, por substituição isomórfica, ocupar a posição do Mg^{2+} ou Fe^{2+} na lâmina octaedral ou posicionar-se no poro ditrigonal usualmente ocupado por K^+ . Já em minerais secundários das frações silte e areia, o Pb foi detectado precipitado com outros elementos como Al, P, Ca e Ti, além de precipitados de Pb em óxidos de Fe e Mn (BATISTA et al. 2018).

A relação entre Pb e óxidos de Mn e Fe é coerente com a formação de complexos de esfera interna (AMARAL SOBRINHO et al., 2009), considerando-se o pH médio das áreas de floresta de 5.4 e o ponto de carga zero (PCZ) dos óxidos de Mn variando entre 1,5 a 7,0 (McKENZIE, 1989).

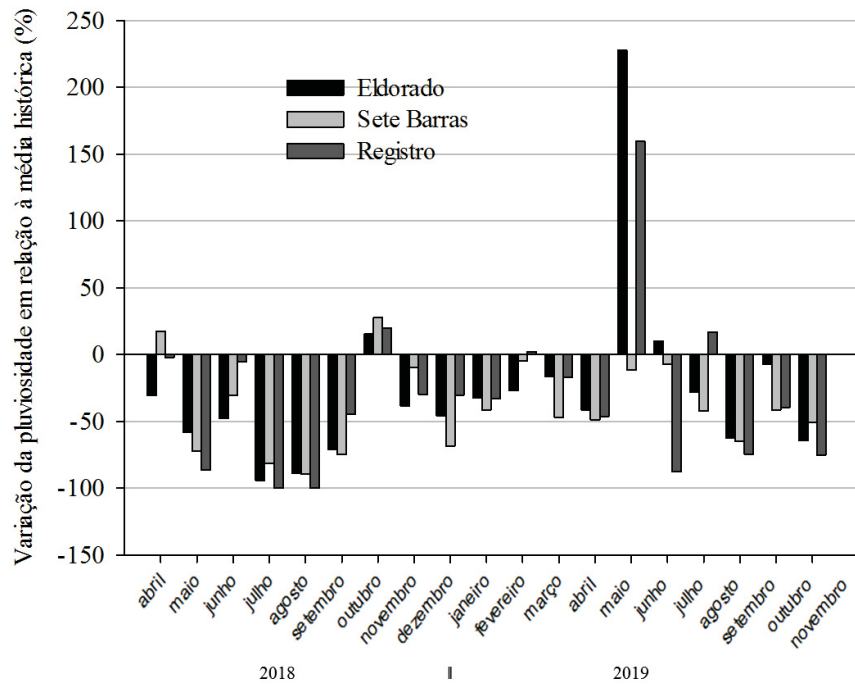
Entretanto, as Figuras 3B e 3C indicam que a relação EPT-silte não deriva exclusivamente do material de origem, visto que tal correlação é maior nas amostras do sistema de cultivo da banana. Além disto, existe uma distinção entre os teores de EPT e os atributos da fertilidade (pH, Ca, Mg, K, P), com as áreas de banana nos municípios de Sete Barras e Registro mais associadas ao binômio fertilidade+argila e na área localizada no município de Eldorado mais associadas ao binômio EPT+silte, corroborando a indicação da presença de EPT nas áreas de cultivo de banana com possível contribuição do manejo da adubação.

O regime pluviométrico para os municípios avaliados apresentou uma redução média de 26,4, 39,1 e 30,2 % para Eldorado, Sete Barras e Registro, respectivamente, no período de abril de 2018 a outubro de 2019 (Figura 4), em relação à média histórica que varia de 1500 e 1600 mm ano⁻¹ para a região (Tabela 1). A redução mais expressiva das chuvas ocorreu nos meses de maio, julho, agosto e setembro, para o ano de 2018, com redução na precipitação acima de 70 %. Já o ano de 2019 apresentou redução superior a 50 % no regime de chuvas nos meses de agosto e outubro. Um pico expressivo de chuvas foi observado em maio de 2019, apenas para os municípios de Eldorado e Registro.

Em função da elevada redução pluviométrica apresentada no período, a obtenção de amostras foi comprometida, de modo que no decorrer de 19 campanhas de coleta, apenas três foram frutíferas na obtenção de amostras de água e sedimentos (Tabela 5), totalizando 20 amostras. Com base em tais resultados, foi possível estimar as médias para as perdas de solo entre os sistemas nos diferentes municípios.

Em 2018, nos meses de abril e maio, devido à intensa redução pluviométrica (Figura 4), não foram computados carregamento de sedimentos e o escoamento superficial foi superior a 1 m³ ha⁻¹ mês⁻¹, resultando em um coeficiente de runoff, relação do volume de chuva convertido em escoamento, próximo a zero.

FIGURA 4. RELAÇÃO ENTRE A PLUVIOSIDADE OBTIDA E A MÉDIA HISTÓRICA PARA OS MUNICÍPIOS DE ELGORADO, SETE BARRAS E REGISTRO NO PERÍODO DE ABRIL DE 2018 A NOVEMBRO DE 2019.



FONTE: O autor (2019).

TABELA 5. CAMPANHAS, PERÍODOS DE AMOSTRAGEM, NÚMERO DE AMOSTRAS OBTIDAS, ESCOAMENTO SUPERFICIAL, COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL (CES) E PERDA DE SOLO POR SISTEMA E EM CADA MUNICÍPIO.

Coleta	Data	Local	Sistema	Nº de amostras obtidas	Escoamento Superficial $m^3 ha^{-1} mês^{-1}$	CES %	Perda de Solo $kg ha^{-1}$
1	Abr-Mai	Eldorado	Floresta	1	1.38	0.39	0.00
			Banana	1	0.27	0.08	0.00
		Sete Barras	Floresta	0	0.00	0.00	0.00
			Banana	2	0.77	0.31	0.00
		Registro	Floresta	0	0.00	0.00	0.00
			Banana	0	0.00	0.00	0.00
2	Dez-Jan	Eldorado	Floresta	2	28.36	3.26	21.88
			Banana	2	31.91	3.67	17.41
		Sete Barras	Floresta	1	17.48	3.24	14.29
			Banana	2	19.50	3.61	9.60
		Registro	Floresta	0	18.74	1.80	15.18
			Banana	2	0.00	0.00	0.00
3	Abr-Mai	Eldorado	Floresta	2	7.10	0.26	6.70
			Banana	0	0.00	0.00	0.00
		Sete Barras	Floresta	1	4.82	0.88	0.00
			Banana	2	4.31	0.78	2.68
		Registro	Floresta	1	6.34	0.85	3.57
			Banana	1	3.30	0.44	0.00
Total				20			

FONTE: O autor (2019).

Já para a transição do ano de 2018 e 2019, apesar de reduzidas as precipitações, o escoamento superficial resultou valores superiores a $15 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ mês}^{-1}$, alcançando $31,91 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ no sistema de Banana em Eldorado. Entretanto, apesar do aumento no volume de escoamento superficial, esse valor representou menos de 5 % do volume de chuvas para o mês (CES), resultando em valores de perda de solo entre 9,6 e $21,8 \text{ kg ha}^{-1}$ (Tabela 5). Para o ano de 2019, no período amostral entre abril e maio, as perdas de solo foram estimadas entre 2,7 e $6,7 \text{ kg ha}^{-1}$, com escoamento superficial inferiores a 1 % do volume de chuvas, variando de 3,30 a $7,10 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ mês}^{-1}$.

A perda de solo, ou erosão, é um processo natural que ocorre em contrapartida e contrabalanceando os processos da gênese. A variação entre estes regimes é que determina a profundidade e maturidade do solo, além das práticas de manejo. A perda de solo é matematicamente expressa em função da erosividade da chuva (fator R), caracterizada por sua energia cinética e intensidade (WISHMEYER & SMITH, 1958; LOMBARDI NETO & MOLDENHAUER, 1992); da erodibilidade do solo (fator K), definida em função da relação textural no perfil, da estrutura, estabilidade e da infiltração de água no solo (LAL & ELLIOT, 2017); do comprimento de rampa (fator L); declividade (fator S); de características da conservação (fator P); e do uso e manejo (fator C) do solo, expressos pela equação universal de perda de solo, modificada por Renard et al. (1991).

Assim, valores superiores de perda de solo são esperados em função de chuvas intensas, aumento do declive, redução na resistência de agregados, diminuição da matéria orgânica, revolvimento do solo e ausência de cobertura.

O manejo adotado no sistema de cultivo de banana favorece a redução da perda de solo devido ao seu baixo revolvimento e aportes contínuos de material orgânico, provenientes dos restos culturais após a colheita, representando mais de 75 % da massa seca produzida (HOFFMANN et al., 2010).

A declividade apresentada nas áreas também é um fator determinante na ponderação das perdas de solo, como demonstrado por Mendes et al. (2011), em cultivos de banana sobre um Argissolo Amarelo em declividade de 75 %, cuja máxima perda de solo obtida foi de 2 t ha^{-1} , valor próximo à tolerância a perda de solo estimada para a mesma classe ($3 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) (MANNIGEL et al., 2002). Já para os Cambissolos Háplicos Tb eutróficos, solo deste estudo, este valor é superior, chegando $11,62 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Além da declividade e do manejo, as características e a velocidade de infiltração de água no solo regulam, em conjunto com a intensidade da chuva, o volume de água do escoamento superficial. Considerando a média da condutividade hidráulica saturada do solo para as camadas de 0-5 e 5-10 cm, verifica-se que a ocorrência do escoamento superficial nas áreas de banana e floresta só será expressiva quando a intensidade da chuva for maior que 150 mm h^{-1} (Figura 5), valor notadamente superior à pluviosidade acumulada mensal para muitos dos meses no período de avaliação.

Não houve diferença em relação à condutividade hidráulica do solo saturado (K_{sat}) para as diferentes profundidades nos diferentes sistemas, mesmo quando considerada a variação textural apresentada entre as áreas (Tabela 2), podendo-se admitir um efeito da continuidade de poros maior que o da textura e, portanto, da estrutura e qualidade dos sistemas, principalmente àqueles com maior proporção da fração areia (MESQUITA E MORAES, 2004).

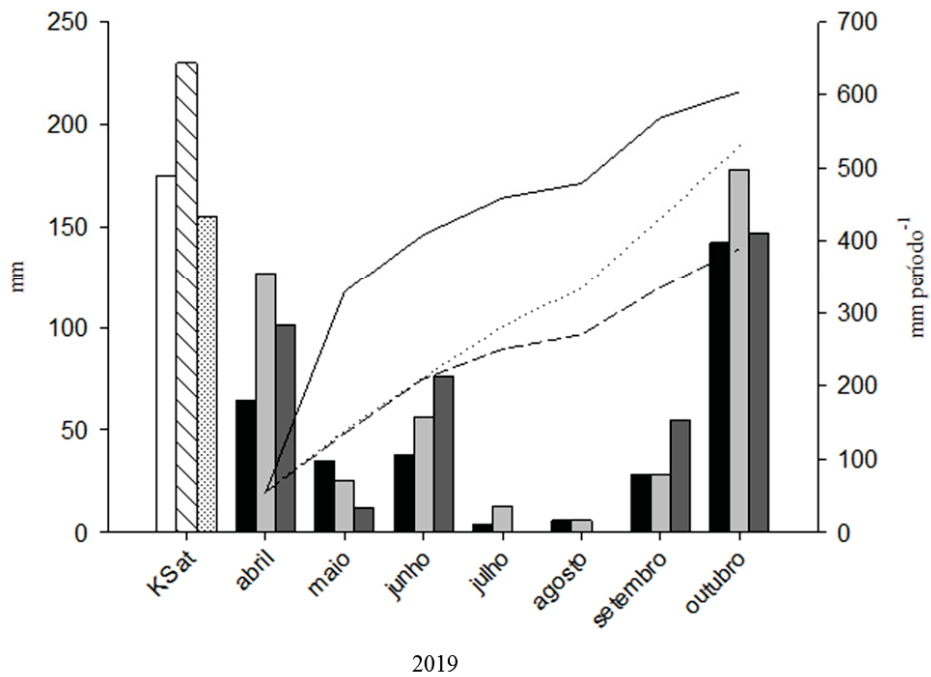
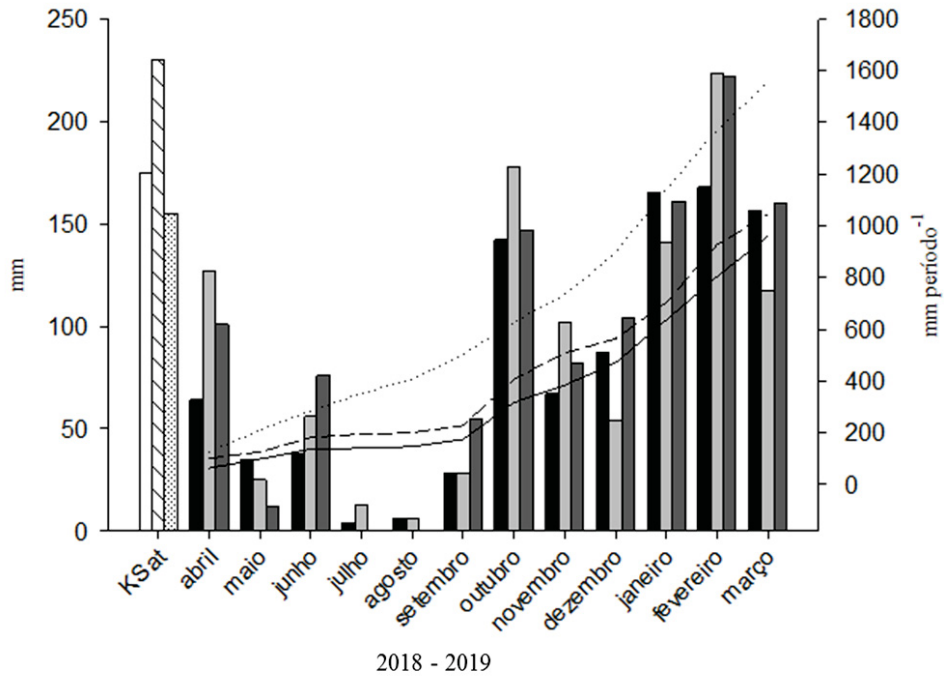
Quanto à qualidade da água proveniente do escoamento superficial, valores abaixo do limite de quantificação foram obtidos para sulfetos (S^-), boro, (B), cádmio (Cd), nitrito (NO_2) e berílio (Be). Os demais elementos foram comparados aos teores de referência para águas subterrâneas propostas pela CETESB e, na ausência de referência, para águas de rios classe II segundo recomendação do CONAMA (Tabela 6).

Os elementos Cu, Zn, Cl, Sb, As, Ba, Cr, Ni, F e SO_4^{2-} apresentaram valores médios enquadrados nos valores de referência para todas as áreas avaliadas. Já para P, Fe e NH_4 , os valores foram superiores aos estabelecidos como referência para todas as áreas, indicando um efeito de perda de nutrientes tanto provenientes da adubação como os teores naturais do solo.

Para Mn apenas as áreas de banana de Eldorado e Registro encontraram-se dentro dos limites de referência. Já para Al o sistema de floresta em Eldorado e o cultivo de banana em Sete Barras apresentaram-se acima dos limites de referência. O mesmo foi observado para Hg em Sete Barras sobre cultivo de banana, para Pb nas áreas de floresta de Eldorado e Sete Barras e para NO_3 nas áreas de banana em Registro e Sete Barras e na floresta em Eldorado.

A ausência números significativos de amostras impede o estabelecimento de relações significativas entre os teores obtidos no solo para cada sistema e os teores solúveis provenientes da água de escoamento superficial.

FIGURA 5. CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA DO SOLO (Ksat) MÉDIA PARA A CAMADA DE 0 A 20 cm, PLUVIOSIDADE E PLUVIOSIDADE ACUMULADA PARA OS MUNICÍPIOS DE ELDORADO, SETE BARRAS E REGISTRO NO PERÍODO DE ABRIL DE 2018 A OUTUBRO DE 2019.



- Eldorado (Ksat mm h⁻¹)
- ▨ Sete Barras (Ksat mm h⁻¹)
- ▤ Registro (Ksat mm h⁻¹)
- Eldorado (precipitação mensal - mm)
- ▤ Sete Barras (precipitação mensal - mm)
- ▤ Registro (precipitação mensal - mm)
- Eldorado precipitação acumulada (mm período⁻¹)
- ⋯ Sete Barras precipitação acumulada (mm período⁻¹)
- - - Registro precipitação acumulada (mm período⁻¹)

FONTE: O autor (2019).

TABELA 6. MÉDIAS DOS TEORES SOLÚVEIS PROVENIENTES DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL PARA ÁREAS DE FLORESTA E BANANA NOS MUNICÍPIOS DE ELDORADO, SETE BARRAS E REGISTRO E VALORES DE REFERÊNCIA PARA ÁGUAS SUBTERRÂNEAS (CETESB) E RIOS CLASSE II (CONAMA).

Local	Sistema	P	Fe	Mn	Cu	Zn	Al	Cl ⁻	Sb	As
$\mu\text{g l}^{-1}$										
Eldorado	Floresta	14008.3	3850.0	535.8	8.7	154.5	982.0	8733.3	0.5	3.0
	Banana	272.5	352.5	67.3	5.0	31.8	147.5	1050.0	0.1	0.2
Sete Barras	Floresta	730.0	2750.0	1715.0	5.5	345.0	25.0	2750.0	0.3	2.7
	Banana	2878.3	5125.0	561.5	20.7	400.2	3768.3	8683.3	0.4	1.6
Registro	Floresta	10300.0	770.0	380.0	10.0	430.0	0.0	0.0	0.1	1.3
	Banana	3267.5	470.0	128.0	6.8	35.0	87.5	7550.0	0.1	0.8
Referência	CETESB 2016	-	-	-	2000	1800	-	-	5	10
	CETESB 2005	-	300	400	-	-	200	-	-	-
	CONAMA 2005	200-100	-	-	-	-	-	250000	-	-
Local	Sistema	Ba	Hg	Pb	Cr	Ni	F-	SO ₄ ²⁻	NH ₄	NO ₃
$\mu\text{g l}^{-1}$										
Eldorado	Floresta	141.3	0.0	25.8	4.0	1.8	66.7	20391.7	13416.7	38463.3
	Banana	8.8	0.0	1.3	1.0	0.5	0.0	6872.5	6125.0	2625.0
Sete Barras	Floresta	97.0	0.0	247.5	2.0	3.0	0.0	5465.0	3500.0	9650.0
	Banana	107.7	5.0	3.5	23.8	3.0	120.5	13810.0	6125.0	46916.7
Registro	Floresta	84.0	0.0	5.0	3.0	4.0	0.0	10370.0	71750.0	7900.0
	Banana	45.3	0.0	2.3	1.0	0.5	0.0	10912.5	3500.0	13175.0
Referência	CETESB 2016	700	1	10	50	70	-	-	-	-
	CETESB 2005	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	CONAMA 2005	-	-	-	-	-	1400	250000	2000	10000

FONTE: O autor (2019).

2.6 CONCLUSÕES

A análise de componentes principais, considerando os atributos da fertilidade, granulometria e EPT, foi eficiente na identificação de áreas de floresta e cultivo de banana com potenciais concentrações discrepantes no solo para distintos elementos.

As áreas sobre o sistema de cultivo de banana apresentaram maior relação aos teores pseudototais de elementos potencialmente tóxicos obtidos, diferenciando-se em relação à floresta quanto aos teores de Cd, Cr, Ni e Zn.

Os teores pseudototais de Pb correlacionaram-se às áreas de floresta indicando origem natural nos solos.

A perda de solo tanto nas áreas de floresta como no cultivo de banana foi pouco expressiva no período avaliado, em função da baixa pluviosidade, das características favoráveis do manejo, do baixo de clive e da elevada condutividade hidráulica saturada do solo.

2.7 REFERÊNCIAS

- ABAVAR – Associação dos Bananicultores do Vale do Ribeira. Dia Mundial da Banana. Disponível em: <http://abavar.com.br/Noticias/2015/09/DiaMundialDaBanana.pdf>. Acesso em: 10 out. 2019].
- ACOSTA, J. A., MARTÍNEZ-MARTÍNEZ, S., FAZ, A., & AROCENA, J. (2011). Accumulations of major and trace elements in particle size fractions of soils on eight different parent materials. **Geoderma**, 161(1-2), 30-42. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.12.001>.
- ALMEIDA, F. D. (1956). Novas ocorrências de fósseis no pré-cambriano brasileiro. **Anais da Academia brasileira de Ciências**, 28(4), 44-45.
- ALTHAUS, D., GIANELLO, C., TEDESCO, M. J., SILVA, K. J. D., BISSANI, C. A., & FELISBERTO, R. (2018). Natural fertility and metals contents in Soils of Rio Grande do Sul (Brazil). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 42. e0160418. <http://dx.doi.org/10.1590/18069657rbc20160418>.
- AMARAL SOBRINHO, N. M. B., BARRA, C. M., & LÃ, O. R. (2009). Química dos metais pesados no solo. **Química e mineralogia do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 249-312.
- AMARAL SOBRINHO, N. M. B., VELLOSO, A. C. X., COSTA, L. M., & OLIVEIRA, C. (1998). Mobilidade de metais pesados em solo tratado com resíduo siderúrgico ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22(2), 345-353.
- AMARAL, N. S., COSTA, L. D., De Oliveira, C., & VELLOSO, A. X. (1992). Metais pesados em alguns fertilizantes e corretivos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 16(2), 271-276.
- ATLÂNTICA, S. M. (2019). Fundação SOS Mata Atlântica. Mata Atlântica em Apiaí. São Paulo. Disponível em: <https://www.sosma.org.br/noticias>. Acesso em 25 out. 2019.
- BATISTA, A. H., MELO, V. F., GILKES, R., & ROBERTS, M. (2018). Identification of heavy metals in crystals of sand and silt fractions of soils by scanning electron microscopy (SEM EDS/WD-EPMA). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 42. <http://dx.doi.org/10.1590/18069657rbc20170174>.
- BERG, M., Lepesch, I. F., & Sakai, E. (1987). Solos de planícies aluviais do Vale do Ribeira do Iguape SP. II. Relações entre características físicas e químicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 11, 315-321.
- BIZARRO, V. G., MEURER, E. J., & TATSCH, F. R. P. (2008). Teor de cádmio em fertilizantes fosfatados comercializados no Brasil. **Ciência Rural**, 38(1), 247-250.

BORGES, A. L., RAIJ, B. V., MAGALHÃES, A. D. J., & BERNARDI, A. D. C. (2002). **Nutrição e adubação da bananeira irrigada**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura. (Circular Técnica, 48).

BRASIL. (2017). Instituto Socioambiental Brasil. O maior remanescente contínuo de Mata Atlântica do Brasil está em São Paulo. Disponível em: https://documentacao.socioambiental.org/noticias/anexo_noticia. Acesso em 23 out. 2019.

BRUNETTO, G., SCHMITT, D. E., COMIN, J. J., MIOTTO, A., MORAES, M. P. D., & HEINZEN, J. (2014). Frações de cobre e zinco em solos de vinhedos no Meio Oeste de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 18(8), 805-810.

BUENO, E. (2010). **Brasil: uma história: cinco séculos de um país em construção**. Alfragide: Leya.

BUSCHLE, B., SOUZA, L. C. P., & BONFLEUR, E. J. (2017). Reference values for potentially harmful elements in soils from Atlantic Rainforest, Brazil. **Journal of Geochemical Exploration**, 181, 138-147. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2017.07.009>.

CASARINI, D. C. P. (2001). Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas. *São Paulo: CETESB*.

CAVICHIOLO, S. R., DEDECEK, R. A., GAVA, J. L. (2005). Modificações nos atributos físicos de solos submetidos a dois sistemas de preparo em rebrota de *Eucalyptus saligna*. **Revista Árvore**, 29,571-577.

CETESB – Companhia de tecnologia de saneamento ambiental. (2016). Valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo (Decisão de diretoria nº 256/2016/E, de 22 de novembro de 2016). São Paulo: CETESB.

CHEN W, KRAGE N, WU L, PAN G, KHOSRIVAFARD M, CHANG AC. (2008). Arsenic, cadmium, and lead in California cropland soils: Role of phosphate and micronutrient fertilizers. **Journal Environmental Quality**, 37(1):689-695.

CORRÊA, C. M. C., & DEDECEK, R. A. (2009). Erosão real e estimada através da RUSLE em estradas de uso florestais, em condições de relevo plano a suave ondulado. Embrapa Florestas-Artigo em periódico indexado (ALICE).

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Mapa Geológico do Estado de São Paulo. **Ministério de Minas e Energia–Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral**. Brasília, 2006.

DALMÁS, F. B. (2013). Análise da evolução do uso e ocupação do solo na UGRHI-11 e avaliação de cenários futuros em função de processos erosivos e de movimentos de massa utilizando técnicas de geoprocessamento (**Doctoral dissertation**, Universidade de São Paulo).

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Centro nacional de Pesquisa de Solos. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, 2017. 743p.

FAO – Food and Agriculture Organization, Statistics Division. Food and Agriculture commodities production. (2016) Roma: FAO; 2015 . Disponível em: http://faostat3.fao.org/browse/rankings/countries_by_commodity/S. Acesso em: 06 fev. 2019.

FAO – Food and Agriculture Organization. **Banana market review: Preliminary results for 2018**. (2018). Rome: FAO. 15p. Disponível em: <http://www.fao.org/economic/est/est-commodities/en/#.XdgmOpNKjIV>. Acesso em: 21 nov. 2019.

FERREIRA, C. F., E SILVA, S. D. O., AMORIM, E. P., & DOS SANTOS-SEREJO, J. A. (2016). **O agronegócio da banana**. Embrapa.

FREITAS, A. S., POZZA, E. A., POZZA, A. A. A., OLIVEIRA, M. G. F., SILVA, H. R., ROCHA, H. S., GALVÃO, L. R. (2015) Impact of nutritional deficiency on Yellow Sigatoka of banana. **Australasian Plant Pathology**, 44(5), 583-590.

FURTADO, E.L.; BUENO, C.J.; OLIVEIRA, A.L.D.; MENTEN, J.O.M.; MALAVOLTA, E. (2009). Relationship between occurrence of Panama disease in banana trees of cv. Nanicão and nutrients in soil and leaves. **Tropical Plant Pathology**, 34:201–215. <http://dx.doi:10.1590/S1982-56762009000400002>.

GABE, U., & RODELLA, A. A. (1999). Trace elements in Brazilian agricultural limestones and mineral fertilizers. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 30(5-6), 605-620.

GONÇALVES JR, A. C., & DOS SANTOS PESSOA, A. C. (2002). Fitodisponibilidade de cádmio, chumbo e cromo, em soja cultivada em Argissolo Vermelho eutrófico a partir de adubos comerciais. **Scientia Agraria**, 3(1-2), 19-23.

HOFFMANN, R. B., OLIVEIRA, F. H. T. D., GHEYI, H. R., SOUZA, A. P. D., & ARRUDA, J. A. D. (2010). Acúmulo de matéria seca, absorção e exportação de micronutrientes em variedades de bananeira sob irrigação. **Ciência e Agrotecnologia**, 34(3), 536-544.

HUBER, D., RÖMHELD, V., & WEINMANN, M. (2012). Relationship between nutrition, plant diseases and pests. In **Marschner's mineral nutrition of higher plants** (pp. 283-298). Academic Press.

HUDSON, N. W. (1993). **Field measurement of soil erosion and runoff**. Rome: Food and Agriculture Organization – FAO.

HUMMES, A.P., BORTOLUZZI, E.C., TONINI, V., PETRY, C. (2019). Transfer of Copper and Zinc from Soil to Grapevine-Derived Products in Young and Centenarian Vineyards. **Water Air Soil Pollut**, 230(150). <http://dx.doi:10.1007/s11270-019-4198-6>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2019). Base de dados agregados [internet]. Brasília: IBGE. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1618#resultado>. Acesso em: 15 set. 2019.

INPE & ATLÂNTICA, S. M. (2018). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais e Fundação SOS Mata Atlântica. Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica: período 2017-2018. Relatório Técnico São Paulo. Disponível em: https://www.sosma.org.br/wp-content/uploads/2019/05/Atlas-mata-atlantica_17-18.pdf. Acesso em 15 out. 2019.

KASSIR LN, DARWISH T, SHABAN A, OLIVIER G, OUAINI N. (2012). Mobility and bioavailability of selected trace elements in Mediterranean red soil amended with phosphate fertilizers: Experimental study. **Geoderma**, 190:357-368.

KEDE MLFM, MOREIRA JC, MAVROPOULOS E, ROSSI AM, BERTOLINO LC, PEREZ DV, ROCHA NCC. (2008). Estudo do comportamento do chumbo em latossolos brasileiros tratados com fosfatos: contribuições para a remediação de sítios contaminados. **Química Nova**, 31:579-584.

Krishnamurti, G. S. R., Cieslinski, G., Huang, P. M., & Van Rees, K. C. J. (1997). Kinetics of cadmium release from soils as influenced by organic acids: implication in cadmium availability. **Journal of environmental quality**, 26(1), 271-277.

LAL, R., & ELLIOT, W. (2017). Erodibility and erosivity. In **Soil erosion research methods**. Routledge.pp. 181-210.

LATTIN, J., CARROLL, J. D., & GREEN, P. E. (2011). **Análise de dados multivariados**. São Paulo: Cengage Learning, 475p.

LEPSCH, I. F., SAKAI, E., PRADO, H., MENK, J. R. F., SAKAI, E., & RIZZO, L. (1999). **Levantamento de reconhecimento com detalhes dos solos da região do Rio Ribeira de Iguape no Estado de São Paulo**. Campinas: IAC.

LIBARDI, P.L. (1995). **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba: EdUSP.

LINDSAY, W.L. (1979). **Chemical equilibria in soils**. John Wiley and Sons, New York.

LOMBARDI NETO, F., & MOLDENHAUER, W. C. (1992). Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas (SP). **Bragantia**, 51(2), 189-196.

LOMBARDI-NETO, F., & BERTONI, J. (1975). Tolerância de perdas de terra para solos do Estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônomo IAC. (**Boletim técnico 28**)

MANLY, B. F.J. (2008). **Métodos estatísticos multivariados**: uma introdução. 3 ed. Porto Alegre: Bookman Editora.

MANNIGEL, A. R., PASSOS, M. MORETI, D. & ROSA MEDEIROS, L. (2002). Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, 24,1335-1340.

McKENZIE, R.M. (1989). Manganese oxides and hydroxides. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B., eds. **Minerals in soil environments**. Madison, Soil Science Society of America p.439-465.

MEDEIROS, G. D. O. R., GIAROLLA, A., SAMPAIO, G., & MARINHO, M. D. A. (2016). Estimates of annual soil loss rates in the state of São Paulo, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 40,e0150497.

MELO, A. S. DE; FERNANDES, P. D.; SOBRAL, L. F.; BRITO, M. E. B.; DANTAS, J. D. M. (2010). Crescimento, produção de biomassa e eficiência fotossintética da bananeira sob fertirrigação com nitrogênio e potássio. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, p.417-426. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902010000300014>

MENDES, C. A. R., MAHLER, C. F., & ANDRADE, A. G. D. (2011). Erosão superficial em argissolo amarelo sob cultivo perene e com pousio florestal em área de relevo montanhoso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35(4), 1387-1396.

MESQUITA, M. D. G. B. D., & MORAES, S. O. (2004). A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Ciência Rural**, 34(3), 963-969.

MORAES, W. S., LIMA, J. D., SANTOS, A. J. (2016). Técnica de avaliação da eficiência de fungicidas protetor e sistêmico para controle da sigatoka negra em bananeira. **Pesquisa & Tecnologia**, 13,1-5.

NAVA, I. A., JUNIOR, G., CELSO, A., NACKE, H., GUERINI, V. L., & SCHWANTES, D. (2011). Disponibilidade dos metais pesados tóxicos cádmio, chumbo e cromo no solo e tecido foliar da soja adubada com diferentes fontes de NPK+ Zn. **Ciência e Agrotecnologia**, 35(5), 884-892..

(NEPAR) SBCS – Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. (2019). Núcleo Estadual Paraná. **Manual de adubação e calagem para o Estado do Paraná**. Curitiba: SBCS/NEPAR.

NOMURA, E. S., CUQUEL, F. L., JUNIOR, D., ERVAL, R., FUZITANI, E. J., BORGES, A. L., & SAES, L. A. (2016). Nitrogen and potassium fertilization on 'Caipira' and 'BRS Princesa' bananas in the Ribeira Valley. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 20(8), 702-708. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n8p702-708>

OLIVEIRA, M. A. F., MANIESI, V., TEIXEIRA, W., & DAITX, E. C. (2002). Caracterização isotópica de metabasitos e anfíbolitos dos grupos açungui e setuva na porção sul da faixa ribeira. **Geologia USP (Série Científica)**, 2, 161-170.
PAES, G. S. M. (2014). Ventura e desventura no Rio Ribeira de Iguape (**Doctoral dissertation**, Universidade de São Paulo).

PONTES, J. B. (1982). Geologia e potencialidade económica da Formação Água Clara (PR). In *SBG, Congresso Brasileiro de Geologia* (Vol. 32, pp. 1002-1016).

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2019. URL <http://www.R-project.org/>

RAIJ, B. (1991). **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba, Ceres, Potafos.

RAIJ, B. (2011). **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: IPNI.

RAIJ, B.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. (2001). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico.

RENARD, K. G., FOSTER, G. R., WEESIES, G. A., & PORTER, J. P. (1991). RUSLE: Revised universal soil loss equation. **Journal of soil and Water Conservation**, 46(1), 30-33.

REYNOLDS, W. D., & ELRICK, D. E. (2002). Falling head soil core (tank) method. **Methods of soil analysis**. Part, 4, 809-812.

RIVERA, M. B., FERNÁNDEZ-CALIANI, J. C., & GIRÁLDEZ, M. I. (2015). Geoavailability of lithogenic trace elements of environmental concern and supergene enrichment in soils of the Sierra de Aracena Natural Park (SW Spain). **Geoderma**, 259, 164-173. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.06.009>.

RODRIGUES, V. A., SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M., TARJUELO, J. M., SARTORI, M. M. P., & CANALES, A. R. (2015). Avaliação do escoamento e interceptação da água das chuvas. **Irriga**, 1(1), 01-13.

ROSSI M. (2017). Mapa pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado. São Paulo: Instituto Florestal.

ROZANE, D. E., MATTOS JR, D., PARENT, S. É., NATALE, W., & PARENT, L. E. (2015). Meta-analysis in the Selection of Groups in Varieties of Citrus. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 46(15), 1948-1959.

SAKAI, E., LEPSCH, I. F. (1984). Levantamento pedológico detalhado da Estação experimental de Pariquera-Açu. Campinas: Instituto Agrônômico. (Boletim Técnico, 83).

SALOMÃO, L. C. C. SALOMÃO & SIQUEIRA, D. L. (2015). **Cultivo da bananeira**. Lavras: Editora UFV.

SANTIN, D., BENEDETTI, E. L., KASEKER, J. F., BASTOS, M. C., REISSMANN, C. B., WENDLING, I., & BARROS, N. F. D. (2013). Nutrição e crescimento da erva-mate submetida à calagem. **Ciência Florestal**, 23(1), 55-66.

SILVA, A. R. da. (2016). **Métodos de Análise Multivariada em R**. Piracicaba: FEALQ.

SILVA, D. R. G., MARCHI, G., SPEHAR, C. R., GUILHERME, L. R. G., REIN, T. A., SOARES, D. A., & ÁVILA, F. W. (2012). Characterization and nutrient release from silicate rocks and influence on chemical changes in soil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36(3), 951-962.

SOARES, P. C. (1987). Seqüências tectono-sedimentares e tectônica deformadora no centro-oeste do Escudo Paranaense. **Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia**, v. 3, p. 743-771.

SPOSITO G. (1989). **The chemistry of soils**. New York: Oxford University Press.
USEPA (US Environmental Protection Agency). (1996). **Soil screening guidance: technical background document**. EPA/540/R-95/128.

VIEIRA NETO, J., SILVA, L. F. O., GONÇALVES, P. A. S., ZAMBON, C. R., VILLA, F. (2014). Mineral composition of olive (*Olea europaea* L.) leaves in conventional production system. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, 16(1), 122-126.

VIEIRA, L.M. (2013). Banana: Produção e mercado mundial. Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina - 2012-2013. Santa Catarina: EPAGRI. Disponível em: http://docweb.epagri.sc.gov.br/website_cepa/publicacoes/sintese_2013.pdf. Acesso em: 29 ago. 2019.

WISCHMEIER, W. H., & SMITH, D. D. (1958). Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Eos, Transactions American Geophysical Union**, 39(2), 285-291.

3 CAPÍTULO IV: EFEITO DO SISTEMA DE CULTIVO DE BANANA SOBRE A ESTABILIDADE DE AGREGADOS E A POROSIDADE EM UM CAMBISSOLO HÁPLICO AS MARGENS DO RIO RIBEIRA DE IGUAPE – SP.

3.1 RESUMO

Este trabalho buscou avaliar o impacto do manejo na qualidade física do solo em áreas de cultivo de banana, no polo produtivo do Vale do Ribeira – SP, em relação às áreas de Floresta Atlântica as margens do rio Ribeira de Iguape por meio da relação entre o diâmetro médio de agregados e o estoque de carbono do solo e também em função da curva de retenção de água no solo. O sistema de cultivo de banana não comprometeu a estrutura do solo, pois apresentou maior agregação e estoque de carbono em superfície, bem como resultou na maior porosidade total e distribuição do tamanho de poros mais homogênea, não havendo diferença na faixa de água disponível entre os sistemas avaliados, apesar da maior densidade média do solo encontrada nas áreas de floresta em todas as profundidades.

Palavras-chave: Estoque de carbono. Diâmetro médio ponderado. Curva de retenção de água. Qualidade do solo. Bananeira.

3.2 ABSTRACT

This work aimed to evaluate the impact of management on the physical quality of the soil in areas of banana crops, in the productive pole of Vale do Ribeira - SP, in relation to the areas of Atlantic Forest on the banks of the Ribeira de Iguape river by the relationship between the average diameter of aggregates and the soil carbon stock and also as a function of the soil water retention curve. The banana crops system did not compromise the soil structure and still presented greater aggregation and carbon stock on the surface, as well as resulting in greater total porosity and more homogeneous pore size distribution, with no difference in the range of available water between the two systems evaluated, despite the higher average soil bulk density found in forest areas at all depths.

Keywords: Carbon stock. Weighted average diameter. Water retention curve. Soil quality. Banana plants.

3.3 INTRODUÇÃO

A banana é uma fruta de importância mundial (FAO, 2018), responsável pela fixação do homem no campo e pelo emprego direto de grande quantidade de mão de obra em sua cadeia produtiva. O Brasil é o quarto maior produtor, e o estado de São Paulo detém, representado pela região do Vale do Ribeira, cerca de 1 % da produção mundial (IBGE, 2019).

Entretanto, a transformação de áreas nativas em áreas cultivadas pode alterar a estrutura do solo e sua estabilidade, modificando o arranjo das partículas

sólidas e dos espaços de vazio (BREWER & SLEEMAN, 1960) e com isso diminuir a capacidade do solo em manter suas funções e suportar o crescimento das plantas, resultando em possíveis modificações nas características originais e na qualidade do mesmo (VEZZANI & MIELNICZUK, 2009).

Portanto, entender os processos resultantes do uso e manejo é importante para a adequação de sistemas que não comprometam os atributos e propriedades físicas do solo (CENTURION et al., 2004) como o maior adensamento da camada arável, diminuição da porosidade e retenção de água (TORMENA et al., 1998; KLEIN & LIBARDI, 2002), alterações no estoque de carbono e comprometimento da estabilidade de agregados, tornando o solo potencialmente suscetível aos processos de erosão.

A presença de macroagregados estáveis, formados pela ação mecânica entre raízes e microagregados (TISDALL & OADES, 1982; TISDALL, 1994), que por sua vez são formados pela interação entre partículas minerais com cátions polivalentes e moléculas orgânicas, oriundas de material vegetal em decomposição e de colônias de microrganismos (EDWARDS & BREMNER, 1967), é um importante atributo relacionado à qualidade do solo (MIELNICZUK et al., 2003; BISWAS et al., 2017), pois refletem a qualidade da estrutura e o amadurecimento do equilíbrio físico do sistema.

A qualidade da estrutura do solo pode ser avaliada também quanto ao arranjo e volume de poros a ela associado, pois são reflexo do manejo, contraindo-se e afetando negativamente a densidade (SPERA et al., 2009) quando o sistema adotado não é compatível com solo (SÁ et al., 2013). Pois além de comprometer as propriedades físico-hídricas, afetará também a fertilidade do solo e a capacidade das raízes em obterem água e nutrientes (SEBEN JÚNIOR et al., 2013). Assim, o estudo do volume, tamanho e distribuição de poros é outro importante indicador da qualidade da estrutura e dos processos físicos dinâmicos que ocorrem nos espaços porosos do solo.

Portanto, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do cultivo de banana e seu manejo sobre a qualidade física do solo e sua relação com a estrutura, o estoque de carbono e o volume de poros, tendo como referência áreas de Floresta Atlântica adjacentes.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em três talhões comerciais de cultivo de banana variedade Grande Naine, com idades superiores a 30 anos e tendo como referência áreas de Floresta Atlântica adjacentes às áreas de cultivo de Banana, que se localizaram nos municípios de Eldorado (24°29'47.6"S 48°02'21.5"W), Sete Barras (24°23'57.7"S 47°55'14.0"W) e Registro (24°25'53.1"S 47°49'43.1"W), todas sobre Cambissolo Háplico Tb eutrófico as margens do rio Ribeira de Iguape, principal rio da bacia. O clima da região é classificado como tropical chuvoso, com pluviosidade superior a 1500 mm ano⁻¹. Delimitou-se uma faixa amostral de aproximadamente 150 m de comprimento, paralelo à margem do rio, por 50 m de largura, respeitando-se 10 m de distância da margem.

Foram coletados cinco conjuntos de amostras de solo em transecto, espaçados em aproximadamente 20 m, consistindo de amostras indeformadas, coletadas em anel de aço inox com aproximadamente 50 mm de altura e 57 mm de diâmetro, e amostras deformadas, ambas para as profundidades de 0,00-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20 m. Também coletaram-se amostras em monólitos, nas camadas de 0,05, 0,10, 0,20, 0,30 e 0,40 m, bem como foi realizada a análise de resistência do solo à penetração na profundidade de 0 a 40 cm com penetrômetro automatizado equipado com haste metálica de cone tipo 2 (12,83mm) (Norma ASAE S.313.3)..

As amostras indeformadas em anéis foram saturadas, pesadas e encaminhadas à mesa de tensão à 0,60 m de coluna d'água para a determinação da capacidade de campo (CC), após nova pesagem seguiram para a câmara de Richards para a determinação do ponto de murcha permanente (PMP) à 1500 hPa de tensão aplicada. Em seguida, foram encaminhadas à secagem em estufa a 105° C e determinada a densidade do solo (DS), porosidade total (PT), macroporosidade (MAC) e microporosidade (MIC) (MONIZ et al., 2009) a partir das relações entre as massas de solo em cada momento e o volume do anel. A faixa correspondente à água disponível (AD) foi determinada pela diferença entre a CC e o PMP.

As amostras indeformadas foram secas em estufa a 45° C, passadas por peneira com malha de 2 mm e encaminhada para a determinação do teor de carbono orgânico (WALKLEY & BLACK, 1934). A determinação do estoque de carbono foi feita com base na metodologia da camada equivalente (VELDKAMP, 1994; BAYER et al., 2000) e corrigido para a massa equivalente (ELLERT &

BETTANY, 1995) adaptada por Sisti et al. (2004) que permite corrigir a distorção ocorrida entre as diferentes densidades de solo encontradas entre as camadas de um tratamento e a área de referência (Floresta Atlântica), em que:

$$C_s = \sum_{i=1}^{n-1} C_{ti} + \left[M_{tn} - \left(\sum_{i=1}^n M_{ti} - \sum_{i=1}^n M_{si} \right) \right] * C_{tn}$$

Onde, C_{ti} é o estoque de C da primeira à penúltima camada do tratamento; M_{tn} a massa do solo da última camada do tratamento; M_{ti} a massa total do solo amostrado no tratamento; M_{si} a massa total do solo de referência, todos em $t\ ha^{-1}$; e C_{tn} o teor de C na última camada amostrada (Mg de C por Mg de solo).

Com os monólitos procedeu-se o destorroamento manual, respeitando-se os pontos naturais de fratura, para a determinação do diâmetro médio ponderado (DMP) e do diâmetro médio geométrico (DMG), consistindo de amostras em triplicata de aproximadamente 50 g de solo seco ao ar em cada (CAMARGO et al., 2009). Os agregados foram umedecidos por capilaridade durante 24 horas e estratificados em um conjunto de peneiras com malhas de 7,93, 6,35, 4,00, 2,00, 1,00 e 0,5 mm em aparelho calibrado para 31 oscilações verticais por minuto com amplitude de oscilação de 35 mm, por um período de 15 minutos.

Após a tamisagem, o material retido em cada peneira foi separado e seco em estufa a 105° C até atingir massa constante, sendo cada fração pesada e utilizada na determinação do DMP, DMG do seguinte modo:

$$DMP = \sum_{i=1}^n (x_i * d_i)$$

$$DMG = EXP \frac{\sum_{i=1}^n p_i * \log(d_i)}{\sum_{i=1}^n x_i}$$

Onde x_i é fração decimal de agregados retidos em determinada classe; d_i o diâmetro médio em milímetros da respectiva classe e p_i o peso de agregados para o respectivo diâmetro de peneira.

Um segundo jogo de amostras deformadas e indeformadas em anéis volumétricos foi coletado nas áreas, respeitando-se os mesmos pontos determinados, considerando a camada arável de 0,00 a 0,20 m. As amostras indeformadas foram secas e peneiradas em malha de 2 mm para a caracterização granulométrica das áreas, segundo Camargo et al. (2009) (Tabela 7).

TABELA 7. TEORES DE AREIA, ARGILA E SILTE OBTIDOS PARA A CAMADA ARÁVEL (0,00 - 0,20 M) EM ÁREAS DE FLORESTA ATLÂNTICA E CULTIVO DE BANANA NOS MUNICÍPIOS ELDORADO, SETE BARRAS E REGISTRO - SP.

Áreas amostrais		Areia	Areia	Areia	Argila	Silte	Classe Textural
		Grossa	Fina	Total			
		----- g kg ⁻¹ -----					
Eldorado	Floresta	114,2	294,0	408,2	299,0	292,8	Franco Argiloso
	Banana	19,2	140,6	159,8	332,2	508,0	Franco Argilo Siltoso
Sete Barras	Floresta	143,8	154,0	297,8	306,0	396,2	Franco Argiloso
	Banana	19,2	76,2	95,4	399,4	505,2	Franco Argilo Siltoso
Registro	Floresta	352,2	140,2	492,4	254,2	253,4	Franco Argilo Arenoso
	Banana	88,4	138,8	227,2	442,0	330,8	Franco Argiloso

FONTE: O autor (2019).

As amostras indeformadas foram saturadas e seguiram para a determinação da retenção de água no solo nas seguintes tensões: 5, 10, 30 e 100 hPa, determinados em mesa de tensão, e 330, 600, 1000, 5000 e 15000 hPa, determinados na câmara pressão de Richards. Cada ponto da curva foi obtido utilizando-se as mesmas amostras.

Os conteúdos de água obtidos em cada tensão foram ajustados de acordo com a equação proposta por van Genuchten (1980), cujos parâmetros empíricos (α , m e n) foram determinados minimizando-se a soma dos quadrados dos desvios e verificando-se a significância de cada parâmetro bem como a significância do coeficiente e determinação (R^2) a $p < 0,05$ (KLEIN & LIBARDI, 2002). Para o parâmetro m , utilizou-se a restrição de Mualem (1976), na qual $m = 1 - (1/n)$.

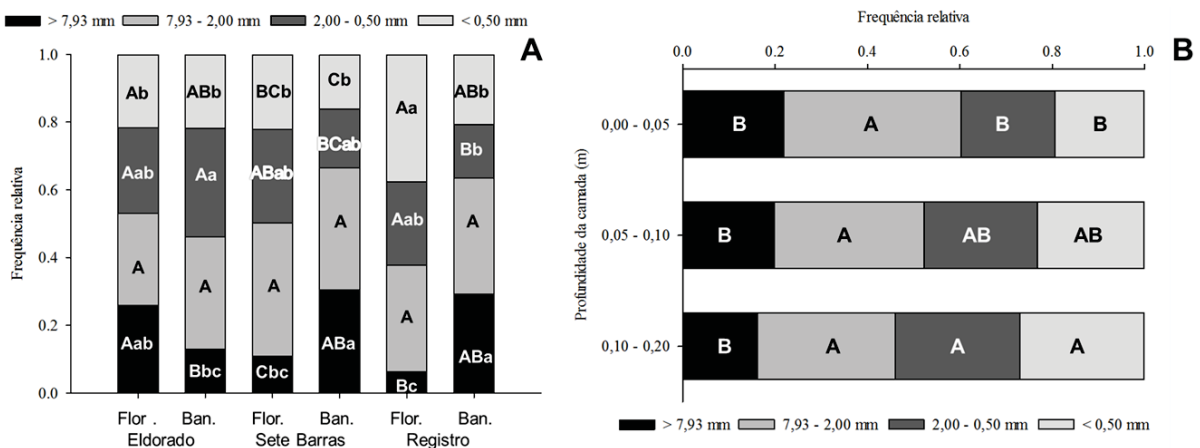
A frequência de distribuição do tamanho de poros foi calculada a partir da primeira derivada da equação de ajuste da curva de retenção de água no solo, em função dos potenciais pré-estabelecidos.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância em delineamento em parcela subdividida, considerando-se como parcelas as profundidades, subparcelas as áreas (município+sistema), e exclusivamente subsubparcelas as classes de diâmetro de agregados, seguido de comparação de médias a 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey.

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da distribuição do tamanho de agregados foram condensados em 4 classes, partindo-se da classificação de agregados em macroagregados (> 2,0 mm) e microagregados (< 2,0 mm), e considerando os agregados acima de 7,93 mm como agregados muito grandes e inferiores a 0,50 mm como muito pequenos e partículas simples (SALTON et al., 2008). Considerando as classes estabelecidas e o delineamento proposto, houve interação significativa entre as áreas e as classes de agregados (Figura 6A) e entre as profundidades e as classes de agregados (Figura 6B). Não foram verificadas diferenças significativas na interação tripla entre profundidades, áreas e classes de agregados.

FIGURA 6. DISTRIBUIÇÃO DE CLASSES DE AGREGADOS EM FUNÇÃO DA INTERAÇÃO ENTRE ÁREA E CLASSES DE AGREGADOS (A) E ENTRE PROFUNDIDADE E CLASSE DE AGREGADOS (B).



***A:** Letras minúsculas correspondem à comparação para cada classe de agregados entre as áreas e letras maiúsculas correspondem à comparação para cada área e entre as classes de agregados. **B:** Letras maiúsculas correspondem à comparação para cada profundidade entre as classes de agregados.

FONTE: O autor (2019).

Houve diferenças estatísticas para as classes de agregados, entre as áreas estudadas exceto para a classe de 7,93 - 2,00 mm (Figura 6A). A menor classe de agregados (<50 mm) teve maior frequência encontrada na área de Floresta de Registro (0,37) (Anexo 2), seguida pelas demais áreas. Para a classe de agregados de 2,00 – 0,50 mm a maior frequência encontrada foi na Banana de Eldorado (0,32) e a menor diferenciada foi a Banana de Registro (0,16). A classe de agregados > 7,93 apresentou maior frequência na área de Banana de Sete Barras e Registro

(0,30), as demais áreas com valores médios de 0,10, seguidas da Floresta de Registro com a menor frequência encontrada (0,06).

Quando consideradas as áreas individualizadas, a classe que possui na média a maior frequência é a de 7,93 – 2,00 mm (0,34), já a classe de agregados > 7,93 mm apresentou a menor frequência na média (0,19).

Apesar de não apresentar diferenças significativas das classes entre as profundidades (Figura 6B), no geral, é possível verificar que o maior tamanho de agregados do solo ocorre na camada superficial e diminui em profundidade, independente da área, com efeitos mais pronunciados na classe de agregados > 7,93 mm (redução de 26 %), sendo os agregados na classe de 7,93 - 2,00 mm mais estáveis. A promoção de agregados estáveis de maior diâmetro em superfície é também importante para a resistência do solo ao impacto das gotas de chuva e aos processos erosivos de perda de solo (CASTRO FILHO & LOGAN, 1991; SÁ et al., 2000; SALTON et al., 2008; SEBEN JUNIOR et al., 2011).

O mesmo comportamento foi observado por Seben Júnior et al. (2011) em pomares de goiabeira supridos com doses de resíduo de sua indústria de processamento e Salton et al. (2008) para rotação soja/pastagem e pastagem perene. Esse comportamento ocorre devido a maior proporção do carbono orgânico nas camadas superficiais (Figura 7), desempenhando um papel importante na estrutura e estabilidade dos agregados (SALTON et al., 2008).

Considerando as áreas e as profundidades não houve interação significativa entre elas para os parâmetros estoque de Carbono (EC), densidade do solo (DS) e os diâmetros médios ponderados (DMP) e geométricos (DMG).

O DMP e DMG foi maior em superfície (Figura 7A e 7B) considerando a média das áreas (Tabela 8) corroborando os resultados apresentados anteriormente de classes de agregados (Figura 6). Dentre as áreas, o maior DMP e DMG ocorreram no cultivo de Banana em Sete Barras, bem como os menores valores para estes atributos ocorreram nas áreas de Floresta. Contudo, verifica-se que apesar da interação não significativa, nas áreas de floresta, o DMP e DMG voltam a aumentar em profundidade, indicando um efeito da agregação do solo promovido pela atividade do sistema radicular, mais complexo nestas áreas, que favorecem macroagregados mais estáveis (ÁLVARO-FUENTES et al., 2008; PINHEIRO et al., 2004).

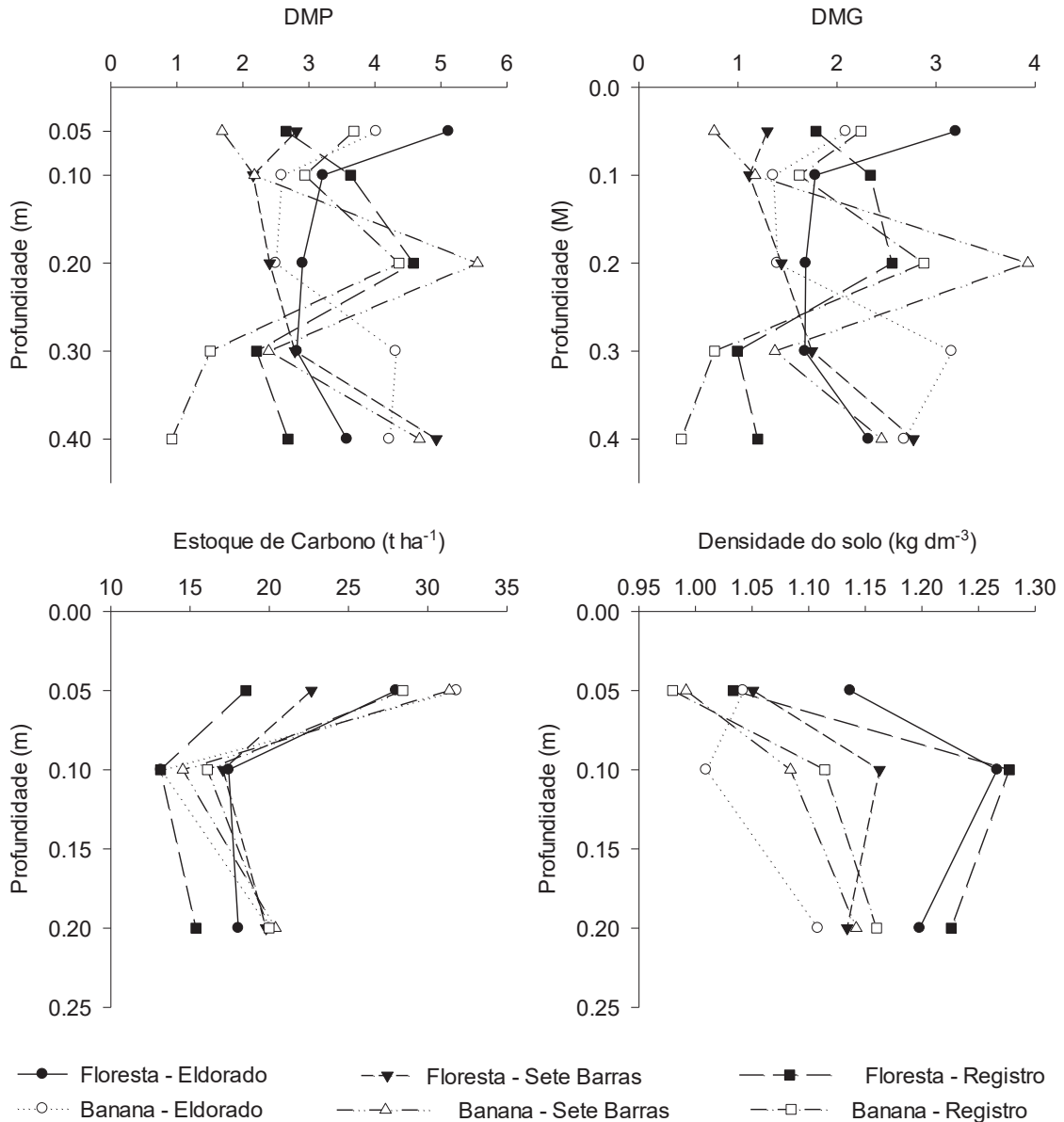
TABELA 8. MÉDIAS ENTRE PROFUNDIDADES E ÁREAS PARA OS ATRIBUTOS ESTOQUE DE CARBONO (EC), DENSIDADE DO SOLO (DS), ESTOQUE DE CARBONO TOTAL NA CAMADA DE 0,00 A 0,20 m (EC total), DIÂMETROS MÉDIOS PONDERADOS (DMP) E GEOMÉTRICOS (DMG), POROSIDADE TOTAL (PT), MACROPOROSIDADE (MAC), MICROPOROSIDADE (MIC) E ÁGUA DISPONÍVEL (AD).

Fatores	EC t ha ⁻¹	DS Kg dm ⁻³	EC total t ha ⁻¹	DMP mm	DMG mm	PT	MAC m ³ m ⁻³	MIC	AD
0,00 - 0,05	26,79 A	1,04 B	-	4,16 A	2,68 A	-	-	-	-
0,05 - 0,10	15,24 C	1,15 A	-	3,67 AB	2,04 AB	-	-	-	-
0,10 - 0,20	18,93 B	1,16 A	-	3,26 ABC	1,77 AB	-	-	-	-
0,20 - 0,30	-	-	-	2,22 C	1,15 B	-	-	-	-
0,30 - 0,40	-	-	-	2,67 BC	1,71 AB	-	-	-	-
Floresta	21,16 AB	1,20 A	63,48 A	3,26 B	1,82 AB	0,52 ns	0,08 ns	0,43 AB	0,12 ns
Banana	21,68 AB	1,05 C	69,61 A	2,76 B	1,53 B	0,57 ns	0,09 ns	0,48 A	0,12 ns
Floresta	19,85 AB	1,12 ABC	59,55 B	2,87 AB	1,69 AB	0,48 ns	0,27 ns	0,21 B	0,13 ns
Banana	22,10 A	1,07 BC	66,34 A	4,32 A	2,83 A	0,58 ns	0,08 ns	0,50 A	0,11 ns
Floresta	15,68 B	1,20 AB	47,03 C	2,49 B	1,44 B	0,51 ns	0,18 ns	0,32 AB	0,11 ns
Banana	21,50 AB	1,05 BC	67,32 A	3,49 AB	1,90 AB	0,59 ns	0,11 ns	0,47 AB	0,15 ns
Floresta	18,89	1,17	56,69	2,87	1,65	0,50	0,18	0,32	0,12
Banana	21,76	1,06	67,76	3,52	2,08	0,58	0,09	0,48	0,13

*Letras maiúsculas correspondem à comparação na coluna em relação às diferentes profundidades e entre as áreas pelo teste de tukey a p<0,05.

FONTE: O autor (2019).

FIGURA 7. DIÂMETRO MÉDIO PONDERADO (DMP), DIÂMETRO MÉDIO GEOMÉTRICO (DMG), ESTOQUE DE CARBONO E DENSIDADE DO SOLO PARA OS SISTEMAS FLORESTA ATLÂNTICA E CULTIVO DE BANANA NOS MUNICÍPIOS DE ELDORADO, SETE BARRAS E REGISTRO - SP EM DIFERENTES PROFUNDIDADES.



FONTE: O autor (2019).

O estoque de carbono foi maior em superfície (média 27 t ha⁻¹) (Figura 7C), concomitante a menor densidade do solo (média 1,04 kg dm⁻³) (Figura 7D). Considerando o estoque de carbono para as áreas avaliadas, apesar de não haver diferenças significativas entre a floresta e o cultivo de banana, com exceção da Floresta em Registro e da Banana em Sete Barras (Tabela 8) é possível verificar que, apesar do clima da região, as áreas de banana apresentam um comportamento de maior aporte de carbono (21,76 t ha⁻¹) que as áreas de floresta adjacentes a elas

(18,89 t ha⁻¹). Já para DS o contrario foi observado, com a menor densidade média ocorrendo nas áreas de Banana (1,06 kg dm⁻³) em relação a Floresta (1,17 kg dm⁻³).

Este efeito é decorrente do manejo das áreas, cuja proporção exportada em relação a massa total é de apenas 24 % (HOFFMANN et al., 2010), sendo que o restante do material permanece na área, que somado aos tratos culturais de desbaste e poda contribuem ao incremento de carbono no solo. Com isso, quando considerado o estoque de carbono total na camada arável (0,00 a 0,20 m), o cultivo de banana aporta em média 68 t ha⁻¹, enquanto a floresta fornece 11 t ha⁻¹ a menos (57t ha⁻¹).

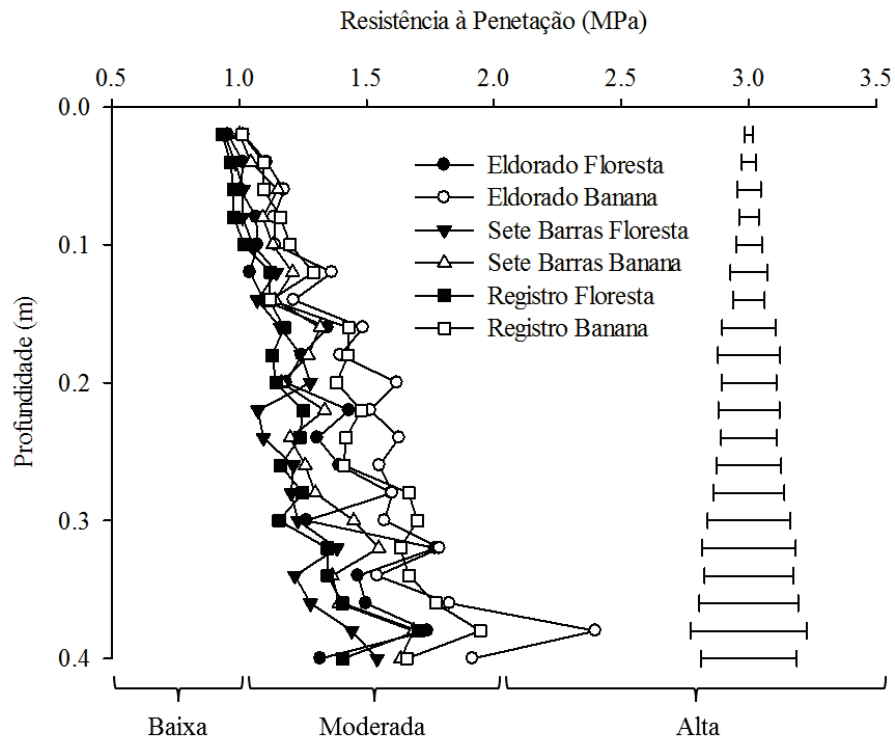
Não houve diferença estatística para a porosidade total (PT) e macroporosidade (MAC) para a camada amostral de 0,00 a 0,20 m (Tabela 8). Para a microporosidade (MIC) os maiores valores foram obtidos para as áreas de banana em Eldorado e Sete Barras (0,48 e 0,50 m³ m⁻³ respectivamente), e o menor valor para a floresta em Sete Barras (0,21 m³ m⁻³). Apesar de não haver diferença, nota-se uma tendência das áreas sobre cultivo de banana apresentarem maior porosidade total, favorecida pela microporosidade e, portanto, pela maior capacidade de retenção de água para estas áreas (KLEIN & LIBARDI, 2002).

Os dados obtidos para macroporosidade estão de acordo com Hilel (1970) onde, para um bom desenvolvimento das plantas, o solo deve apresentar valores variando na proporção de 0,06 a 0,20 m³ m⁻³.

Para a resistência do solo à penetração (Figura 8), ocorreu pouca variação na camada superficial, com diferenças apresentadas entre os sistemas e suas respectivas áreas à partir dos 20 cm de profundidade, com valores superiores ocorrendo para as áreas de cultivo de banana, devido à maior presença de argila nestas áreas, bem como do manejo e do trânsito de pessoal.

Entretanto, os valores de resistência a penetração apresentados em ambos os sistemas foram, na média da profundidade avaliada, inferiores a 1,5 MPa, enquadrando-se segundo a Staff (1993) e Archad et al. (1996) como moderada.

FIGURA 8. RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO PARA OS SISTEMAS FLORESTA ATLÂNTICA E CULTIVO DE BANANA NOS MUNICÍPIOS DE ELDORADO, SETE BARRAS E REGISTRO - SP EM DIFERENTES PROFUNDIDADES.



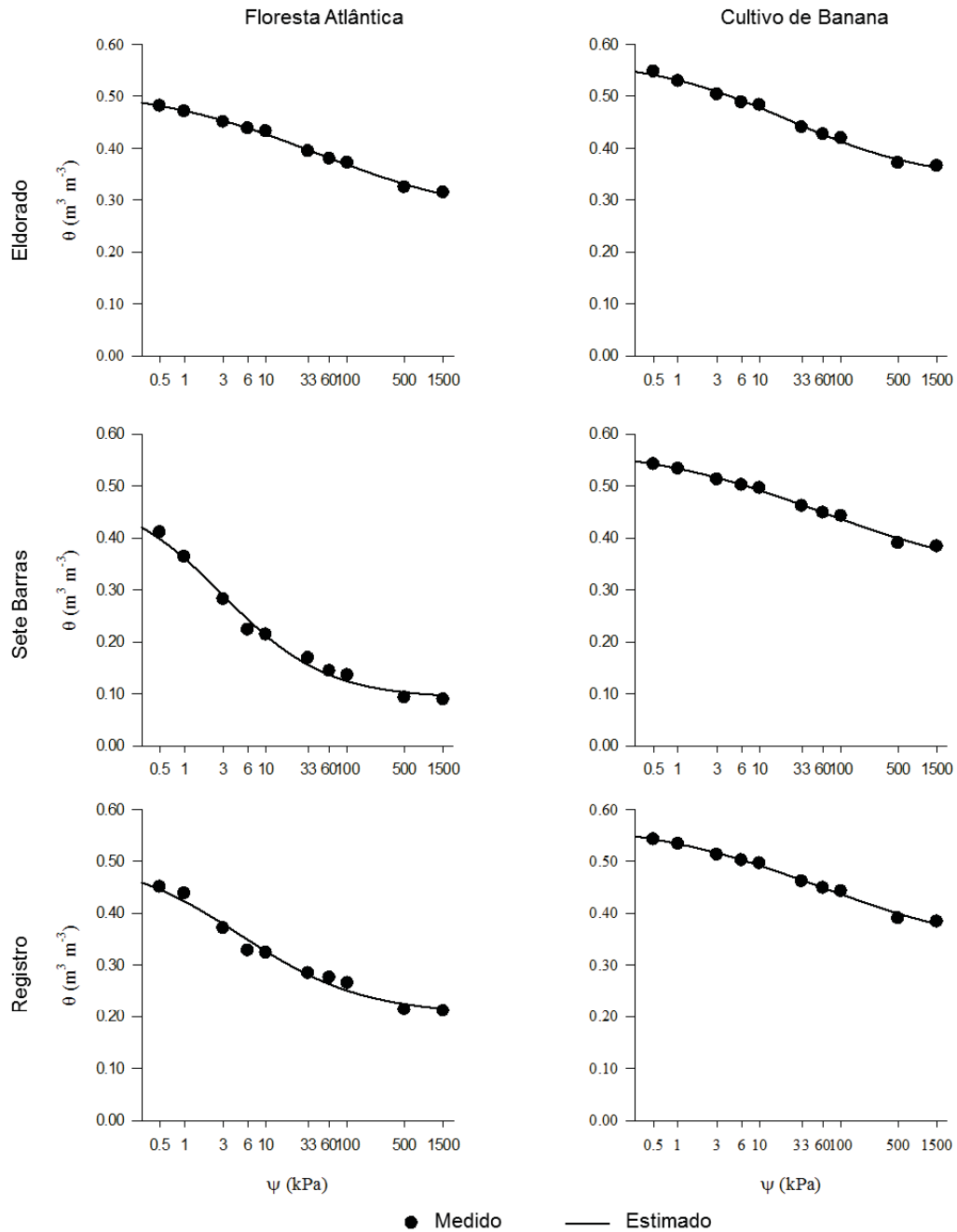
(|—|): desvio padrão da média para cada profundidade.

FONTE: O autor (2019).

O armazenamento de água no solo, que é função da quantidade, tamanho e continuidade de poros, sendo indicador de qualidade física, pode ser determinado pela curva de retenção de água no solo (REICHERT et al., 2003).

As curvas de retenção obtidas para as áreas demonstram haver distinção entre as áreas de floresta e o cultivo de banana, com exceção para a floresta de Eldorado, cujo comportamento da curva se assemelha ao cultivo de banana (Figura 9). As curvas obtidas para as áreas de floresta refletem o efeito da textura com maiores teores de areia para estas áreas (Tabela 7), diminuindo a retenção de água no solo, devido ao maior potencial de drenagem e menor microporosidade apresentada.

FIGURA 9. CURVAS DE RETENÇÃO DO CONTEÚDO DE ÁGUA NO SOLO ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) EM FUNÇÃO DO POTENCIAL MÁTRICO ($-\text{kPa}$) PARA A CAMADA DE 0,0 A 0,2 M NOS SISTEMAS FLORESTA E CULTIVO DE BANANA NOS MUNICÍPIOS DE ELDORADO, SETE BARRAS E REGISTRO - SP.



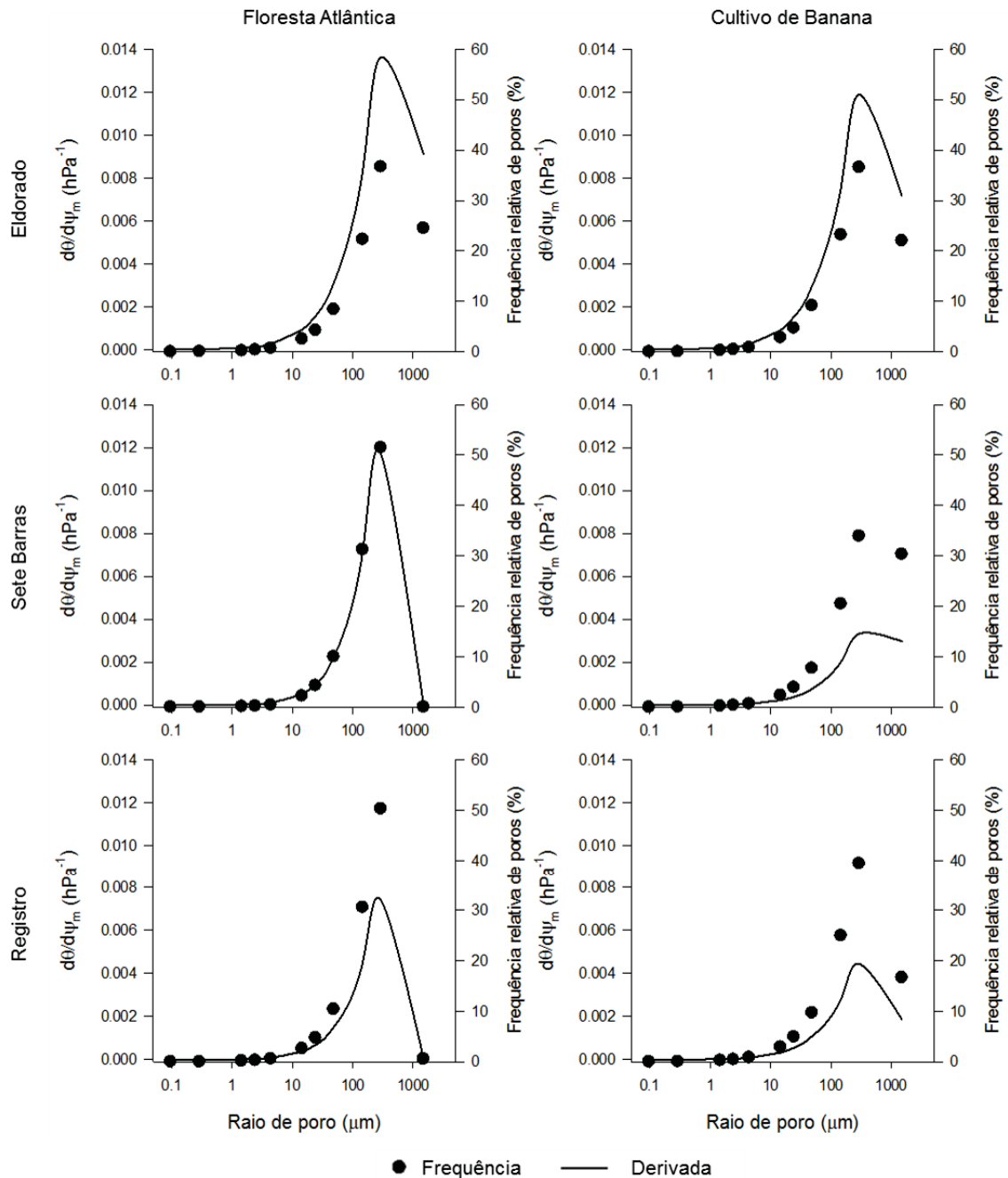
FONTE: O autor (2019).

Entretanto, apesar do menor potencial de retenção, ocasionado pela menor contribuição de argila nestas áreas, quando considerada a água disponível, todos os tratamentos avaliados, independente do sistema, apresentaram valores semelhantes, variando de $0,11$ a $0,15 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (Figura 9), não havendo, portanto, comprometimento da disponibilidade de água em nenhum sistema.

Quando derivadas as equações das curvas de retenção e obtidas às distribuições do tamanho de poros verifica-se que para o sistema floresta houve predominância de poros na faixa de 290 mm de raio, cuja frequência foi a mais alta para Sete Barras e Registro em relação aos demais, indicando uma mudança abrupta na porosidade promovida pela diferença textural ocorrida entre as áreas, devido à maior proporção de areia grossa nas áreas de Floresta (Figura 10).

Já o sistema de cultivo de banana, apresenta também maior proporção de poros na faixa de tamanho de 290 mm, entretanto por possuir um gradiente textural mais homogêneo (Tabela 7), a variação na frequência e na proporção do tamanho de poros é mais bem distribuída, fator que contribui para a maior retenção de água no solo e diminuição na velocidade de infiltração.

FIGURA 10. DISTRIBUIÇÃO E FREQUÊNCIA RELATIVA DO TAMANHO DE POROS PELA DERIVAÇÃO DA EQUAÇÃO DE VAN GENUCHTEN PARA A CAMADA DE 0,0 A 0,2 m NOS SISTEMAS FLORESTA ATLÂNTICA E CULTIVO DE BANANA NOS MUNICÍPIOS DE ELDORADO, SETE BARRAS E REGISTRO - SP.



FONTE: O autor (2019).

3.6 CONCLUSÕES

O manejo para as áreas de banana não foi prejudicial para a qualidade física do solo, pois não ocasionou em redução de porosidade e aumento de densidade, nem na distribuição dos poros de modo negativo, como também manteve a fração da água disponível ao mesmo nível das áreas de floresta, além de promover o maior

estoque de carbono em superfície e total, que favoreceu a maior estabilidade de agregados.

3.7 REFERÊNCIAS

- ÁLVARO-FUENTES, J., ARRÚE, J. L., GRACIA, R., & LÓPEZ, M. V. (2008). Tillage and cropping intensification effects on soil aggregation: Temporal dynamics and controlling factors under semiarid conditions. **Geoderma**, 145(3-4), 390-396.
- ARSHAD, M. A., LOWERY, B., & GROSSMAN, B. (1997). Physical tests for monitoring soil quality. *Methods for assessing soil quality*, 49, 123-141.
- BAYER, C., MIELNICZUK, J., AMADO, T. J., MARTIN-NETO, L., & FERNANDES, S. V. (2000). Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil and tillage research**, 54(1-2), 101-109.
- BISWAS, S., HAZRA, G. C., PURAKAYASTHA, T. J., SAHA, N., MITRAN, T., ROY, S. S., ... & MANDAL, B. (2017). Establishment of critical limits of indicators and indices of soil quality in rice-rice cropping systems under different soil orders. **Geoderma**, 292, 34-48.
- BREWER, R. & SLEEMAN, J.R. (1960). Soil structure: attempts at its quantitative characterization. **Soil Science Society of America Journal**, 11:172-185.
- CASTRO, C., & LOGAN, T. J. (1991). Liming effects on the stability and erodibility of some Brazilian Oxisols. **Soil Science Society of America Journal**, 55(5), 1407-1413.
- CENTURION, J. F., BEUTLER, A. N., & SOUZA, Z. M. D. (2004). Physical attributes of kaolinitic and oxidic oxisols resulting from different usage systems. *Brazilian archives of biology and technology*, 47(5), 725-732.
- EDWARDS, A. P., & BREMNER, J. M. (1967). Microaggregates in soils 1. *Journal of Soil Science*, 18(1), 64-73.
- FAO – Food and Agriculture Organization of United Nations. 2018. Food and agriculture data FAOSTAT. [Acesso 10 jan 2020]. Disponível em <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- HILLEL, D. (1970). Solo e água: fenômenos e princípios físicos. Porto Alegre: UFRGS.
- HOFFMANN, R. B., OLIVEIRA, F. H. T. D., GHEYI, H. R., SOUZA, A. P. D., & ARRUDA, J. A. D. (2010). Acúmulo de matéria seca, absorção e exportação de micronutrientes em variedades de bananeira sob irrigação. **Ciência e Agrotecnologia**, 34(3), 536-544.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2019). Base de dados agregados. Brasília: IBGE. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1618#resultado>. Acesso em: 06 fev. 2019.

JUNIOR, S., DE FREITAS, G., KUHNEN, F., SYLVESTRE, T. D. B., ALMEIDA, C. X. D., & CENTURION, J. F. (2011). Agregação de um argissolo sob pomar de goiabeiras após aplicação de resíduos da indústria processadora de goiaba. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 33(4), 1275-1282.

KLEIN, V. A., & LIBARDI, P. L. (2002). Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, 26(4), 857-867.

MIELNICZUK, J., BAYER, C., VEZZANI, F. M., LOVATO, T., FERNANDES, F. F., & DEBARBA, L. (2003). Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. CURI, N.; MARQUES, JJ; GUILHERME, LRG; LIMA, JM, 209-248.

MONIZ, A. C., JORGE, J., & VALADARES, J. (2009). Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agrônomo de Campinas.

MUALEM, Y. (1976). A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. **Water resources research**, 12(3), 513-522.

PINHEIRO, E. F. M., PEREIRA, M. G., & ANJOS, L. H. C. (2004). Aggregate distribution and soil organic matter under different tillage systems for vegetable crops in a Red Latosol from Brazil. **Soil and Tillage research**, 77(1), 79-84.

REICHERT, J. M., REINERT, D. J., & BRAIDA, J. A. (2003). Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência Ambiental**, 27, 29-48.

SÁ, J. C. M., SÉGUY, L., TIVET, F., LAL, R., BOUZINAC, S., BORSZOWSKI, P. R., ROSA, J. (2015). Carbon depletion by plowing and its restoration by no-till cropping systems in oxisols of subtropical and tropical agro-ecoregions in Brazil. **Land Degradation & Development**, 26(6), 531-543.

SÁ, M. A. C., DE LIMA, J. M., SILVA, M. L. N., & DIAS, J. (2000). Comparison of methods for aggregate stability studies in soils. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 35(9), 1825-1834.

SALTON, J. C., MIELNICZUK, J., BAYER, C., BOENI, M., CONCEIÇÃO, P. C., FABRÍCIO, A. C., ... & BROCH, D. L. (2008). Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, 32(1), 11-21.

SISTI, C. P., DOS SANTOS, H. P., KOHHANN, R., ALVES, B. J., URQUIAGA, S., & BODDEY, R. M. (2004). Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil and tillage research**, 76(1), 39-58.

SPERA, S. T., SANTOS, H. P. D., FONTANELI, R. S., & TOMM, G. O. (2009). Integração lavoura e pecuária e os atributos físicos de solo manejado sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33(1), 129-136.

STAFF, S. S. D. (1993). SOIL SURVEY MANUAL. USDA Handbook N° 18. Washington.

TISDALL, J. M. (1994). Possible role of soil microorganisms in aggregation in soils. **Plant and soil**, 159(1), 115-121.

TISDALL, J. M., & OADES, J. (1982). Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of soil science**, 33(2), 141-163.

TORMENA, C. A., ROLOFF, G., & SÁ, J. C. M. (1998). Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22(2), 301-309.

VAN GENUCHTEN, M. T. (1980). A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils 1. **Soil science society of America journal**, 44(5), 892-898.

VELDKAMP, E. (1994). Organic carbon turnover in three tropical soils under pasture after deforestation. **Soil Science Society of America Journal**, 58(1), 175-180.

VEZZANI, F. M., & MIELNICZUK, J. (2009). Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33(4), 743-755.

WALKLEY, A., & BLACK, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil science**, 37(1), 29-38.

4 CAPÍTULO II: ANÁLISE MULTIVARIADA PARA INTERPRETAÇÃO DA MACROFAUNA EDÁFICA DO SOLO EM FLORESTA ATLÂNTICA E CULTIVO DE BANANA NO VALE DO RIBEIRA - SP.

4.1 RESUMO

Sistemas agrícolas alteram a qualidade do solo em função do manejo e a macrofauna edáfica é um importante indicador de perturbações e alterações nessa qualidade. A bananicultura é uma importante atividade econômica no Brasil e seu manejo altera as propriedades do solo, pelo fornecimento de material orgânico e *inputs* contínuos de nutrientes. Com isso objetivou-se avaliar o efeito do sistema de cultivo de banana sobre os táxons da macrofauna edáfica a partir da amostragem por armadilhas de queda (Pitfall traps), ao longo das estações do ano em municípios do Vale do Ribeira, principal região produtora de São Paulo – BR em contraste com áreas de Floresta Atlântica. Foram encontrados no total 14 táxons de macrofauna edáfica, que junto à amostragem do solo foram submetidos à análise multivariada para interpretação das relações. Apesar da maior diversidade e riqueza de táxons serem observadas na floresta, o cultivo de banana apresentou valores muito próximos e com melhor distribuição ao longo das áreas, e o regime de chuvas e a temperatura foram fatores determinantes no comportamento da fauna edáfica independente do sistema.

Palavras-chave: Bananal. Qualidade do solo. Bioindicadores. Fauna edáfica.

4.2 ABSTRACT

Agricultural systems may alter soil quality as a function of management, and soil macrofauna is an important indicator of disturbance and changes in soil quality. Banana cultivation is an important economic activity in Brazil and its management alters soil properties through the supply of organic material and continuous nutrient inputs. The objective of this study was to evaluate the effect of the banana crops system on the population and groups of the edaphic macrofauna by pitfall traps samplings throughout the seasons of the year in countise of Vale do Ribeira, main region producer in São Paulo – BR, in contrast to Atlantic Forest areas. A total of 14 edaphic groups were found, which together with soil sampling were submitted to multivariate analysis for interpretation of their relationships. Although greater diversity and richness of taxa were observed in the forest, banana crops showed very close values and better distribution across the areas, and rainfall and temperature were determinant factors in the behavior of soil fauna independent of the system.

Keywords: Banana fields. Soil quality. Bioindicators. Soil fauna.

4.3 INTRODUÇÃO

A exploração e redução de ecossistemas naturais complexos, e sua conversão em sistemas de monocultivo acarretam na redução da diversidade de populações de organismos que habitam o solo (da SILVA et al., 2006; BARETTA et al., 2011) pela limitação de habitats e nichos alimentares específicos de

determinados táxons (ODUM, 1983, MARCHÃO et al., 2009), além das modificações do microclima e da qualidade do solo. Até que um novo equilíbrio seja estabelecido entre as populações remanescentes na cadeia trófica, grandes alterações podem ocorrer ao longo do tempo, decorrentes do amadurecimento do novo sistema (SANTOS et al., 2016).

Estudos em plantio direto, pastagens e cultivos perenes indicam que tais áreas agrícolas, apesar de diferirem de sistemas naturais, são muito mais diversas e próximas destes sistemas que cultivos anuais (GIZZI et al., 2009; LIMA et al., 2011), em razão da menor ação antrópica pelo revolvimento e exposição do solo e da manutenção do microclima (LAVELLE & SPAIN, 2001) ao longo dos anos, o que favorece e acelera o estabelecimento e manutenção de diferentes populações de organismos do solo a alcançarem certo equilíbrio e complexidade de relações.

A cultura da banana é expressiva, sendo a segunda fruta mais produzida mundo, com o Brasil em quarta posição com 6,7 milhões de toneladas (FAO, 2018). A banana é considerada uma planta anual, entretanto seu rizoma é perene e por isso o revolvimento do solo é mínimo. A cultura aporta ao solo grandes quantidades de material orgânico e restitui grande parte dos nutrientes extraídos (BORGES, 1991; SORARES et al., 2008; HOFFMAN et al., 2010).

Apesar de expressiva, pouco se conhece sobre o comportamento da macrofauna edáfica para esta cultura. Casaril et al. (2019) relataram variação nos grupos taxonômicos em razão das épocas de seca e chuva e Rodriguez et al. (2019) verificaram que o cultivo de café sombreado por bananeira obteve maior correlação da macrofauna com a bananeira do que com o café. Entretanto, poucos estudos foram realizados em áreas expressivas de produção, como o Vale do Ribeira, principal região produtora do estado de São Paulo.

Considerando a diversidade e a densidade da macrofauna do solo como bioindicadora de perturbações da qualidade ambiental, objetivou-se avaliar a qualidade de sistemas de cultivos de banana com mais de 30 anos, por meio da identificação e quantificação de diferentes táxons, em comparação a áreas de Floresta Atlântica adjacentes e correlaciona-los com atributos do solo, climáticos e sazonais.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

3.4.1 LOCAL E AMOSTRAGEM

O experimento foi realizado na bacia do Rio Ribeira de Iguape, estado de São Paulo - BR, em três microbacias localizadas nos municípios de Eldorado (24°29'47.6"S 48°02'21.5"W), Sete Barras (24°23'57.7"S 47°55'14.0"W) e Registro (24°25'53.1"S 47°49'43.1"W), que apresentam os climas do tipo Af, tropical chuvoso com pluviosidade superior a 60 mm no mês mais seco (Sete Barras e Registro), e Am, tropical chuvoso com pluviosidade inferior a 60 mm no mês mais seco (Eldorado), com precipitação média anual variando de 1500 a 1600 mm, com a maior concentração nos meses de janeiro a março. A temperatura média anual varia de 23,9 a 24,3° C, com mínimas de 12,6 a 13,0° C em julho e máximas de 33,8 a 34,2° C em fevereiro (CEPAGRI, 2018; CIIAGRO, 2018).

Foram selecionadas, para cada município, áreas adjacentes de Floresta Atlântica (AF) e cultivo de banana (BC), em uso a mais de 30 anos, às margens do Rio Ribeira de Iguape (principal rio da bacia), sendo realizadas quatro campanhas de amostragens sazonais (primavera, verão, outono e inverno), iniciando-se em outubro de 2018 e finalizadas em julho de 2019.

Para cada área amostral foram determinados e georreferenciados 10 pontos de coleta, em uma faixa paralela às margens do rio, com distância mínima de 10 m e máxima de 50 m, cujos pontos foram distribuídos em transecto, aproximadamente 20 m de distância entre pontos e 5 m entre repetições, no interior da faixa amostral.

Foi realizada coleta da macrofauna epiedáfica ao longo das estações do ano, iniciando-se na primavera de 2018 e finalizando no outono de 2019, utilizando as armadilhas de queda (*Pitfall Traps*), sendo distribuídas duas armadilhas por ponto em cada local de coleta, totalizando 60 amostras. As armadilhas Pitfall são recipientes de plásticos com 15 cm de altura e 10 cm de diâmetro, enterrados ao nível do solo, de forma que os animais ativos na superfície do solo possam cair acidentalmente dentro dos recipientes (AQUINO et al., 2006). Cada armadilha possuía aproximadamente 200 ml de uma solução conservante etilenoglicol, etanol 99 %, água e formol 4 %, na proporção 70:28:2, adicionando-se algumas gotas de detergente para romper a tensão superficial da água (FREITAS et al., 2004). Ao final de cinco dias, as armadilhas foram retiradas e levadas para laboratório, onde foi realizada a identificação dos grupos taxonômicos.

Os organismos edáficos capturados foram analisados com o auxílio de um microscópio estereoscópico (lupa) e quantificados em nível de grandes grupos (Ordem, Família e Classe), com base nas características morfológicas externas observadas. Sendo determinados posteriormente para cada ponto os índices de diversidade (S), índice de Shannon (H) e a equitabilidade de Pielou (J), com o uso do software PAST.

Em cada ponto foram coletadas amostras de solo, na camada de 0,0 a 0,2 m, para determinação dos parâmetros pH, C orgânico, Ca, Mg, K, P, Al, H+Al, S, Fe, Na, Mn, Cu, Zn, B, soma de bases, capacidade de troca de cátions (EC), saturação por bases, areia, silte e argila (RAIJ et al., 2001).

3.4.2 ANÁLISES E ESTATÍSTICA

A fim de identificar potenciais atributos do solo correlatos aos táxons e índices biológicos da macrofauna foi realizado o teste de correlação de Pearson, considerando-se como suficiente quando $r > 0.50$. Após a seleção das variáveis do solo, estes foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk a $p > 0.05$ utilizando-se a transformação de Box-Cox, quando necessário.

As variáveis correspondentes aos táxons da macrofauna foram padronizadas para percentagem de indivíduos em relação à população total obtida em cada um, de modo a maximizar as correlações e diminuir a variância amostral proveniente dos distintos táxons.

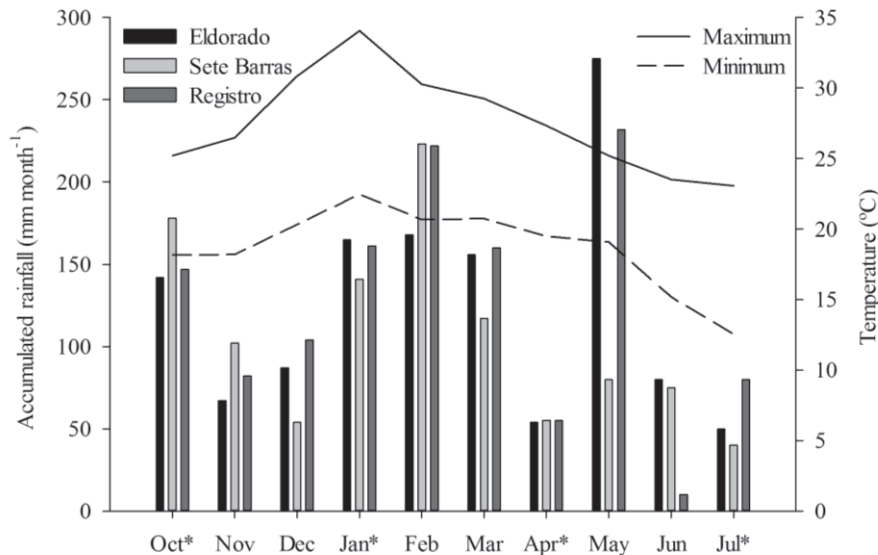
Foi aplicada a análise de componentes principais (PCA) com base na matriz de correlação dos dados, após a padronização para média 0 e variância 1, e em seguida realizou-se a análise de função discriminante linear (LDA) a fim identificar possíveis grupos formados em função das diferentes estações do ano para cada sistema, com o uso do software R.

4.5 RESULTADOS

Durante o período do experimento as coletas de primavera e verão apresentaram média de 155 mm de pluviosidade com 25 e 34° C de temperaturas máximas, e 18 e 22° C de temperaturas mínimas, respectivamente (Figura 11). O outono apresentou a menor pluviosidade acumulada para os meses de amostragem (55 mm) com temperatura máxima de 27 e mínima de 19° C. O inverno apresentou a

segunda menor pluviosidade acumulada (57 mm), e as menores temperaturas dentre os meses de amostragem, 23 e 12° C de máxima e mínima, respectivamente.

FIGURA 11. ACÚMULO DE CHUVA MENSAL POR MUNUCÍPIO E TEMPERATURA MÉDIA.
*MESES DE COLETA DE AMOSTRAS.



FONTE: O autor (2019).

No geral, para ambos os sistemas foram registrados no total de 14 táxons (Ordens): Amphipoda, Coleoptera (adultos e larvas), Dermaptera, Diplopoda, Hymenoptera (Formicidae), Gastropoda (Pulmonata), Hemiptera, Isopoda, Oligochaeta, Orthoptera, Diptera (larva) e Lepidoptera (larva), Blattodea, Araneae. O sistema AF apresentou maior diversidade média de grupos (10.5) em relação ao sistema BC (8.1), com primavera > outono > inverno = verão e inverno > primavera > verão = outono, respectivamente.

A correlação linear de Pearson entre os atributos do solo e os táxons e índices biológicos obteve $r > 0.50$ apenas para P, Mg, H+Al, CTC, Mn, Areia e Argila, sendo estes atributos selecionados para compor a matriz de dados da PCA.

A análise de componentes principais (PCA) apresentou 60 % da variância explicada nos três primeiros componentes (Tabela 9), sendo que os maiores autovetores e correlações apresentadas no PC 1 foram obtidas pelos atributos químicos do solo, no PC 2 por araneae, hymenoptera (formicidae), ortóptera e pelo índice de Shannon (D') e no PC 3 por coleóptera, isopoda e pelos índices de Shannon (D') e equitabilidade (J).

TABLE 9. AUTOVALOR, PROPORÇÃO E PORPORÇÃO ACUMULADA DA VARIÂNCIA POR COMPONENTE PRINCIPAL, AUTOVETOR E PORCENTAGEM DA VARIÂNCIA PARA CADA VARIÁVEL DENTRO DE CADA COMPONENTE.

CP	1	2	3
Autovalor	7,96	3,72	2,62
% variancia	0,33	0,16	0,11
Variância acumulada	0,33	0,49	0,60

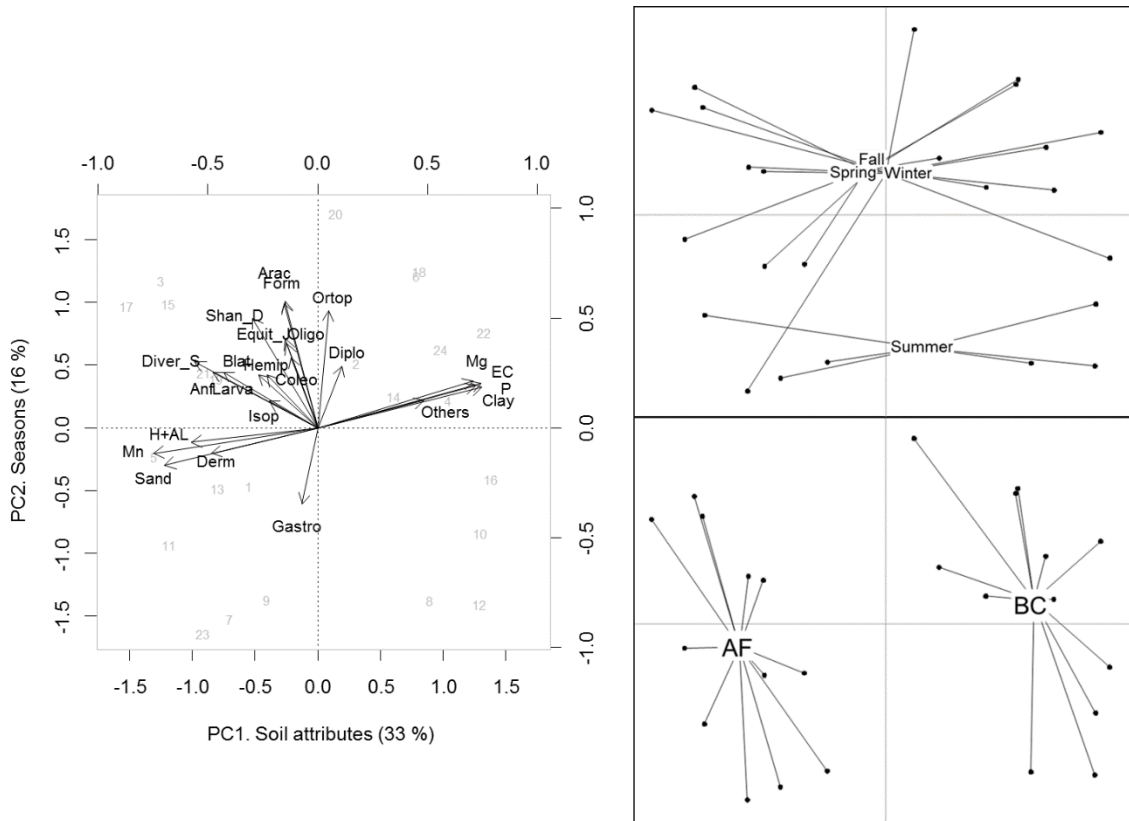
Variáveis	Autovetor (% da Variancia)						
Macrofauna	Anfipoda	-0.21	(4.5)	0.16	(2.6)	0.13	(1.7)
	Araneae	-0.07	(0.4)	0.37	(14.0)	-0.06	(0.4)
	Blataria	-0.12	(1.4)	0.16	(2.4)	-0.11	(1.1)
	Coleoptera	-0.05	(0.3)	0.21	(4.3)	-0.49	(24.1)
	Dermaptera	-0.22	(4.6)	-0.08	(0.6)	0.12	(1.5)
	Diplopoda	0.05	(0.2)	0.18	(3.3)	-0.11	(1.2)
	Formicidae	-0.07	(0.5)	0.37	(13.5)	0.01	(0.0)
	Gastropoda	-0.03	(0.1)	-0.22	(5.0)	0.27	(7.1)
	Hemiptera	-0.10	(1.0)	0.16	(2.4)	-0.07	(0.6)
	Isopoda	-0,10	(1,0)	0,08	(0,6)	-0,35	(12,4)
	Larva	-0,19	(3,7)	0,16	(2,7)	-0,02	(0,1)
	Oligoqueta	-0,06	(0,4)	0,25	(6,1)	0,30	(9,0)
	Ortoptera	0,02	(0,0)	0,34	(11,9)	-0,22	(4,9)
	Outros	0,21	(4,6)	0,08	(0,7)	0,04	(0,2)
Indic. Biol.	Riqueza (S)	-0,25	(6,2)	0,20	(3,8)	-0,07	(0,5)
	Shannon (H')	-0,13	(1,7)	0,33	(10,6)	0,37	(14,0)
	Equitabilidade (J)	-0,06	(0,4)	0,26	(6,9)	0,45	(20,0)
Solo	P	0,33	(11,0)	0,12	(1,5)	0,02	(0,0)
	Mg	0,31	(9,8)	0,14	(1,9)	0,03	(0,1)
	HAL	-0,26	(6,6)	-0,04	(0,2)	-0,04	(0,1)
	EC	0,33	(10,9)	0,13	(1,7)	0,05	(0,2)
	Mn	-0,33	(10,9)	-0,08	(0,6)	0,04	(0,2)
	Areia	-0,31	(9,5)	-0,11	(1,2)	-0,06	(0,4)
Argila	0,32	(10,1)	0,12	(1,5)	0,03	(0,1)	
Total	-	100	-	100	-	100	

FONTE: O autor (2019).

Considerando que os três primeiros componentes explicaram 60 % da variância, e que os componentes seguintes agregaram pouco à proporção acumulada, baseou-se a interpretação da ACP apenas nestes componentes. De modo que, considerando o biplot dos PCs 1 e 2 (Figura 12) verificou-se a clara distinção entre o sistema Floresta Atlântica (AF) e o cultivo de banana (BC) em relação ao PC1, indicando a fertilidade do solo como o principal fator de distinção

dos sistemas, com a Floresta Atlântica apresentando os maiores valores de acidez potencial (H+Al), areia e Mn enquanto o cultivo de banana obteve os maiores valores de P, CTC, Mg e argila, enquanto que o PC2 distinguiu-se em relação as estações do ano, agrupando inverno, outono e primavera em contrapartida ao verão.

FIGURA 12. BIPLLOT DOS COMPONENTES PRINCIPAIS 1 E 2 PARA OS AUTOVETORES (VARIÁVEIS) E SCORES (AMOSTRAS) E PROJEÇÃO DAS AMOSTRAS EM FUNÇÃO DAS ESTAÇÕES DO ANO E DOS SISTEMAS AVALIADOS.

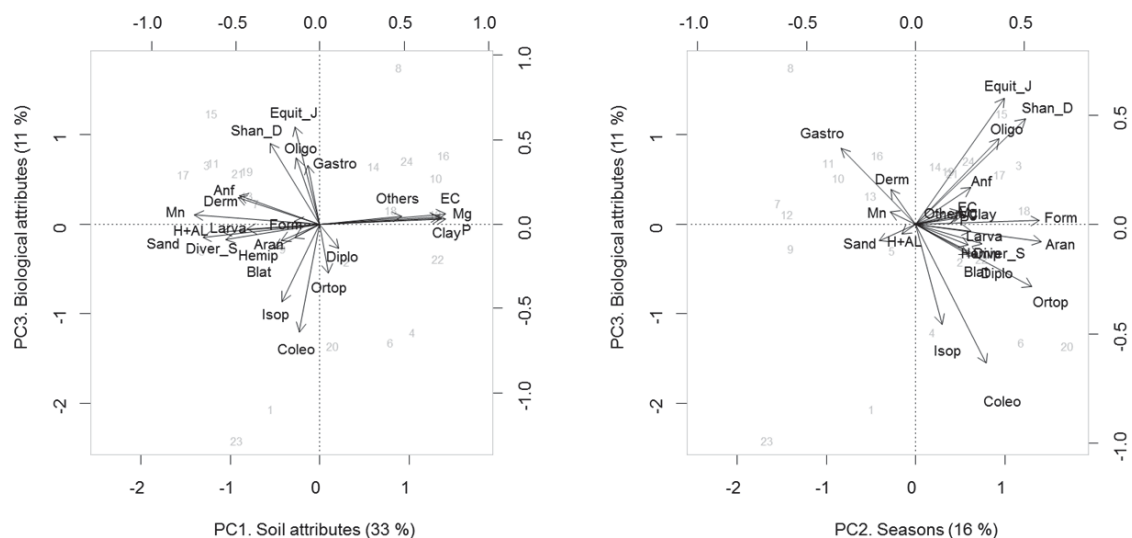


FONTE: O autor (2019).

Considerando-se os grupos e os índices de diversidade verificou-se que, no geral, houve maior população e diversidade na AF, com isopoda, anfipoda e larvas correlacionando-se fortemente ao sistema no outono, primavera e inverno, e dermaptera no verão. Já para o sistema BC, houve maior relação com os táxons diplopoda e ortóptera durante a primavera, outono e inverno, no verão verificou-se uma redução drástica na macrofauna do sistema BC, correspondendo à 4.18 % do total da população avaliada no período, considerando a média geral de 12.5 % decorrente da distribuição da população total em quatro estações e em dois sistemas.

O PC3 discriminou os atributos biológicos em relação aos atributos do solo (PC1) e estações do ano (PC2) (Figura 13). Em relação ao PC1, anfipoda, dermaptera e os estádios larvais apresentaram a maior correlação com a acidez do solo, os teores de areia e Mn, bem como o índice de diversidade (S). Blattodea, hemíptera, araneae e formicidae apresentaram baixa relação entre as propriedades do solo, indicando pouca influência deste fator na distribuição e diversidade destes táxons.

FIGURA 13. BIPLLOT DOS COMPONENTES PRINCIPAIS DOS ATRIBUTOS DO SOLO (PC1) E DAS ESTAÇÕES DO ANO (PC2) EM FUNÇÃO DOS ATRIBUTOS BIOLÓGICOS PARA CADA AUTOVETOR (VARIÁVEIS) E SCORES (AMOSTRAS).



FONTE: O autor (2019).

Para a PC2, apenas gastropoda e dermaptera apresentaram relação com as temperaturas mais elevadas e o clima mais seco apresentado no verão. Os grupos Formicidae, araneae, ortóptera, coleóptera e oligochaetas correlacionaram-se com os climas mais úmidos e amenos (primavera, inverno e outono), bem como os índices de Shannon (D) e equitabilidade de Pielou (J), seguidos por blattodea, diplopoda e hemíptera.

Considerando as correlações positivas e discriminações apresentadas na PCA, realizou-se a análise discriminante linear (LDA) a fim de confirmar estatisticamente os agrupamentos observados, em função dos sistemas e das estações. A LDA composta por todas as variáveis originais da PCA apresentou 75 % da variância explicada no traço da primeira função discriminante para a interação

sistema-estação (Tabela 10) e 10 % na segunda função. Quando considerado apenas as estações obteve-se 58 e 31 %, nas funções 1 e 2, respectivamente.

TABELA 10. PROPORÇÃO DO TRAÇO E SCORES DAS VARIÁVEIS DAS FUNÇÕES DISCRIMINANTE LINEAR (LDA) 1 E 2 PARA AS ESTAÇÕES DO ANO E A INTERAÇÃO ENTRE ESTAÇÕES E SISTEMAS DE CULTIVO.

Função da LDA		1	2	1	2
		Interação (estação - sistema)		Estação	
Proporção do traço		0.75	0.10	0.58	0.31
Acumulado		0.75	0.85	0.58	0.89
Variáveis		Scores		Scores	
Macrofauna	Anfipoda	8,59	4,46	1,11	-0,03
	Araneae	-6,13	2,64	-0,88	-1,07
	Blattaria	7,72	4,55	2,25	0,93
	Coleoptera	-5,72	3,34	0,44	0,92
	Dermaptera	7,96	2,19	-0,33	-1,32
	Diplopoda	-6,93	2,76	-1,34	-0,75
	Formicidae	7,11	-3,89	-1,65	0,53
	Gastropoda	-6,11	-0,69	-0,01	-0,26
	Hemiptera	4,04	-4,59	-1,60	-0,17
	Isopoda	-6,50	-0,18	1,37	2,40
	Larva	5,77	-5,37	0,60	0,13
	Oligoqueta	-7,05	1,37	-2,31	3,14
	Ortoptera	8,92	-2,14	-0,40	-0,06
	Outros	-3,40	3,22	0,44	1,43
Indic. Bio.	Richness (S)	9,31	0,01	0,21	-0,82
	Shannon (H)	-7,34	2,58	3,24	3,08
	Equitability (J)	8,29	1,54	-2,10	-3,54
Solo	P	-5,03	1,71	-0,29	0,27
	Mg	5,93	-0,80	1,52	0,39
	HAL	-11,45	-3,88	-0,75	0,49
	CTC	7,48	-1,61	0,03	0,13
	Mn	-11,07	-3,20	0,54	1,44
	Areia	6,83	-1,01	-1,10	-1,20
Argila	-11,23	-2,98	-0,54	-0,67	

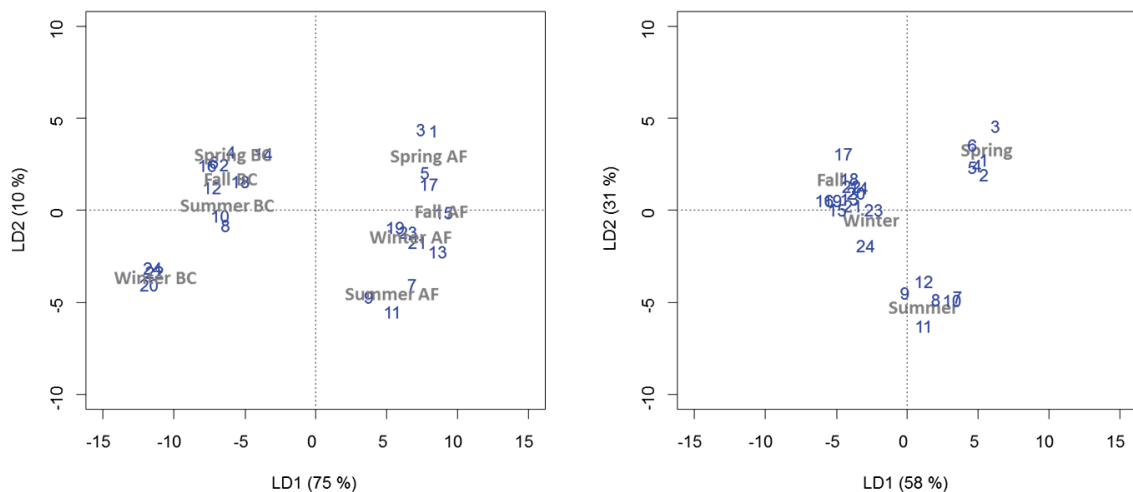
FONTE: O autor (2019).

Segundo os scores obtidos na LDA da interação sistema-estação, as variáveis que mais contribuíram na distinção de grupos foram as propriedades do solo: argila, Mn e H+Al, o índice de diversidade (S) e os táxons anfipoda e ortóptera. Tais scores corroboram com o observado na PCA para todas as variáveis indicadas.

Já para a LDA apenas entre estações, os maiores scores foram obtidos para os índices de Shannon (D) e equitabilidade (J) e os táxons blattodea, oligochaeta e isopoda.

O biplot das funções discriminantes (Figura 14) confirmou os sistemas Floresta Atlântica e cultivo de banana como grupos distintos, demonstrando que o inverno distingui-se mais fortemente das demais estações para BC e verão para AF. A LDA para estações discriminou outono e inverno como um grupo, distinguindo-os de primavera e de verão, como outros dois grupos distintos.

Figura 14. BIPLLOT DA ANÁLISE DISCRIMINANTE LINEAR EM FUNÇÃO DA INTERAÇÃO ENTRE ESTAÇÕES E SISTEMA DE CULTIVO E APENAS PARA AS ESTAÇÕES DO ANO.



FONTE: O autor (2019).

Quanto aos índices obtidos, a riqueza (S) total de táxons encontrada foi 14, com a maior média obtida no sistema AF (10,5) não muito distante do BC (8,1). Quando consideradas às estações, a diferença entre os sistemas foi mais evidente nos meses mais quentes, com 10,0 e 6,7 no verão e secos com 10,7 e 6,7 no outono, para AF e BC, respectivamente.

O índice de Shannon (H), que avalia a diversidade de grupos no ambiente, foi, na média, maior para AF (1,3) e menor no BC (1,2), sendo, assim como S', importante na discriminação dos grupos em função das estações (Tabelas 9 e 10). Curiosamente, o maior valor de H' obtido foi no outono, mês mais seco, no sistema AF (1,5) e os menores no verão para o BC (1,1) e no inverno para AF (1,1).

Diferentemente dos índices anteriores, a equitabilidade (J), distribuição dos indivíduos, foi maior no BC (0,57) do que na AF (0,53), sendo também afetada pelas

estações com menor valor obtido na AF (0,49) durante o inverno e maior obtido no BC (0,63), durante o outono.

4.6 DISCUSSÃO

Além das características do solo, os fatores climáticos (temperatura e pluviosidade) influenciam a modelagem das populações da macrofauna, de modo que cada grupo responderá de maneira própria à variação de temperatura, umidade, amplitude térmica e etc. Sabe-se que 25° C é a temperatura ótima geral para o desenvolvimento dos insetos (SILVEIRA NETO et al., 1976; RESH & CARDÉ, 2009).

A redução da população da macrofauna observada no verão está mais relacionada ao aumento da temperatura do que a pluviosidade, que se manteve a mesma que a da primavera (Figuras 11, 12 e 13). Os maiores teores de areia no sistema AF (Figura 12) contribuíram para a maior infiltração de água no solo e, portanto, para a diminuição da umidade, principalmente no inverno (Figura 13).

Gastropoda apresentou maior abundância durante o verão, quando comparado aos outros grupos, de forma geral os demais organismos edáficos apresentaram redução populacional. De acordo com Hyman (1967), Quijon et al. (2001) e Gomes et al. (2004), a temperatura é o que influencia no desenvolvimento dos gastropodas, ocorrendo a redução da atividade e a hibernação com a diminuição das temperaturas.

A ordem ortoptera apresentou a maior população na primavera para o BC (Figura 13), corroborando com a literatura, na qual a abundância é intimamente influenciada pela temperatura (CHAPPELL & WHITMAN, 1990; SCANLAN et al., 2001) e sofre pouca influência dos atributos do solo, apresentando preferência por sistemas agrícolas à sistemas nativos (Figura 12 e 13) pela diminuição da variabilidade ambiental e menor controle populacional da ordem.

A ordem araneae e a família formicidae apresentaram alta correlação entre si em todas as PCAs (Figura 12 e 13), e também com o sistema AF nas estações mais frias (outono e inverno) e pouca correlação aos atributos do solo, apesar de conhecida relação entre água no solo, nitrogênio e matéria orgânica nas populações de formigas (da SILVA et al., 2017). Diehl-Fleig & Rocha (1988) identificaram que alguns gêneros apresentam preferência por texturas mais arenosas do solo em detrimento da fertilidade. Wilkie et al. (2010) também destacaram, dentre sete fatores, a serapilheira e a cobertura do solo como importantes à população de

formigas, sendo que no BC esses fatores sofrem redução comparado à AF. Considerando o hábito alimentar das aranhas, diversas espécies apresentam preferência por formigas (GONZALEZ, 1979; ABALOS, 1980 ;MACKAY, 1982; DIAS & BRAZIL, 1999), o que justifica a alta correlação encontrada entre essas populações.

Os coleópteros apresentam grande variabilidade e difusão de habitats. Entretanto, estudos em áreas de Floresta Atlântica, demonstram que as populações e o número de espécies diminuem acima dos 22° C de temperatura média e abaixo dos 100 mm mensais de precipitação (ENDRES et al., 2005; RODRÍGUEZ, 2016), corroborando com os resultados obtidos neste estudo, que indicam a maior presença de coleópteros nas estações mais amenas (inverno e primavera) (Figura 11 e 13), devido também a maior oferta de alimento e maior demanda das taxas de decomposição, sendo a temperatura o fator comum entre as estações.

O mesmo comportamento foi observado também para isopoda, com ambas as ordens correlacionando-se mais fortemente ao sistema AF, devido à maior riqueza e variabilidade alimentar. Resultados distintos foram observados por Marinoni e Ganho (2003) e Teixeira et al. (2009), cuja maior população e riqueza foram encontrados nos meses de maior temperatura atrelados à maior precipitação (outubro a março) nos estados do Paraná e Rio de Janeiro, respectivamente.

Para blattodea e diplopoda, a correlação oposta com o grupo dos oligochaeta, reflete que estes grupos assumem o papel de fragmentação e decomposição da serapilheira nos ambientes florestais tropicais, quando a abundância de oligochaetas é menor (RUPPERT et al., 2004).

Os estádios larvais de coleóptera, díptera e lepidoptera apresentaram baixa correlação aos atributos do solo e ao efeito das estações (Figura 13), pois os estádios larvais apresentam baixa relação com armadilhas de queda, sendo mais significativos na coleta de monólitos de solo (CASARIL et al., 2019) em função de seus hábitos.

A semelhança na diversidade (S) obtida para floresta e o cultivo de banana indica que as relações estabelecidas entre os grupos taxonômicos sejam muito próximas para os dois sistemas durante os meses mais amenos, já nos meses mais secos ou quentes pode ocorrer a redução da população ou a migração de alguns táxons das áreas de banana para as áreas de floresta justificando essa diferença, como demonstrado na análise discriminante (Tabela 10).

Os efeitos da variação de temperatura e umidade nos ambientes alterou a diversidade (H) dos grupos ao longo do tempo, afetando negativamente a distribuição da macrofauna nos períodos mais quentes no cultivo de banana, em função de alterações mais significativas no microclima deste sistema em comparação à floresta. A maior umidade mantida abaixo do dossel florestal também contribui negativamente para o microclima nos meses mais frios, acarretando no menor valor de H' obtido para o sistema neste período.

A distribuição dos táxons nas áreas amostradas (equitabilidade J) refletiu as características do próprio sistema, de modo que em áreas mais homogêneas como os monocultivos, com distribuição e espaçamento uniforme das plantas, dificultam a formação de nichos específicos para determinados grupos, que apesar da diminuição de diversidade, favorecem a ocorrência dos indivíduos em toda a área, o que não necessariamente corresponde a uma melhor qualidade do sistema.

Já os sistemas mais complexos, como a floresta, cuja distribuição das plantas varia tanto no espaço quanto no tempo, favorecem a heterogeneidade de nichos e táxons, induzindo a permanência de determinados indivíduos em locais específicos a partir de suas características morfofisiológicas e de alimentação.

4.7 CONCLUSÕES

A variação sazonal foi determinante na distribuição das populações da macrofauna em ambos os sistemas, sendo mais significativa para o cultivo de banana.

A Floresta Atlântica apresentou a maior riqueza de grupos e maior índice de diversidade, enquanto o cultivo de banana apresentou a melhor distribuição dos indivíduos nas áreas.

O manejo adotado no sistema de cultivo de banana não compromete a macrofauna no geral.

4.8 REFERÊNCIAS

ABALOS, J. W. (1978). Las arañas del género *Latrodectus* en la Argentina..

AQUINO, A. M., AGUIAR-MENEZES, E. D. L., & DE QUEIROZ, J. M. (2006). Recomendações para coleta de artrópodes terrestres por armadilhas de queda ("Pitfall-Traps"). Embrapa Agrobiologia-Circular Técnica (*INFOTECA-E*).

BARETTA, D., SANTOS, J. C. P., SEGAT, J. C., GEREMIA, E. V., OLIVEIRA FILHO, L. D., & ALVES, M. V. (2011). Fauna edáfica e qualidade do solo. **Tópicos em ciência do solo**, 7, 119-170.

BORGES, A. L. (1991). **Influência da cobertura morta nas características químicas do solo e produção da bananeira**. EMBRAPA-CNPMP.

CASARIL, C. E., DE OLIVEIRA FILHO, L. C. I., SANTOS, J. C. P., & DA ROSA, M. G. (2019). Fauna edáfica em sistemas de produção de banana no Sul de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, 14(1), e5613.

EPAGRI – Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura. (2018). **Clima dos municípios paulistas**. São Paulo: Unicamp. Disponível em: <https://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html>. Acesso em 12 jan. 2019.

CHAPPELL, M. A., & WHITMAN, D. W. (1990). Grasshopper thermoregulation. **Biology of grasshoppers**, 143-172.

CIIAGRO - Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas. (2018). **Monitoramento Climático**. São Paulo: CIIAGRO. Disponível em: <http://www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline/Listagens/MonClim/MonClimAtualEDR.asp>. Acesso em: 15 jan. 2019.

da SILVA, E. F., CORÁ, J. E., HARADA, A. Y., & SAMPAIO, I. B. M. (2017). Association of the Occurrence of Ant Species (Hymenoptera: Formicidae) with Soil Attributes, Vegetation, and Climate in the Brazilian Savanna Northeastern Region. **Sociobiology**, 64(4), 442-450.

da SILVA, R. F., DE AQUINO, A. M., MERCANTE, F. M., & DE FÁTIMA GUIMARÃES, M. (2006). Macrofauna invertebrada do solo sob diferentes sistemas de produção em Latossolo da Região do Cerrado. **Pesquisa agropecuária brasileira**, 41(4):697-704.

DIAS, M. D. F. D. R., & BRAZIL, T. K. (1999). Comportamento e dieta alimentar de uma espécie de *Latrodectus* do grupo *Mactans* (Araneae, Theridiidae) em cativeiro. **Revista Brasileira de Zoologia** 16(4): 991-996.

DIEHL-FLEIG, E., & ROCHA, E. S. D. (1998). Soil selection by *Acromyrmex striatus* (Roger) females (Hymenoptera: Formicidae) for nest building. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, 27(1), 41-45.

ENDRES, A. A., HERNÁNDEZ, M. I. M., & CREÃO-DUARTE, A. J. (2005). Considerações sobre *Coprophanæus ensifer* (Germar)(Coleoptera, Scarabaeidae) em um remanescente de Mata Atlântica no estado da Paraíba, Brasil. **Revista Brasileira de Entomologia**, 49(3), 427-429.

FAO – Food and Agriculture Organization of United Nations. 2018. Food and agriculture data FAOSTAT. [Acesso 10 jan 2020]. Disponível em <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>

- FREITAS, A. V. L., FRANCINI, R. B., & BROWN JR, K. S. (2003). Insetos como indicadores ambientais. CULLEN, L. JR., R. RUDRAN & C. VALLADARES-PÁDUA. **Métodos de estudo em Biologia da Conservação e Manejo da Vida Silvestre**. Curitiba: Fundação Boticário e Editora da UFPR, 125-151.
- GIZZI, A. H., ÁLVAREZ CASTILLO, H. A., MANETTI, P. L., LÓPEZ, A. N., CLEMENTE, N. L., & STUDDERT, G. A. (2009). Caracterización de la meso y macrofauna edáfica en sistemas de cultivo del sudeste bonaerense. **Ciencia del suelo**, 27(1):1-9.
- GOMES, S. R., SILVA, R. S. D., GIL, G. M., & THOMÉ, J. W. (2004). Biological cycle of *Simpulopsis ovata* (Gastropoda, Bulimulidae) in São Francisco de Paula, Rio Grande do Sul, Brazil. Iheringia. **Série Zoologia**, 94(3), 253-259.
- GONZALEZ, A. (1979). Observaciones bioecológicas sobre una especie del género *Latrodectus* (Walckenaer, 1805) del grupo Mactans de Sierra de la Ventana (Provincia de Buenos Aires, Argentina). (Araneae, Theridiidae) III. Desarrollo Post-embrionario. **Acta Zoologica Lilloana**. 35: 97-103.
- HOFFMANN, R. B., OLIVEIRA, F. D., GHEYI, H. R., SOUZA, A. D., & ARRUDA, J. D. (2010). Acúmulo de matéria seca, absorção e exportação de micronutrientes em variedades de bananeira sob irrigação. **Ciência e Agrotecnologia**, 34(3), 536-544.
- HYMAN, Libbie Henrietta. (1967). **The invertebrates: mollusca I**. McGraw-Hill, 1940.
- LAVELLE, P., & SPAIN, A. V. (2001). **Soil ecology**. Springer Science & Business Media.
- LIMA, S. S., DE AQUINO, A. M., LEITE, L. F. C., VELÁSQUEZ, E., & LAVELLE, P. (2011). Relação entre macrofauna edáfica e atributos químicos do solo em diferentes agroecossistemas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 45(3), 322-331.
- MACKAY, W. P. (1982). The effect of predation of western widow spiders (Araneae: Theridiidae) on harvester ants (Hymenoptera: Formicidae). **Oecologia**, 53(3), 406-411.
- MARCHÃO, R. L., LAVELLE, P., CELINI, L., BALBINO, L. C., VILELA, L., & BECQUER, T. (2009). Soil macrofauna under integrated crop-livestock systems in a Brazilian Cerrado Ferralsol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 44(8), 1011-1020.
- MARINONI, R.C. & GANHO, N.G. (2003). Sazonalidade de *Nyssodrysin lignaria* (Bates) (Coleoptera, Cerambycidae, Lamiinae), no Estado do Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**. 20(1):141-152.
- ODUM, E.P. (1983). **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara.

QUIJON, P.; CONTRERAS, H. & JARAMILLO, E. (2001). Population biology of the intertidal snail *Chilina ovalis* Sowerby (Pulmonata) in the Queule River estuary, south-central Chile. **Estuaries**, 24(1):69-77.

RAIJ, B.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. (2001). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo.

RESH, V. H., & CARDÉ, R. T. (Eds.). (2009). **Encyclopedia of insects**. San Diego: Academic press.

RODRÍGUEZ, C. A. S. (2016). Estrutura da vegetação e sua relação com a diversidade, abundância e similaridade de coleópteros bioindicadores em diferentes sistemas vegetacionais, Piracicaba, SP (Doctoral dissertation)

RODRÍGUEZ, N. R., MÁRQUEZ, S. M., & RESTREPO, L. F. (2019). The edaphic macrofauna in three components of the coffee plant arrangement associated with different management typologies, Antioquia, Colombia. **Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo**, 51(2), 78-88.

RUPPERT, E. E., & BARNES, R. D. (1994). **Invertebrate zoology** Vol. 6, New York: Saunders College Publishing.

SANTOS, D. P., SANTOS, G. G., SANTOS, I. L. D., SCHOSSLER, T. R., NIVA, C. C., & MARCHÃO, R. L. (2016). Characterization of soil macrofauna in grain production systems in the Southeastern State of Piauí, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 51(9), 1466-1475.

SCANLAN, J. C., GRANT, W. E., HUNTER, D. M., & MILNER, R. J. (2001). Habitat and environmental factors influencing the control of migratory locusts (*Locusta migratoria*) with an entomopathogenic fungus (*Metarhizium anisopliae*). **Ecological Modelling**, 136(2-3), 223-236.

SILVEIRA-NETO, S., NAKANO, O., BARBIN, D., & VILLA-NOVA, N. A. (1976). **Manual de Ecologia de Insetos**. Piracicaba: Agronômica CERES.

SOARES, F. A. L., GHEYI, H. R., DE OLIVEIRA, F. H. T., FERNANDES, P. D., ALVES, A. N., & DA SILVA, F. V. (2008). Acúmulo, exportação e restituição de nutrientes pelas bananeiras "Prata Anã" e "Grand Naine". **Ciência Rural**, 38(7), 2054-2058.

TEIXEIRA, C. C. L., HOFFMANN, M., & SILVA-FILHO, G. (2009). Comunidade de Coleoptera de solo em remanescente de Mata Atlântica no estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Biota Neotropica**, 9(4), 90:95.

WILKIE, K. T. R., MERTL, A. L., & TRANIELLO, J. F. (2007). Biodiversity below ground: probing the subterranean ant fauna of Amazonia. **Naturwissenschaften**, 94(9), 725-731.

5 CAPÍTULO III: OCORRÊNCIA DE MINHOCAS EM CULTIVOS DE BANANA E FLORESTA ATÂNTICA NO VALE DO RIBEIRA - SP.

5.1 RESUMO

As minhocas são engenheiras do ecossistema capazes de modificar fortemente as propriedades do solo, dependendo de suas espécies e hábitos de vida. Elas também contribuem para a manutenção do meio ambiente funcionando por meio de serviços ambientais que ocorrem tanto no sistema agrícola quanto no natural. Entretanto, pouco se sabe sobre a ocorrência de minhocas em bananais, principalmente no estado de São Paulo. A região do Vale do Ribeira está entre as maiores áreas produtoras e cultivadas de banana do Brasil. Assim, o presente estudo teve como objetivo avaliar a ocorrência de espécies de minhocas em bananeiras e fragmentos de Mata Atlântica ao longo do rio Ribeira de Iguape, no Estado de SP, através da triagem manual de monólitos de solo pelo método TSBF. A riqueza das áreas amostradas totalizou duas espécies, uma da família Rhinodrilidae (*Pontoscolex corethrurus*) e outra Megascolecidae (*Amyntas gracilis*), ambas ocorrendo simultaneamente nos sistemas amostrados. O presente estudo concluiu que a ocorrência apenas de espécies exóticas e sua presença e competição por associações espaciais e alimentares inibe a presença de espécies nativas que poderiam ocorrer nas áreas de bananeira e solos adjacentes.

Palavras-chave: Espécies de minhocas. Oligochaeta. Biodiversidade.

5.2 ABSTRACT

Earthworms are ecosystem engineers able to strongly modify soil properties depending on their species and living habit. They also contribute to the maintenance of the environment functioning through environmental services which occurs both in agricultural and natural landscapes. However, little is known about the occurrence of earthworms in banana crops, especially in São Paulo State. The Vale do Ribeira region is among the largest banana producing and cultivated areas in Brazil. Thus, the present study aimed to evaluate the occurrence of earthworm species in banana crops and Atlantic forest fragments along the Ribeira River in SP State by handsorting soil monoliths of *Tropical Soil Biology and Fertility* (TSBF) method. The richness of the sampled areas totaled two species, one of the family Rhinodrilidae (*Pontoscolex corethrurus*) and another Megascolecidae (*Amyntas gracilis*), both species occurring concurrently in the sampled systems. The present study concluded the occurrence of exotic species only, and their presence and competition for space and food guild inhibits the presence of native species that could possibly occur in the areas of banana crop and adjacent soils.

Keywords: Earthworms occurrence. Oligochaeta. Biodiversity.

5.3 INTRODUÇÃO

As minhocas são prestadoras de serviços essenciais para os ecossistemas terrestres (LAVELLE et al., 2006). Sua atividade, gerando galerias, contribuiu para a formação e manutenção da estrutura do solo (LAVELLE et al., 1997; YVAN et al.,

2012), aumento da porosidade, infiltração e retenção de água (FIUZA, 2012), redistribuição e decomposição da matéria orgânica do solo (ALEKSEEVA et al., 2006; BROWN et al., 2000). Além da alta importância desses invertebrados para vários processos do solo, eles são muito sensíveis ao manejo do uso da terra, mostrando baixas populações em áreas de alta perturbação (BARTZ et al., 2013). O Brasil representa um dos maiores “hotspots” de espécies de minhocas do mundo, com mais de 360 espécies descritas e uma diversidade estimada em mais de 1.000 espécies (BROWN, 1995).

O Vale do Ribeira, região localizada no nordeste do Paraná e no sul de São Paulo, desenvolveu-se historicamente pela descoberta de minas de ouro no século XVII. No século XVIII, iniciou o cultivo de arroz irrigado e chá preto pelos imigrantes japoneses e, no século XX, a bananeira (BUENO, 2010). Atualmente, a banana é o principal produto agrícola desta região, ocupando hoje mais de 36 mil hectares (ABAVAR, 2015, IBGE, 2018). Os cultivos de banana normalmente ocorrem com fragmentos do bioma Mata Atlântica (CORDEIRO et al., 2017) nas proximidades dos corpos d’água. A Mata Atlântica do Brasil é um dos maiores “hotspots” da biodiversidade do mundo, lar de milhares de espécies endêmicas e atualmente possui cerca de 1,2 milhão de km² (7,5% da área natural) (MYERS et al., 2000).

Devido ao pouco revolvimento do solo, essa cultura permite o desenvolvimento de vários invertebrados, incluindo os habitantes do solo, como as minhocas (GEISSEN et al., 2009). Embora áreas com distúrbios humanos, como os agroecossistemas, sejam normalmente dominadas por espécies exóticas de minhocas (SANTOS et al., 2018), as bananeiras podem representar um habitat para o estabelecimento de espécies nativas, principalmente devido à ocorrência de fragmentos de mata atlântica dentro de áreas de cultivo de banana (CORDEIRO et al., 2017). No entanto, pouco se sabe sobre os efeitos das bananeiras na abundância e diversidade de espécies de minhocas e a ocorrência desses invertebrados em fragmentos de mata atlântica na região do Vale do Ribeira.

Apesar da expressividade mundial da cultura, poucos estudos foram realizados sobre a ocorrência de espécies de minhocas neste sistema, sendo encontrados trabalhos em regiões da Europa (SOSA, 1992), América do sul, central e norte (LAPIED & LAVELLE, 2002; GEISSEN et al., 2002; RÖMBKE et al., 2009), África (DLAMINI & HAYNES, 2004; KARUNGI et al., 2018) e Ásia (FUSILERO et al., 2013), com pouca expressividade no ranking mundial de produção. Assim, o objetivo

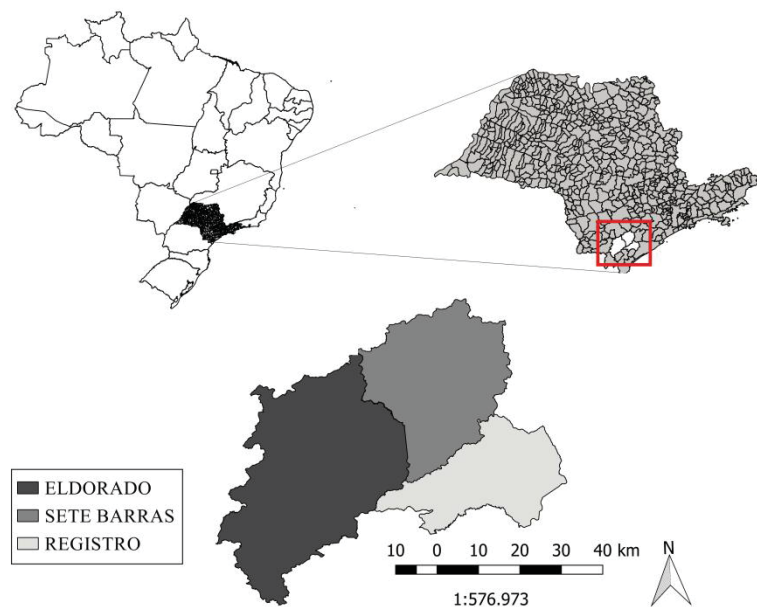
deste estudo foi verificar a ocorrência de espécies de minhocas em cultivos de banana e fragmentos de mata atlântica nas margens do rio Ribeira de Iguape no Estado de São Paulo.

5.4 MATERIAL E MÉTODOS

4.4.1 ÁREAS DE ESTUDO

As áreas de estudo estão localizadas no Vale do Ribeira, no Estado de São Paulo, na região do “baixo Ribeira”. Três municípios, Eldorado (ED), Sete Barras (SB) e Registro (RG) foram selecionados para amostragem (Figura 15). O clima em SB e RG é tropical chuvoso (Af segundo Köppen), com precipitação média superior a 60 mm no mês mais seco e clima tropical Am em ED, com precipitação inferior a 60 mm no mês mais seco. A precipitação média anual para todos os municípios varia de 1500 a 1600 mm (CEPAGRI, 2018; CIIAGRO, 2018), com a maior concentração de chuvas ocorrendo de janeiro a março. A temperatura média anual varia de 23,9 a 24,3 ° C, com menor de 13,0 ° C em julho e maior de 34,2 ° C em fevereiro.

FIGURA 15. LOCATION OF THE CITIES SAMPLED OVER THE RIBEIRA RIVER BELONGING TO THE STATE OF SÃO PAULO, BRAZIL.



FONTE: O autor (2019).

Os solos são originários de rochas sedimentares, metabásicas e anfibólicas (OLIVEIRA et al., 2002), com alta fertilidade natural (cálcio, magnésio, potássio e

fósforo) e altos níveis de matéria orgânica, devido às inundações sazonais dos rios que depositam material aluvial. A textura do solo varia de média a argilosa.

Nos três municípios foram selecionadas microbacias hidrográficas às margens rio Ribeira de Iguape, com cultivos em longo prazo de banana adjacentes à áreas de floresta atlântica em regeneração. A caracterização geral das áreas é descrita na Tabela 11.

TABELA 11. SISTEMA, CÓDIGO DA BACIA HIDROGRÁFICA, IDADE DO SISTEMA, LOCALIZAÇÃO E CLASSE DE SOLO DOS LOCAIS NOS DIFERENTES MUNICÍPIOS DA AVALIAÇÃO. 1º N° CARTOGRÁFICO OFICIAL PARA A BACIA HIDROGRÁFICA.

Local	Cidade	Sistema	Código da microbacia ¹	Idade do Sistema (anos)	Latitude	Longitude	Classe de solo
1	Eldorado	Banana	344	50	24°29'35"S	48°02'10"W	Cambissolo
2	Eldorado	Floresta	344	>50	24°30'09"S	48°02'30"W	Cambissolo
3	Sete Barras	Banana	422	15	24°23'34"S	47°53'51"W	Cambissolo
4	Sete Barras	Floresta	422	>50	24°23'30"S	47°53'22"W	Cambissolo
5	Registro	Banana	379	40	24°26'56"S	47°49'41"W	Cambissolo / Organossolo
6	Registro	Floresta	389	45	24°26'47"S	47°49'23"W	Cambissolo / Organossolo

FONTE: O autor (2019).

4.4.2 AMOSTRAGEM

As minhocas foram coletadas usando o método *Tropical Soil Biology and Fertility* (TSBF) adaptado (ANDERSON & INGRAM, 1993). Em cada área foram coletadas 10 amostras (25 x 25 cm quadrados a 20 cm de profundidade), divididas em 2 transectos a cada 20 m. As minhocas foram selecionadas manualmente do solo no campo e fixadas em álcool 80 %. Em laboratório, as minhocas foram identificadas até espécies ou família (juvenis) usando chaves taxonômicas (MICHAELSEN, 1900; RIGHI, 1990; BLAKEMORE, 2002). O material identificado foi armazenado na Coleção de Oligoquetas Fritz Müller (COFM) da Embrapa Florestas em Colombo, Brasil.

4.4.3 ANÁLISE DE DADOS

Os dados obtidos pelo método TSBF nos 60 pontos amostrais foram usados para determinar a abundância total e a riqueza de espécies para, em seguida, serem calculados os índices de Shannon (H'), a equitabilidade de Pielou (E) e o índice de diversidade.

5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.5.1 Família Rhinodrilidae

***Pontoscolex corethrurus* (Müller, 1857)**

COFMBRSP0231, 1 individuals in Atlantic Forest, HMN 389, Registro – SP (24°26'16.85"S, 47°49'31.71"O), 2019, M. Cremonesi, A. Santos colls.

COFMBRSP0232, 2 individuals in Atlantic Forest, HMN 389, Registro – SP (24°26'16.82"S, 47°49'31.71"O), 2019, M. Cremonesi, A. Santos colls.

COFMBRSP0233, 2 individuals in Atlantic Forest, HMN 389, Registro – SP (24°26'16.28"S, 47°49'32.52"O), 2019, M. Cremonesi, A. Santos colls.

COFMBRSP0235, 2 individuals in Atlantic Forest, HMN 389, Registro – SP (24°26'15.71"S, 47°49'33.32"O), 2019, M. Cremonesi, A. Santos colls.

COFMBRSP0236, 1 individuals in Atlantic Forest, HMN 389, Registro – SP (24°26'14.57"S, 47°49'35.35"O), 2019, M. Cremonesi, A. Santos colls.

COFMBRSP0238, 2 individuals in Banana crops, HMN 379, Registro – SP (24°26'54.25"S, 47°49'38.12"O), 2019, M. Cremonesi, A. Santos colls.

COFMBRSP0239, 1 individuals in Banana crops, HMN 379, Registro – SP (24°26'54.81"S, 47°49'39.41"O), 2019, M. Cremonesi, A. Santos colls.

COFMBRSP0240, 1 individuals in Atlantic Forest, HMN 422, Sete Barras – SP (24°23'44.43"S, 47°55'11.56"O), 2019, M. Cremonesi, A. Santos colls.

COFMBRSP0241, 1 individuals in Atlantic Forest, HMN 422, Sete Barras – SP (24°23'44.46"S, 47°55'11.49"O), 2019, M. Cremonesi, A. Santos colls.

COFMBRSP0242, 2 individuals in Atlantic Forest, HMN 422, Sete Barras – SP (24°23'43.79"S, 47°55'24.53"O), 2019, M. Cremonesi, A. Santos colls.

COFMBRSP0244, 1 individuals in Atlantic Forest, HMN 422, Sete Barras – SP (24°23'43.93"S, 47°55'10.17"O), 2019, M. Cremonesi, A. Santos colls.

COFMBRSP0245, 3 individuals in Atlantic Forest, HMN 422, Sete Barras – SP (24°23'44.33"S, 47°55'09.65"O), 2019, M. Cremonesi, A. Santos colls.

COFMBRSP0248, 1 individuals in Atlantic Forest, HMN 422, Sete Barras – SP (24°23'44.90"S, 47°55'08.92"O), 2019, M. Cremonesi, A. Santos colls.

COFMBRSP0249, 1 individuals in Banana crops, HMN 422, Sete Barras – SP (24°23'38.61"S, 47°55'23.49"O), 2019, M. Cremonesi, A. Santos colls.

COFMBRSP0251, 1 individuals in Banana crops, HMN 422, Sete Barras – SP (24°23'43.01"S, 47°55'24.52"O), 2019, M. Cremonesi, A. Santos colls.

COFMBRSP0252, 3 individuals in Banana crops, HMN 422, Sete Barras – SP (24°23'42.54"S, 47°55'25.32"O), 2019, M. Cremonesi, A. Santos colls.

COFMBRSP0253, 1 individuals in Atlantic Forest, HMN 344, Eldorado – SP (24°29'57.34"S, 48°02'41.68"O), 2019, M. Cremonesi, A. Santos colls.

COFMBRSP0255, 1 individuals in Atlantic Forest, HMN 344, Eldorado – SP (24°29'55.69"S, 48°02'42.15"O), 2019, M. Cremonesi, A. Santos colls.

COFMBRSP0256, 2 individuals in Banana crops, HMN 344, Eldorado – SP (24°29'36.89"S, 48°02'09.43"O), 2019, M. Cremonesi, A. Santos colls.

COFMBRSP0258, 2 individuals in Banana crops, HMN 344, Eldorado – SP (24°29'37.11"S, 48°02'10.84"O), 2019, M. Cremonesi, A. Santos colls.

Rhinodrilidae juvenis

COFMBRSP0246, 1 individuals in Atlantic Forest, HMN 422, Sete Barras – SP (24°23'44.33"S, 47°55'09.65"O), 2019, M. Cremonesi, A. Santos colls.

4.5.2 Família Megascolecidae

***Amyntas gracilis* (Kinberg, 1867)**

COFMBRSP0237, 1 individuals in Banana crops, HMN 379, Registo – SP (24°26'54.25"S, 47°49'38.22"O), 2019, M. Cremonesi, A. Santos colls.

COFMBRSP0250, 3 individuals in Banana crops, HMN 422, Sete Barras – SP (24°23'38.61"S, 47°55'23.49"O), 2019, M. Cremonesi, A. Santos colls.

Megascolecidae juvenis

COFMBRSP0234, 1 individuals in Atlantic Forest, HMN 389, Registo – SP (24°26'16.28"S, 47°49'32.52"O), 2019, M. Cremonesi, A. Santos colls.

COFMBRSP0243, 1 individuals in Atlantic Forest, HMN 422, Sete Barras – SP

(24°23'44.06"S, 47°55'10.35"O), 2019, M. Cremonesi, A. Santos colls. COFMBRSP0247, 1 individuals in Atlantic Forest, HMN 422, Sete Barras – SP (24°23'44.33"S, 47°55'09.65"O), 2019, M. Cremonesi, A. Santos colls. COFMBRSP0254, 1 individuals in Atlantic Forest, HMN 344, Eldorado – SP (24°29'56.60"S, 48°02'42.23"O), 2019, M. Cremonesi, A. Santos colls. COFMBRSP0257, 1 individuals in Banana crops, HMN 344, Eldorado – SP (24°29'36.89"S, 48°02'09.43"O), 2019, M. Cremonesi, A. Santos colls.

Um total de duas espécies de minhocas pertencentes a duas famílias foram encontradas nos seis locais. Minhocas das famílias Rhinodrilidae e Megascolecidae foram coletadas em bananeira e fragmentos de Mata Atlântica nos três municípios (Tabela 12). A espécie *Amyntas gracilis* (Megascolecidae) foi encontrada nos sistemas banana e floresta em Sete Barras e no sistema banana em Registro, em outros locais foram encontrados apenas animais juvenis da família Megascolecidae, que provavelmente são *A. gracilis*, porém não podem ser identificados até o nível de espécie. A outra espécie encontrada vivendo em todos os locais amostrados foi *Pontoscolex corethrurus* (Rhinodrilidae). Ambas as espécies são consideradas exóticas, sendo esta última considerada ainda como peregrina no Brasil (BROWN et al., 2006).

Além da grande ocorrência de *P. corethrurus*, essa espécie representou a maioria das minhocas coletadas (76 % do total de indivíduos amostrados), representando 29 % da abundância total nos locais de cultivo de banana e 46 % nos fragmentos de Mata Atlântica (Figura 16). *Amyntas gracilis*, embora não ocorra em todas as áreas, representou 12 % de todos os indivíduos amostrados, dos quais 10 % de sua ocorrência foram encontrados em bananais e apenas 2% na Mata Atlântica. Os juvenis da família Rhinodrilidae representaram apenas 2 % do total amostrado e ocorreram apenas na Mata Atlântica. Os juvenis da família Megascolecidae representaram 10 % do total amostrado e foram comumente encontrados vivendo em fragmentos de Mata Atlântica.

A máxima riqueza encontrada por local foi semelhante entre os cultivos de banana e os fragmentos de Mata Atlântica (2 sp. sistema⁻¹), no entanto, observou-se alta variação de abundância entre os pontos de amostrados (Tabela 12). A diversidade de minhocas medida pelo índice de Shannon (H ') foi maior na floresta em comparação com os locais de cultivo de banana. A diversidade média de

Shannon no sistema de cultivo de banana foi de 0,57, enquanto nas áreas de floresta foi de 0,61.

A mesma riqueza e os valores de diversidade tão próximos se devem principalmente à presença de espécies exóticas, sendo espécies cuja principal característica é o alto nível de competitividade, as espécies nativas tendem a ter baixa presença e diversidade. A uniformidade média das espécies (índice de Pielou E') foi maior no sistema de cultivo de banana 0,83, enquanto no sistema floresta foi de 0,68, indicando que o sistema de banana apresentou a maior uniformidade na abundância nos pontos amostrados.

TABELA 12. FAMÍLIAS DE MINHOCAS, RIQUEZA DE ESPÉCIES E ÍNDICES SHANNON E PIELOU EM DOIS SISTEMAS: CULTIVO DE BANANA (BC) E FLORESTA ATLÂNTICA (AF), PARA TRÊS MUNICÍPIOS DO VALE DO RIBEIRA.

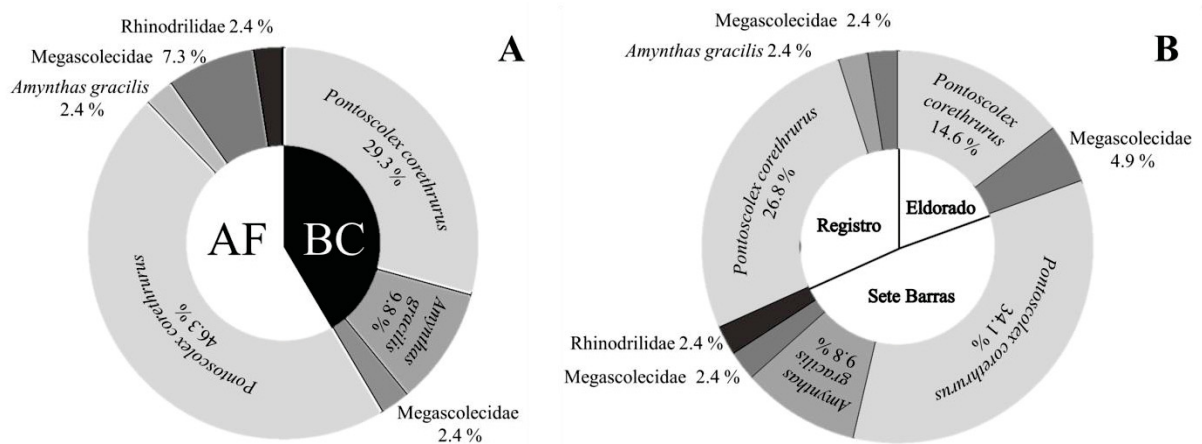
Sistemas	Nº Amostra	-----Espécies de Minhocas -----				----- Índices-----			
		<i>Amyntas gracilis</i>	<i>Pontoscolex corethrurus</i>	Rhinodrili dae	Megascolecidae	Riqueza	Shannon (H')	Pielou (E)	
Eldorado	Banana	1	-	+	-	+	2	0,64	0,92
		7	-	+	-	-	1	0,00	0,00
	Floresta	1	-	+	-	-	1	0,00	0,00
		4	-	-	-	+	1	0,00	0,00
		5	-	+	-	-	1	0,00	0,00
Sete Barras	Banana	1	+	+	-	-	2	0,56	0,81
		8	-	+	-	-	1	0,00	0,00
		9	-	+	-	-	1	0,00	0,00
	Floresta	1	-	+	-	-	1	0,00	0,00
		2	-	+	-	-	1	0,00	0,00
		3	+	+	-	-	2	0,64	0,92
		4	-	+	-	-	1	0,00	0,00
		5	-	+	+	+	2	0,95	0,87
		7	-	+	-	-	1	0,00	0,00
		7	-	+	-	-	1	0,00	0,00
Registro	Banana	5	+	-	-	-	1	0,00	0,00
		6	-	+	-	-	1	0,00	0,00
		7	-	+	-	-	1	0,00	0,00
	Floresta	1	-	+	-	-	1	0,00	0,00
		2	-	+	-	-	1	0,00	0,00
		3	-	+	-	+	2	0,64	0,92
		5	-	+	-	-	1	0,00	0,00
		5	-	+	-	-	1	0,00	0,00
		10	-	+	-	-	1	0,00	0,00
		10	-	+	-	-	1	0,00	0,00

+: presença de indivíduo, -: ausência de indivíduo.

FONTE: O autor (2019).

Ambas as espécies encontradas nas áreas estudadas são difundidas nas regiões brasileiras (BROWN & JAMES, 2007). *P. corethrurus* é considerada uma minhoca invasora-cosmopolita devido à alta tolerância a várias condições abióticas / bióticas, o que permitiu a ocorrência dessa espécie em quase todas as regiões tropicais e subtropicais do mundo (TAHERI et al., 2018; GONZÁLEZ et al., 2006). Essa espécie tem sido utilizada em estudos ecotoxicológicos (RÖMBKE & GARCÍA, 2000) e também é recomendada como indicador da qualidade do solo em agroecossistemas e paisagens naturais (BROWN et al., 2006). Embora *P. corethrurus* possa afetar negativamente as propriedades físicas do solo, aumentando sua compactação (TAHERIA et al., 2018), também pode influenciar processos biogeoquímicos, como comunidades de microrganismos, plantas e minhocas nativas (MARICHAL et al., 2010).

FIGURA 16. FREQUÊNCIA (% DO TOTAL DE INDIVÍDUOS COLETADOS) DE ESPÉCIES DE MINHOCAS ENCONTRADAS NOS SISTEMAS DE FLORESTA ATLÂNTICA (AF) E CULTIVO DE BANANA (BC) (A) POR MUNICÍPIOS (B).



FONTE: O autor (2019).

A espécie *A. gracilis* é geralmente encontrada vivendo em áreas antropizadas nas regiões brasileiras (DEMETRIO et al., 2018). No Brasil, é comum a coocorrência de duas espécies do gênero *Amyntas*, *A. gracilis* e *A. corticis*, ambas comumente encontradas em áreas agrícolas, principalmente em sistema plantio direto e em florestas secundárias ou em regeneração. As minhocas dessa família são exóticas na América do Sul, originárias da região asiática, como demonstrado por Brown et al. (2006).

A variação da diversidade de minhocas (Tabela 12) nos ecossistemas é possivelmente devida à variabilidade das características de todos os habitats. Jimenez et al. (2006) relatam que a densidade e a diversidade de minhocas em um ecossistema apresentam uma relação espécie-habitat, na qual a estrutura do solo e a contribuição do material orgânico têm grande influência.

5.6 CONCLUSÕES

O presente estudo mostrou a predominância de indivíduos da família Rhinodrillidae nos dois sistemas estudados.

O fenômeno da ocorrência de apenas espécies exóticas precisa ser melhor abordado em futuras expedições, para aprofundar a ocorrência e a diversidade de indivíduos na cultura da banana.

5.7 REFERÊNCIAS

ABAVAR – Associação dos Bananicultores do Vale do Ribeira. Dia Mundial da Banana. Disponível em: <http://abavar.com.br/Noticias/2015/09/DiaMundialDaBanana.pdf>. Acesso em: 10 out. 2019].

ALEKSEEVA, T., BESSE, P., BINET, F., DELORT, A. M., FORANO, C., JOSSELIN, N., & TIXIER, C. (2006). Effect of earthworm activity (*Aporrectodea giardi*) on atrazine adsorption and biodegradation. **European journal of soil science**, 57(3), 295-307.

ANDERSON, J.M. & INGRAM, J.S.I. (1993) **Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods**. 2nd Edition. Wallingford: CAB International.

BARTZ, M. L. C., PASINI, A., & BROWN, G. G. (2013). Earthworms as soil quality indicators in Brazilian no-tillage systems. **Applied Soil Ecology**, 69, 39-48.

BARTZ, M.L.C., BROWN, G.G., PASINI, A., LIMA, A.C.R. & GASSEN, D.N. (2009) As minhocas e o manejo do solo: o caso do plantio direto do arroz irrigado. **Revista Plantio Direto**, 1:04-08.

BLAKEMORE, R.J. (2002). **Cosmopolitan Earthworms—An Eco-Taxonomic Guide to the Peregrine Species of the World**. VermEcology, Kippax.

BROWN, G. G. (1995). How do earthworms affect microfloral and faunal community diversity?. **Plant and soil**, 170(1), 209-231.

BROWN, G.G. & JAMES, S.W. (2007) Ecologia, biodiversidade e biogeografia das minhocas no Brasil. In: BROWN, G.G. & FRAGOSO, C. (Eds.), **Minhocas na América Latina: Biodiversidade e ecologia**. Londrina: EMBRAPA Soja.

BROWN, G. G., BAROIS, I., & LAVELLE, P. (2000). Regulation of soil organic matter dynamics and microbial activity in the drilosphere and the role of interactions with other edaphic functional domains. **European Journal of Soil Biology**, 36(3-4), 177-198.

BUENO, E. (2010). **Brasil: uma história: cinco séculos de um país em construção**. Alfragide: Leya.

EPAGRI – Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura. (2018). **Clima dos municípios paulistas**. São Paulo: Unicamp. Disponível em: <https://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html>. Acesso em 12 jan. 2019.

CIIAGRO - Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas. (2018). **Monitoramento Climático**. São Paulo: CIIAGRO. Disponível em: <http://www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline/Listagens/MonClim/MonClimAtualEDR.asp>. Acesso em: 15 jan. 2019.

CORDEIRO, G., AMORIM, M., & RONQUIM, C. (2017). Mudança de uso e ocupação da terra no município de registro, SP, entre os anos de 1987 e 2017. In *Embrapa Territorial-Artigo em anais de congresso (ALICE)*. In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA 11., 2017, Campinas. **Anais...** Campinas: Instituto Agrônômico (IAC).

DEMETRIO, W. C., SANTOS, A., FERREIRA, T., NADOLNY, H., CARDOSO, G. B., TORRES, J. L., ... & DA, E. S. (2018). Earthworm species in various land use systems in the Campos Gerais region of Lapa, Paraná, Brazil. **Zootaxa**, 4496(1), 503-516.

DLAMINI, T. C., & HAYNES, R. J. (2004). Influence of agricultural land use on the size and composition of earthworm communities in northern KwaZulu-Natal, South Africa. **Applied soil ecology**, 27(1), 77-88.

FIUZA, D. T. F., KUSDRA, J. F., & FIUZA, S. D. S. (2012). Maize growth in soil with activity of giant earthworms *Chibui bari* (Oligochaeta: Glossoscolecidae). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36(2), 359-366.

FUSILERO, M. A., MANGUBAT, J., RAGAS, R. E., BAGUINON, N., TAYA, H., & RASCO JR, E. (2013). Weed management systems and other factors affecting the earthworm population in a banana plantation. **European journal of soil biology**, 56, 89-94.

GEISSEN, V., PEÑA-PEÑA, K., & HUERTA, E. (2009). Effects of different land use on soil chemical properties, decomposition rate and earthworm communities in tropical Mexico. **Pedobiologia**, 53(1), 75-86.

GONZÁLEZ, G., HUANG, C. Y., ZOU, X., & RODRÍGUEZ, C. (2006). Earthworm invasions in the tropics. *Biological Invasions Belowground: Earthworms as Invasive Species*, Georgia, v. 8, n. 6, p. 1247-1256, Sept. 2006.

JIMÉNEZ, J. J.; LAVELLE, P.; DECAËNS, T. (2006). The efficiency of soil hand-sorting in assessing the abundance and biomass of earthworm communities. Its usefulness in population dynamics and cohort analysis studies. **European Journal of Soil Biology**, 42:225-230.

KARUNGI, J., CHERUKUT, S., IJALA, A. R., TUMUHAIRWE, J. B., BONABANA-WABBI, J., NUPPENAU, E. A., ... & OTTE, A. (2018). Elevation and cropping system as drivers of microclimate and abundance of soil macrofauna in coffee farmlands in mountainous ecologies. *Applied soil ecology*, 132, 126-134.

LAPIED, E., & LAVELLE, P. (2003). The peregrine earthworm *Pontoscolex corethrurus* in the East coast of Costa Rica: The 7th international symposium on earthworm ecology· Cardiff· Wales· 2002. **Pedobiologia**, 47(5-6), 471-474.

LAVELLE P. (1997) Diversity of Soil Fauna and Ecosystem Function. **Biology International**.v.33. p.3 – 16.

LAVELLE, P., DECAËNS, T., AUBERT, M., BAROT, S., BLOUIN, M., BUREAU, F., ROSSI, J. P. (2006). Soil invertebrates and ecosystem services. **European journal of soil biology**, 42, S3-S15.

MARICHAL, R., MARTINEZ, A. F., PRAXEDES, C., RUIZ, D., CARVAJAL, A. F., OSZWALD, J., ... & SARRAZIN, M. (2010). Invasion of *Pontoscolex corethrurus* (Glossoscolecidae, Oligochaeta) in landscapes of the Amazonian deforestation arc. **Applied Soil Ecology**, 46(3), 443-449.

MICHAELSEN, W. (1900) **Das Tierreich Oligochaeta**. Bertin: Friedländer and Sohn.

OLIVEIRA, M. A. F., MANIESI, V., TEIXEIRA, W., & DAITX, E. C. (2002). Caracterização isotópica de metabasitos e anfíbolitos dos grupos açungui e setuva na porção sul da faixa ribeira. **Geologia USP (Série Científica)**, 2, 161-170.

RIGHI, G. (1990). **Minhocas de Mato Grosso e de Rondônia. Programa Polonoroeste**. Relatório de Pesquisa n° 12. SCT/PR—CNPq. In Programa do Trópico úmido (p. 157).

RÖMBKE, J., & GARCIA, M. (2002). Assessment of ecotoxicological effects of pesticides on the soil fauna and soil processes under tropical conditions. In *Embrapa Amazônia Ocidental-Artigo em anais de congresso (ALICE)*. In: GERMAN-BRAZILIAN WORKSHOP ON NEOTROPICAL ECOSYSTEMS. ACHIEVEMENTS AND PROSPECTS OF COOPERATIVE RESEARCH, 2000, Hamburg. Proceedings... Hamburg: SHIFT: MADAM: WAVES.

RÖMBKE, J., SCHMIDT, P., & HÖFER, H. (2009). The earthworm fauna of regenerating forests and anthropogenic habitats in the coastal region of Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 44(8), 1040-1049.

SANTOS, A., GORTE, T., DEMETRIO, W. C., FERREIRA, T., NADOLNY, H., CARDOSO, G. B., LEANDRO, H. C. (2018). Earthworm species in no-tillage agroecosystems and native Atlantic forests in Western Paraná, Brazil. **Zootaxa**, 4496(1), 517-534.

SCHAIKA, L.V., PALMB, J., KLAUSC, J., ZEHED, E., SCHRÖDERA, BORIS. (2016) Potential effects of tillage and field borders on within-field spatial distribution patterns of earthworms. **Agriculture, Ecosystems and Environment** 228, 82–90.

SOSA, J. T. (1992). Earthworms of the banana groves from Tenerife (Canary Islands). **Soil Biology and Biochemistry**, 24(12), 1369-1375.

TAHERIA, S., PELOSIB, C., DUPONTA, L. (2018) Harmful or useful? A case study of the exotic peregrine earthworm morphospecies *Pontoscolex corethrurus*. **Soil Biology and Biochemistry**, 116:277–289.

THOMASONA, J.E., SAVINA, M.C., KRISTOFOR, R. B., GBURB, E. E. (2017) Native earthworm population dominance after seven years of tillage, burning, and residue level management in a wheat-soybean, double-crop system. **Applied Soil Ecology**, 120:211–218.

YVAN, C., STÉPHANE, S., STÉPHANE, C., PIERRE, B., GUY, R., & HUBERT, B. (2012). Role of earthworms in regenerating soil structure after compaction in reduced tillage systems. **Soil Biology and Biochemistry**, 55: 93-103.

6 CONCLUSÃO GERAL

A qualidade do solo sobre o cultivo de banana na região do Vale do Ribeira é favorecida nos aspectos físicos pela maior agregação, estoque de carbono e capacidade de retenção de água, promovidos pelo manejo adotado.

Nos aspectos biológicos, o sistema de cultivo de banana apresentou uma gama de táxons com ocorrência de importantes grupos da macrofauna em relação à funcionalidade ambiental, de modo que as diferenças obtidas entre floresta e banana não foram prejudiciais devido à multiplicidade de agentes capazes de desempenhar as atividades necessárias para o bom desenvolvimento do sistema.

Apesar de apresentar apenas espécies de minhocas exóticas, essas espécies acabam por desempenhar seu papel como fragmentador e decompositor (*Amyntas*) e geófago (*P. corethrurus*), revolvendo o solo e atuando no transporte e bioturbação do ambiente.

Quanto à química do solo, apesar da presença de teores naturalmente mais elevados de elementos potencialmente tóxicos nas áreas, o manejo da adubação adotado nestes sistemas intensifica os teores encontrados o que pode comprometer a qualidade do solo e também do produto exportado nas áreas.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto ainda contará com a elaboração de um artigo final referente aos resultados de perda de solo e água das áreas de cultivo de banana e floresta, cuja coleta de amostras findará em março de 2020, de modo a contribuir no embasamento científico acerca do tema que tem causado transtornos aos produtores e que foi o objetivo inicial deste projeto.

8 REFERÊNCIAS

- (NEPAR) SBCS – Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. (2019). Núcleo Estadual Paraná. **Manual de adubação e calagem para o Estado do Paraná**. Curitiba: SBCS/NEPAR.
- ABALOS, J. W. (1978). Las arañas del género *Latrodectus* en la Argentina..
- ABAVAR – Associação dos Bananicultores do Vale do Ribeira. Dia Mundial da Banana. Disponível em: <http://abavar.com.br/Noticias/2015/09/DiaMundialDaBanana.pdf>. Acesso em: 10 out. 2019].
- ACOSTA, J. A., MARTÍNEZ-MARTÍNEZ, S., FAZ, A., & AROCENA, J. (2011). Accumulations of major and trace elements in particle size fractions of soils on eight different parent materials. **Geoderma**, 161(1-2), 30-42. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.12.001>.
- ALEKSEEVA, T., BESSE, P., BINET, F., DELORT, A. M., FORANO, C., JOSSELIN, N., & TIXIER, C. (2006). Effect of earthworm activity (*Aporrectodea giardi*) on atrazine adsorption and biodegradation. **European journal of soil science**, 57(3), 295-307.
- ALMEIDA, F. D. (1956). Novas ocorrências de fósseis no pré-cambriano brasileiro. **Anais da Academia brasileira de Ciências**, 28(4), 44-45.
- ALTHAUS, D., GIANELLO, C., TEDESCO, M. J., SILVA, K. J. D., BISSANI, C. A., & FELISBERTO, R. (2018). Natural fertility and metals contents in Soils of Rio Grande do Sul (Brazil). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 42. e0160418. <http://dx.doi.org/10.1590/18069657rbc20160418>.
- ÁLVARO-FUENTES, J., ARRÚE, J. L., GRACIA, R., & LÓPEZ, M. V. (2008). Tillage and cropping intensification effects on soil aggregation: Temporal dynamics and controlling factors under semiarid conditions. **Geoderma**, 145(3-4), 390-396.
- AMARAL SOBRINHO, N. M. B., BARRA, C. M., & LÃ, O. R. (2009). Química dos metais pesados no solo. **Química e mineralogia do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 249-312.
- AMARAL SOBRINHO, N. M. B., VELLOSO, A. C. X., COSTA, L. M., & OLIVEIRA, C. (1998). Mobilidade de metais pesados em solo tratado com resíduo siderúrgico ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22(2), 345-353.
- AMARAL, N. S., COSTA, L. D., De Oliveira, C., & VELLOSO, A. X. (1992). Metais pesados em alguns fertilizantes e corretivos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 16(2), 271-276.
- ANDERSON, J.M. & INGRAM, J.S.I. (1993) **Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods**. 2nd Edition. Wallingford: CAB International.

- AQUINO, A. M., AGUIAR-MENEZES, E. D. L., & DE QUEIROZ, J. M. (2006). Recomendações para coleta de artrópodes terrestres por armadilhas de queda ("Pitfall-Traps"). Embrapa Agrobiologia-Circular Técnica (*INFOTECA-E*).
- ARSHAD, M. A., LOWERY, B., & GROSSMAN, B. (1997). Physical tests for monitoring soil quality. *Methods for assessing soil quality*, 49, 123-141.
- ATLÂNTICA, S. M. (2019). Fundação SOS Mata Atlântica. Mata Atlântica em Apiaí. São Paulo. Disponível em: <https://www.sosma.org.br/noticias>. Acesso em 25 out. 2019.
- BARETTA, D., SANTOS, J. C. P., SEGAT, J. C., GEREMIA, E. V., OLIVEIRA FILHO, L. D., & ALVES, M. V. (2011). Fauna edáfica e qualidade do solo. **Tópicos em ciência do solo**, 7, 119-170.
- BARTZ, M. L. C., PASINI, A., & BROWN, G. G. (2013). Earthworms as soil quality indicators in Brazilian no-tillage systems. **Applied Soil Ecology**, 69, 39-48.
- BARTZ, M.L.C., BROWN, G.G., PASINI, A., LIMA, A.C.R. & GASSEN, D.N. (2009) As minhocas e o manejo do solo: o caso do plantio direto do arroz irrigado. **Revista Plantio Direto**, 1:04-08.
- BATISTA, A. H., MELO, V. F., GILKES, R., & ROBERTS, M. (2018). Identification of heavy metals in crystals of sand and silt fractions of soils by scanning electron microscopy (SEM EDS/WD-EPMA). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 42. <http://dx.doi.org/10.1590/18069657rbcS20170174>.
- BAYER, C., MIELNICZUK, J., AMADO, T. J., MARTIN-NETO, L., & FERNANDES, S. V. (2000). Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil and tillage research**, 54(1-2), 101-109.
- BERG, M., Lepsch, I. F., & Sakai, E. (1987). Solos de planícies aluviais do Vale do Ribeira do Iguape SP. II. Relações entre características físicas e químicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 11, 315-321.
- BISWAS, S., HAZRA, G. C., PURAKAYASTHA, T. J., SAHA, N., MITRAN, T., ROY, S. S., ... & MANDAL, B. (2017). Establishment of critical limits of indicators and indices of soil quality in rice-rice cropping systems under different soil orders. **Geoderma**, 292, 34-48.
- BIZARRO, V. G., MEURER, E. J., & TATSCH, F. R. P. (2008). Teor de cádmio em fertilizantes fosfatados comercializados no Brasil. **Ciência Rural**, 38(1), 247-250.
- BLAKEMORE, R.J. (2002). **Cosmopolitan Earthworms—An Eco-Taxonomic Guide to the Peregrine Species of the World**. VermEcology, Kippax.
- BORGES, A. L. (1991). **Influência da cobertura morta nas características químicas do solo e produção da bananeira**. EMBRAPA-CNPMF.

BORGES, A. L., RAIJ, B. V., MAGALHÃES, A. D. J., & BERNARDI, A. D. C. (2002). **Nutrição e adubação da bananeira irrigada**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura. (Circular Técnica, 48).

BRASIL. (2017). Instituto Socioambiental Brasil. O maior remanescente contínuo de Mata Atlântica do Brasil está em São Paulo. Disponível em:

https://documentacao.socioambiental.org/noticias/anexo_noticia. Acesso em 23 out. 2019.

BREWER, R. & SLEEMAN, J.R. (1960). Soil structure: attempts at its quantitative characterization. **Soil Science Society of America Journal**, 11:172-185.

BROWN, G. G. (1995). How do earthworms affect microfloral and faunal community diversity?. **Plant and soil**, 170(1), 209-231.

BROWN, G. G., BAROIS, I., & LAVELLE, P. (2000). Regulation of soil organic matter dynamics and microbial activity in the drilosphere and the role of interactions with other edaphic functional domains. **European Journal of Soil Biology**, 36(3-4), 177-198.

BROWN, G.G. & JAMES, S.W. (2007) Ecologia, biodiversidade e biogeografia das minhocas no Brasil. In: BROWN, G.G. & FRAGOSO, C. (Eds.), **Minhocas na América Latina: Biodiversidade e ecologia**. Londrina: EMBRAPA Soja.

BRUNETTO, G., SCHMITT, D. E., COMIN, J. J., MIOTTO, A., MORAES, M. P. D., & HEINZEN, J. (2014). Frações de cobre e zinco em solos de vinhedos no Meio Oeste de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 18(8), 805-810.

BUENO, E. (2010). **Brasil: uma história: cinco séculos de um país em construção**. Alfragide: Leya.

BUSCHLE, B., SOUZA, L. C. P., & BONFLEUR, E. J. (2017). Reference values for potentially harmful elements in soils from Atlantic Rainforest, Brazil. **Journal of Geochemical Exploration**, 181, 138-147.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2017.07.009>.

CASARIL, C. E., DE OLIVEIRA FILHO, L. C. I., SANTOS, J. C. P., & DA ROSA, M. G. (2019). Fauna edáfica em sistemas de produção de banana no Sul de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, 14(1), e5613.

CASARINI, D. C. P. (2001). Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas. *São Paulo: CETESB*.

CASTRO, C., & LOGAN, T. J. (1991). Liming effects on the stability and erodibility of some Brazilian Oxisols. **Soil Science Society of America Journal**, 55(5), 1407-1413.

CAVICHIOLO, S. R., DEDECEK, R. A., GAVA, J. L. (2005). Modificações nos

atributos físicos de solos submetidos a dois sistemas de preparo em rebrota de *Eucalyptus saligna*. **Revista Árvore**, 29,571-577.

CENTURION, J. F., BEUTLER, A. N., & SOUZA, Z. M. D. (2004). Physical attributes of kaolinitic and oxidic oxisols resulting from different usage systems. **Brazilian archives of biology and technology**, 47(5), 725-732.

CETESB – Companhia de tecnologia de saneamento ambiental. (2016). Valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo (Decisão de diretoria nº 256/2016/E, de 22 de novembro de 2016). São Paulo: CETESB.

CHAPPELL, M. A., & WHITMAN, D. W. (1990). Grasshopper thermoregulation. **Biology of grasshoppers**, 143-172.

CHEN W, KRAGE N, WU L, PAN G, KHOSRIVAFARD M, CHANG AC. (2008). Arsenic, cadmium, and lead in California cropland soils: Role of phosphate and micronutrient fertilizers. **Journal Environmental Quality**, 37(1):689-695.

CIIAGRO - Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas. (2018). **Monitoramento Climático**. São Paulo: CIIAGRO. Disponível em: <http://www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline/Listagens/MonClim/MonClimAtualEDR.asp>. Acesso em: 15 jan. 2019.

CORDEIRO, G., AMORIM, M., & RONQUIM, C. (2017). Mudança de uso e ocupação da terra no município de registro, SP, entre os anos de 1987 e 2017. In *Embrapa Territorial-Artigo em anais de congresso (ALICE)*. In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA 11., 2017, Campinas. **Anais...** Campinas: Instituto Agrônômico (IAC).

CORRÊA, C. M. C., & DEDECEK, R. A. (2009). Erosão real e estimada através da RUSLE em estradas de uso florestais, em condições de relevo plano a suave ondulado. *Embrapa Florestas-Artigo em periódico indexado (ALICE)*.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Mapa Geológico do Estado de São Paulo. **Ministério de Minas e Energia–Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Brasília**, 2006.

da SILVA, E. F., CORÁ, J. E., HARADA, A. Y., & SAMPAIO, I. B. M. (2017). Association of the Occurrence of Ant Species (Hymenoptera: Formicidae) with Soil Attributes, Vegetation, and Climate in the Brazilian Savanna Northeastern Region. **Sociobiology**, 64(4), 442-450.

da SILVA, R. F., DE AQUINO, A. M., MERCANTE, F. M., & DE FÁTIMA GUIMARÃES, M. (2006). Macrofauna invertebrada do solo sob diferentes sistemas de produção em Latossolo da Região do Cerrado. **Pesquisa agropecuária brasileira**, 41(4):697-704.

DALMÁS, F. B. (2013). Análise da evolução do uso e ocupação do solo na UGRHI-11 e avaliação de cenários futuros em função de processos erosivos e de movimentos de massa utilizando técnicas de geoprocessamento (**Doctoral**

dissertation, Universidade de São Paulo).

DEMETRIO, W. C., SANTOS, A., FERREIRA, T., NADOLNY, H., CARDOSO, G. B., TORRES, J. L., ... & DA, E. S. (2018). Earthworm species in various land use systems in the Campos Gerais region of Lapa, Paraná, Brazil. **Zootaxa**, 4496(1), 503-516.

DIAS, M. D. F. D. R., & BRAZIL, T. K. (1999). Comportamento e dieta alimentar de uma espécie de *Latrodectus* do grupo *Mactans* (Araneae, Theridiidae) em cativeiro. **Revista Brasileira de Zoologia** 16(4): 991-996.

DIEHL-FLEIG, E., & ROCHA, E. S. D. (1998). Soil selection by *Acromyrmex striatus* (Roger) females (Hymenoptera: Formicidae) for nest building. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, 27(1), 41-45.

DLAMINI, T. C., & HAYNES, R. J. (2004). Influence of agricultural land use on the size and composition of earthworm communities in northern KwaZulu-Natal, South Africa. **Applied soil ecology**, 27(1), 77-88.

EDWARDS, A. P., & BREMNER, J. M. (1967). Microaggregates in soils 1. **Journal of Soil Science**, 18(1), 64-73.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Centro nacional de Pesquisa de Solos. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, 2017. 743p.

ENDRES, A. A., HERNÁNDEZ, M. I. M., & CREÃO-DUARTE, A. J. (2005). Considerações sobre *Coprophanæus ensifer* (Germar)(Coleoptera, Scarabaeidae) em um remanescente de Mata Atlântica no estado da Paraíba, Brasil. **Revista Brasileira de Entomologia**, 49(3), 427-429.

EPAGRI – Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura. (2018). **Clima dos municípios paulistas**. São Paulo: Unicamp. Disponível em: <https://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html>. Acesso em 12 jan. 2019.

FAO – Food and Agriculture Organization of United Nations. 2018. Food and agriculture data FAOSTAT. [Acesso 10 jan 2020]. Disponível em <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>

FAO – Food and Agriculture Organization, Statistics Division. Food and Agriculture commodities production. (2016) Roma: FAO; 2015 . Disponível em: http://faostat3.fao.org/browse/rankings/countries_by_commodity/S. Acesso em: 06 fev. 2019.

FAO – Food and Agriculture Organization. **Banana market review: Preliminary results for 2018**. (2018). Rome: FAO. 15p. Disponível em: <http://www.fao.org/economic/est/est-commodities/en/#.XdgmOpNKjIV>. Acesso em:

21 nov. 2019.

FERREIRA, C. F., E SILVA, S. D. O., AMORIM, E. P., & DOS SANTOS-SEREJO, J. A. (2016). **O agronegócio da banana**. Embrapa.

FIUZA, D. T. F., KUSDRA, J. F., & FIUZA, S. D. S. (2012). Maize growth in soil with activity of giant earthworms *Chibui bari* (Oligochaeta: Glossoscolecidae). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36(2), 359-366.

FREITAS, A. S., POZZA, E. A., POZZA, A. A. A., OLIVEIRA, M. G. F., SILVA, H. R., ROCHA, H. S., GALVÃO, L. R. (2015) Impact of nutritional deficiency on Yellow Sigatoka of banana. **Australasian Plant Pathology**, 44(5), 583-590.

FREITAS, A. V. L., FRANCINI, R. B., & BROWN JR, K. S. (2003). Insetos como indicadores ambientais. CULLEN, L. JR., R. RUDRAN & C. VALLADARES-PÁDUA. **Métodos de estudo em Biologia da Conservação e Manejo da Vida Silvestre**. Curitiba: Fundação Boticário e Editora da UFPR, 125-151.

FURTADO, E.L.; BUENO, C.J.; OLIVEIRA, A.L.D.; MENTEN, J.O.M.; MALAVOLTA, E. (2009). Relationship between occurrence of Panama disease in banana trees of cv. Nanicao and nutrients in soil and leaves. **Tropical Plant Pathology**, 34:201–215. <http://dx.doi:10.1590/S1982-56762009000400002>.

FUSILERO, M. A., MANGUBAT, J., RAGAS, R. E., BAGUINON, N., TAYA, H., & RASCO JR, E. (2013). Weed management systems and other factors affecting the earthworm population in a banana plantation. **European journal of soil biology**, 56, 89-94.

GABE, U., & RODELLA, A. A. (1999). Trace elements in Brazilian agricultural limestones and mineral fertilizers. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 30(5-6), 605-620.

GEISSEN, V., PEÑA-PEÑA, K., & HUERTA, E. (2009). Effects of different land use on soil chemical properties, decomposition rate and earthworm communities in tropical Mexico. **Pedobiologia**, 53(1), 75-86.

GIZZI, A. H., ÁLVAREZ CASTILLO, H. A., MANETTI, P. L., LÓPEZ, A. N., CLEMENTE, N. L., & STUDDERT, G. A. (2009). Caracterización de la meso y macrofauna edáfica en sistemas de cultivo del sudeste bonaerense. **Ciencia del suelo**, 27(1):1-9.

GOMES, S. R., SILVA, R. S. D., GIL, G. M., & THOMÉ, J. W. (2004). Biological cycle of *Simpulopsis ovata* (Gastropoda, Bulimulidae) in São Francisco de Paula, Rio Grande do Sul, Brazil. **Iheringia. Série Zoologia**, 94(3), 253-259.

GONÇALVES JR, A. C., & DOS SANTOS PESSOA, A. C. (2002). Fitodisponibilidade de cádmio, chumbo e cromo, em soja cultivada em Argissolo Vermelho eutrófico a partir de adubos comerciais. **Scientia Agraria**, 3(1-2), 19-23.

GONZALEZ, A. (1979). Observaciones bioecológicas sobre una especie del género

Latrodectus (Walckenaer, 1805) del grupo Mactans de Sierra de la Ventana (Provincia de Buenos Aires, Argentina). (Araneae, Theridiidae) III. Desarrollo Post-embrionario. **Acta Zoologica Lilloana**. 35: 97-103.

GONZÁLEZ, G., HUANG, C. Y., ZOU, X., & RODRÍGUEZ, C. (2006). Earthworm invasions in the tropics. *Biological Invasions Belowground: Earthworms as Invasive Species*, Georgia, v. 8, n. 6, p. 1247-1256, Sept. 2006.

HILLEL, D. (1970). Solo e água: fenômenos e princípios físicos. Porto Alegre: UFRGS

HOFFMANN, R. B., OLIVEIRA, F. D., GHEYI, H. R., SOUZA, A. D., & ARRUDA, J. D. (2010). Acúmulo de matéria seca, absorção e exportação de micronutrientes em variedades de bananeira sob irrigação. **Ciência e Agrotecnologia**, 34(3), 536-544.

HUBER, D., RÖMHELD, V., & WEINMANN, M. (2012). Relationship between nutrition, plant diseases and pests. In **Marschner's mineral nutrition of higher plants** (pp. 283-298). Academic Press.

HUDSON, N. W. (1993). **Field measurement of soil erosion and runoff**. Rome: Food and Agriculture Organization – FAO.

HUMMES, A.P., BORTOLUZZI, E.C., TONINI, V., PETRY, C. (2019). Transfer of Copper and Zinc from Soil to Grapevine-Derived Products in Young and Centenarian Vineyards. **Water Air Soil Pollut**, 230(150). <http://dx.doi:10.1007/s11270-019-4198-6>.

HYMAN, Libbie Henrietta. (1967). **The invertebrates: mollusca I**. McGraw-Hill, 1940.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2019). Base de dados agregados. Brasília: IBGE. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1618#resultado>. Acesso em: 06 fev. 2019.

INPE & ATLÂNTICA, S. M. (2018). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais e Fundação SOS Mata Atlântica. Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica: período 2017-2018. Relatório Técnico São Paulo. Disponível em: https://www.sosma.org.br/wp-content/uploads/2019/05/Atlas-mata-atlantica_17-18.pdf. Acesso em 15 out. 2019.

JIMÉNEZ, J. J.; LAVELLE, P.; DECAËNS, T. (2006). The efficiency of soil hand-sorting in assessing the abundance and biomass of earthworm communities. Its usefulness in population dynamics and cohort analysis studies. **European Journal of Soil Biology**, 42:225-230.

JUNIOR, S., DE FREITAS, G., KUHNEN, F., SYLVESTRE, T. D. B., ALMEIDA, C. X. D., & CENTURION, J. F. (2011). Agregação de um argissolo sob pomar de goiabeiras após aplicação de resíduos da indústria processadora de goiaba. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 33(4), 1275-1282.

KARUNGI, J., CHERUKUT, S., IJALA, A. R., TUMUHAIRWE, J. B., BONABANA-WABBI, J., NUPPENAU, E. A., ... & OTTE, A. (2018). Elevation and cropping system as drivers of microclimate and abundance of soil macrofauna in coffee farmlands in mountainous ecologies. *Applied soil ecology*, 132, 126-134.

KASSIR LN, DARWISH T, SHABAN A, OLIVIER G, OUAINI N. (2012). Mobility and bioavailability of selected trace elements in Mediterranean red soil amended with phosphate fertilizers: Experimental study. *Geoderma*, 190:357-368.

KEDE MLFM, MOREIRA JC, MAVROPOULOS E, ROSSI AM, BERTOLINO LC, PEREZ DV, ROCHA NCC. (2008). Estudo do comportamento do chumbo em latossolos brasileiros tratados com fosfatos: contribuições para a remediação de sítios contaminados. *Química Nova*, 31:579-584.

KLEIN, V. A., & LIBARDI, P. L. (2002). Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, 26(4), 857-867.

KRISHNAMURTI, G. S. R., CIESLINSKI, G., HUANG, P. M., & VAN REES, K. C. J. (1997). Kinetics of cadmium release from soils as influenced by organic acids: implication in cadmium availability. *Journal of environmental quality*, 26(1), 271-277.

LAL, R., & ELLIOT, W. (2017). Erodibility and erosivity. In *Soil erosion research methods*. Routledge.pp. 181-210.

LAPIED, E., & LAVELLE, P. (2003). The peregrine earthworm *Pontoscolex corethrurus* in the East coast of Costa Rica: The 7th international symposium on earthworm ecology· Cardiff· Wales· 2002. *Pedobiologia*, 47(5-6), 471-474.

LATTIN, J., CARROLL, J. D., & GREEN, P. E. (2011). **Análise de dados multivariados**. São Paulo: Cengage Learning, 475p.

LAVELLE P. (1997) Diversity of Soil Fauna and Ecosystem Function. *Biology International*.v.33. p.3 – 16.

LAVELLE, P., & SPAIN, A. V. (2001). **Soil ecology**. Springer Science & Business Media.

LAVELLE, P., DECAËNS, T., AUBERT, M., BAROT, S., BLOUIN, M., BUREAU, F., ... & ROSSI, J. P. (2006). Soil invertebrates and ecosystem services. *European journal of soil biology*, 42, S3-S15.

LEPSCH, I. F., SAKAI, E., PRADO, H., MENK, J. R. F., SAKAI, E., & RIZZO, L. (1999). **Levantamento de reconhecimento com detalhes dos solos da região do Rio Ribeira de Iguape no Estado de São Paulo**. Campinas: IAC.

LIBARDI, P.L. (1995). **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba: EdUSP.

LIMA, S. S., DE AQUINO, A. M., LEITE, L. F. C., VELÁSQUEZ, E., & LAVELLE, P.

(2011). Relação entre macrofauna edáfica e atributos químicos do solo em diferentes agroecossistemas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 45(3), 322-331.

LINDSAY, W.L. (1979). **Chemical equilibria in soils**. John Wiley and Sons, New York.

LOMBARDI NETO, F., & MOLDENHAUER, W. C. (1992). Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas (SP). **Bragantia**, 51(2), 189-196.

LOMBARDI-NETO, F., & BERTONI, J. (1975). Tolerância de perdas de terra para solos do Estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônomo IAC. (**Boletim técnico 28**)

MACKAY, W. P. (1982). The effect of predation of western widow spiders (Araneae: Theridiidae) on harvester ants (Hymenoptera: Formicidae). **Oecologia**, 53(3), 406-411.

MANLY, B. F.J. (2008). **Métodos estatísticos multivariados**: uma introdução. 3 ed. Porto Alegre: Bookman Editora.

MANNIGEL, A. R., PASSOS, M. MORETI, D. & ROSA MEDEIROS, L. (2002). Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, 24, 1335-1340.

MARCHÃO, R. L., LAVELLE, P., CELINI, L., BALBINO, L. C., VILELA, L., & BECQUER, T. (2009). Soil macrofauna under integrated crop-livestock systems in a Brazilian Cerrado Ferralsol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 44(8), 1011-1020.

MARICHAL, R., MARTINEZ, A. F., PRAXEDES, C., RUIZ, D., CARVAJAL, A. F., OSZWALD, J., ... & SARRAZIN, M. (2010). Invasion of *Pontoscolex corethrurus* (Glossoscolecidae, Oligochaeta) in landscapes of the Amazonian deforestation arc. **Applied Soil Ecology**, 46(3), 443-449.

MARINONI, R.C. & GANHO, N.G. (2003). Sazonalidade de *Nyssodrysinia lignaria* (Bates) (Coleoptera, Cerambycidae, Lamiinae), no Estado do Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**. 20(1):141-152.

McKENZIE, R.M. (1989). Manganese oxides and hydroxides. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B., eds. **Minerals in soil environments**. Madison, Soil Science Society of America p.439-465.

MEDEIROS, G. D. O. R., GIAROLLA, A., SAMPAIO, G., & MARINHO, M. D. A. (2016). Estimates of annual soil loss rates in the state of São Paulo, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 40,e0150497.

MELO, A. S. DE; FERNANDES, P. D.; SOBRAL, L. F.; BRITO, M. E. B.; DANTAS, J. D. M. (2010). Crescimento, produção de biomassa e eficiência fotossintética da bananeira sob fertirrigação com nitrogênio e potássio. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, p.417-426. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902010000300014>

MENDES, C. A. R., MAHLER, C. F., & ANDRADE, A. G. D. (2011). Erosão superficial em argissolo amarelo sob cultivo perene e com pousio florestal em área de relevo montanhoso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35(4), 1387-1396.

MESQUITA, M. D. G. B. D., & MORAES, S. O. (2004). A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Ciência Rural**, 34(3), 963-969.

MICHAELSEN, W. (1900) **Das Tierreich Oligochaeta**. Bertin: Friedländer and Sohn.

MIELNICZUK, J., BAYER, C., VEZZANI, F. M., LOVATO, T., FERNANDES, F. F., & DEBARBA, L. (2003). Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. CURI, N.; MARQUES, JJ; GUILHERME, LRG; LIMA, JM, 209-248.

MONIZ, A. C., JORGE, J., & VALADARES, J. (2009). Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agrônomo de Campinas.

MORAES, W. S., LIMA, J. D., SANTOS, A. J. (2016). Técnica de avaliação da eficiência de fungicidas protetor e sistêmico para controle da sigatoka negra em bananeira. **Pesquisa & Tecnologia**, 13,1-5.

MUALEM, Y. (1976). A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. **Water resources research**, 12(3), 513-522.

NAVA, I. A., JUNIOR, G., CELSO, A., NACKE, H., GUERINI, V. L., & SCHWANTES, D. (2011). Disponibilidade dos metais pesados tóxicos cádmio, chumbo e cromo no solo e tecido foliar da soja adubada com diferentes fontes de NPK+ Zn. **Ciência e Agrotecnologia**, 35(5), 884-892..

NOMURA, E. S., CUQUEL, F. L., JUNIOR, D., ERVAL, R., FUZITANI, E. J., BORGES, A. L., & SAES, L. A. (2016). Nitrogen and potassium fertilization on 'Caipira' and 'BRS Princesa' bananas in the Ribeira Valley. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 20(8), 702-708. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n8p702-708>

ODUM, E.P. (1983). **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara.

OLIVEIRA, M. A. F., MANIESI, V., TEIXEIRA, W., & DAITX, E. C. (2002). Caracterização isotópica de metabasitos e anfíbolitos dos grupos açungui e setuva na porção sul da faixa ribeira. **Geologia USP (Série Científica)**, 2, 161-170.

OLIVEIRA, M. A. F., MANIESI, V., TEIXEIRA, W., & DAITX, E. C. (2002). Caracterização isotópica de metabasitos e anfíbolitos dos grupos açungui e setuva na porção sul da faixa ribeira. **Geologia USP (Série Científica)**, 2, 161-170.

PAES, G. S. M. (2014). Ventura e desventura no Rio Ribeira de Iguape (**Doctoral dissertation**, Universidade de São Paulo).

PINHEIRO, E. F. M., PEREIRA, M. G., & ANJOS, L. H. C. (2004). Aggregate distribution and soil organic matter under different tillage systems for vegetable crops in a Red Latosol from Brazil. **Soil and Tillage research**, 77(1), 79-84.

PONTES, J. B. (1982). Geologia e potencialidade económica da Formação Água Clara (PR). In *SBG, Congresso Brasileiro de Geologia* (Vol. 32, pp. 1002-1016).

QUIJON, P.; CONTRERAS, H. & JARAMILLO, E. (2001). Population biology of the intertidal snail *Chilina ovalis* Sowerby (Pulmonata) in the Queule River estuary, south-central Chile. **Estuaries**, 24(1):69-77.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2019. URL <http://www.R-project.org/>

RAIJ, B. (1991). **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba, Ceres, Potafos.

RAIJ, B. (2011). **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: IPNI.

RAIJ, B.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. (2001). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico.

REICHERT, J. M., REINERT, D. J., & BRAIDA, J. A. (2003). Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência Ambiental**, 27, 29-48.

RENARD, K. G., FOSTER, G. R., WEESIES, G. A., & PORTER, J. P. (1991). RUSLE: Revised universal soil loss equation. **Journal of soil and Water Conservation**, 46(1), 30-33.

RESH, V. H., & CARDÉ, R. T. (Eds.). (2009). **Encyclopedia of insects**. San Diego: Academic press.

REYNOLDS, W. D., & ELRICK, D. E. (2002). Falling head soil core (tank) method. **Methods of soil analysis**. Part, 4, 809-812.

RIGHI, G. (1990). **Minhocas de Mato Grosso e de Rondônia. Programa Polonoroeste**. Relatório de Pesquisa n° 12. SCT/PR—CNPq. In Programa do Trópico úmido (p. 157).

RIVERA, M. B., FERNÁNDEZ-CALIANI, J. C., & GIRÁLDEZ, M. I. (2015). Geoavailability of lithogenic trace elements of environmental concern and supergene enrichment in soils of the Sierra de Aracena Natural Park (SW Spain). **Geoderma**, 259, 164-173. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.06.009>.

RODRIGUES, V. A., SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M., TARJUELO, J. M., SARTORI, M. M. P., & CANALES, A. R. (2015). Avaliação do escoamento e interceptação da água das chuvas. **Irriga**, 1(1), 01-13.

RODRÍGUEZ, C. A. S. (2016). Estrutura da vegetação e sua relação com a

diversidade, abundância e similaridade de coleópteros bioindicadores em diferentes sistemas vegetacionais, Piracicaba, SP (Doctoral dissertation)

RODRÍGUEZ, N. R., MÁRQUEZ, S. M., & RESTREPO, L. F. (2019). The edaphic macrofauna in three components of the coffee plant arrangement associated with different management typologies, Antioquia, Colombia. **Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo**, 51(2), 78-88.

RÖMBKE, J., & GARCIA, M. (2002). Assessment of ecotoxicological effects of pesticides on the soil fauna and soil processes under tropical conditions. In Embrapa Amazônia Ocidental-Artigo em anais de congresso (*ALICE*). In: GERMAN-BRAZILIAN WORKSHOP ON NEOTROPICAL ECOSYSTEMS. ACHIEVEMENTS AND PROSPECTS OF COOPERATIVE RESEARCH, 2000, Hamburg. Proceedings... Hamburg: SHIFT: MADAM: WAVES.

RÖMBKE, J., SCHMIDT, P., & HÖFER, H. (2009). The earthworm fauna of regenerating forests and anthropogenic habitats in the coastal region of Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 44(8), 1040-1049.

ROSSI M. (2017). Mapa pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado. São Paulo: Instituto Florestal.

ROZANE, D. E., MATTOS JR, D., PARENT, S. É., NATALE, W., & PARENT, L. E. (2015). Meta-analysis in the Selection of Groups in Varieties of Citrus. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 46(15), 1948-1959.

RUPPERT, E. E., & BARNES, R. D. (1994). **Invertebrate zoology** Vol. 6, New York: Saunders College Publishing.

SÁ, J. C. M., SÉGUY, L., TIVET, F., LAL, R., BOUZINAC, S., BORSZOWSKI, P. R., ... & ROSA, J. (2015). Carbon depletion by plowing and its restoration by no-till cropping systems in oxisols of subtropical and tropical agro-ecoregions in Brazil. **Land Degradation & Development**, 26(6), 531-543.

SÁ, M. A. C., DE LIMA, J. M., SILVA, M. L. N., & DIAS, J. (2000). Comparison of methods for aggregate stability studies in soils. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 35(9), 1825-1834.

SAKAI, E., LEPSCH, I. F. (1984). Levantamento pedológico detalhado da Estação experimental de Pariqueira-Açu. Campinas: Instituto Agronômico. (Boletim Técnico, 83).

SALOMÃO, L. C. C. SALOMÃO & SIQUEIRA, D. L. (2015). **Cultivo da bananeira**. Lavras: Editora UFV.

SALTON, J. C., MIELNICZUK, J., BAYER, C., BOENI, M., CONCEIÇÃO, P. C., FABRÍCIO, A. C., ... & BROCH, D. L. (2008). Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, 32(1), 11-21.

SANTIN, D., BENEDETTI, E. L., KASEKER, J. F., BASTOS, M. C., REISSMANN, C. B., WENDLING, I., & BARROS, N. F. D. (2013). Nutrição e crescimento da erva-mate submetida à calagem. **Ciência Florestal**, 23(1), 55-66.

SANTOS, A., GORTE, T., DEMETRIO, W. C., FERREIRA, T., NADOLNY, H., CARDOSO, G. B., LEANDRO, H. C. (2018). Earthworm species in no-tillage agroecosystems and native Atlantic forests in Western Paraná, Brazil. **Zootaxa**, 4496(1), 517-534.

SANTOS, D. P., SANTOS, G. G., SANTOS, I. L. D., SCHOSSLER, T. R., NIVA, C. C., & MARCHÃO, R. L. (2016). Characterization of soil macrofauna in grain production systems in the Southeastern State of Piauí, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 51(9), 1466-1475.

SCANLAN, J. C., GRANT, W. E., HUNTER, D. M., & MILNER, R. J. (2001). Habitat and environmental factors influencing the control of migratory locusts (*Locusta migratoria*) with an entomopathogenic fungus (*Metarhizium anisopliae*). **Ecological Modelling**, 136(2-3), 223-236.

SCHAIKA, L.V., PALMB, J., KLAUSC, J., ZEHED, E., SCHRÖDERA, BORIS. (2016) Potential effects of tillage and field borders on within-field spatial distribution patterns of earthworms. **Agriculture, Ecosystems and Environment** 228, 82–90.

SILVA, A. R. da. (2016). **Métodos de Análise Multivariada em R**. Piracicaba: FEALQ.

SILVA, D. R. G., MARCHI, G., SPEHAR, C. R., GUILHERME, L. R. G., REIN, T. A., SOARES, D. A., & ÁVILA, F. W. (2012). Characterization and nutrient release from silicate rocks and influence on chemical changes in soil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36(3), 951-962.

SILVEIRA-NETO, S., NAKANO, O., BARBIN, D., & VILLA-NOVA, N. A. (1976). **Manual de Ecologia de Insetos**. Piracicaba: Agronômica CERES.

SISTI, C. P., DOS SANTOS, H. P., KOHHANN, R., ALVES, B. J., URQUIAGA, S., & BODDEY, R. M. (2004). Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil and tillage research**, 76(1), 39-58.

SOARES, F. A. L., GHEYI, H. R., DE OLIVEIRA, F. H. T., FERNANDES, P. D., ALVES, A. N., & DA SILVA, F. V. (2008). Acúmulo, exportação e restituição de nutrientes pelas bananeiras" Prata Anã" e" Grand Naine". **Ciência Rural**, 38(7), 2054-2058.

SOARES, P. C. (1987). Seqüências tectono-sedimentares e tectônica deformadora no centro-oeste do Escudo Paranaense. **Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia**, v. 3, p. 743-771.

SOSA, J. T. (1992). Earthworms of the banana groves from Tenerife (Canary Islands). **Soil Biology and Biochemistry**, 24(12), 1369-1375.

- SPERA, S. T., SANTOS, H. P. D., FONTANELI, R. S., & TOMM, G. O. (2009). Integração lavoura e pecuária e os atributos físicos de solo manejado sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33(1), 129-136.
- SPOSITO G. (1989). **The chemistry of soils**. New York: Oxford University Press.
- STAFF, S. S. D. (1993). SOIL SURVEY MANUAL. USDA Handbook N° 18. Washington.
- TAHERIA, S., PELOSIB, C., DUPONTA, L. (2018) Harmful or useful? A case study of the exotic peregrine earthworm morphospecies *Pontoscolex corethrurus*. **Soil Biology and Biochemistry**, 116:277–289.
- TEIXEIRA, C. C. L., HOFFMANN, M., & SILVA-FILHO, G. (2009). Comunidade de Coleoptera de solo em remanescente de Mata Atlântica no estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Biota Neotropica**, 9(4), 90:95.
- THOMASONA, J.E., SAVINA, M.C., KRISTOFOR, R. B., GBURB, E. E. (2017) Native earthworm population dominance after seven years of tillage, burning, and residue level management in a wheat-soybean, double-crop system. **Applied Soil Ecology**, 120:211–218.
- TISDALL, J. M. (1994). Possible role of soil microorganisms in aggregation in soils. **Plant and soil**, 159(1), 115-121.
- TISDALL, J. M., & OADES, J. (1982). Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of soil science**, 33(2), 141-163.
- TORMENA, C. A., ROLOFF, G., & SÁ, J. C. M. (1998). Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22(2), 301-309.
- USEPA (US Environmental Protection Agency). (1996). **Soil screening guidance: technical background document**. EPA/540/R-95/128.
- VAN GENUCHTEN, M. T. (1980). A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils 1. **Soil science society of America journal**, 44(5), 892-898.
- VELDKAMP, E. (1994). Organic carbon turnover in three tropical soils under pasture after deforestation. **Soil Science Society of America Journal**, 58(1), 175-180.
- VEZZANI, F. M., & MIELNICZUK, J. (2009). Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33(4), 743-755.
- VIEIRA NETO, J., SILVA, L. F. O., GONÇALVES, P. A. S., ZAMBON, C. R., VILLA, F. (2014). Mineral composition of olive (*Olea europaea* L.) leaves in conventional production system. **Revista Brasileira de Plantas Medicinai**s, 16(1), 122-126.

VIEIRA, L.M. (2013). Banana: Produção e mercado mundial. Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina - 2012-2013. Santa Catarina: EPAGRI. Disponível em: http://docweb.epagri.sc.gov.br/website_cepa/publicacoes/sintese_2013.pdf. Acesso em: 29 ago. 2019.

WALKLEY, A., & BLACK, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil science**, 37(1), 29-38.

WILKIE, K. T. R., MERTL, A. L., & TRANIELLO, J. F. (2007). Biodiversity below ground: probing the subterranean ant fauna of Amazonia. **Naturwissenschaften**, 94(9), 725-731.

WISCHMEIER, W. H., & SMITH, D. D. (1958). Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Eos, Transactions American Geophysical Union**, 39(2), 285-291.

YVAN, C., STÉPHANE, S., STÉPHANE, C., PIERRE, B., GUY, R., & HUBERT, B. (2012). Role of earthworms in regenerating soil structure after compaction in reduced tillage systems. **Soil Biology and Biochemistry**, 55: 93-103.

**ANEXO 1 – VALORES BRUTOS DE ABUNDÂNCIA DE TAXONS DE
MACROFAUNA AO LONGO DAS ESTAÇÕES DO ANO.**

TAXON	Nº de Indivíduos				TOTAL
	Primavera	Verão	Outono	Inverno	
Anfipoda	0	0	0	0	0
Araneae	95	13	69	105	282
Blattaria	5	6	48	66	125
Coleoptera	32	11	21	10	74
Dermaptera	855	380	676	910	2821
Diplopoda	1	9	10	6	26
Formicidae	1298	0	105	216	1619
Gastropoda	93	46	158	254	551
Hemiptera	4	10	1	1	16
Isopoda	20	4	21	7	52
Larva	30	3	14	40	87
Oligoqueta	0	0	2	0	2
Ortoptera	3	0	43	13	59
Outros	16	0	14	15	45
Nº Indivíduos	2452	482	1182	1643	5759

**ANEXO 2 – VALORES MÉDIOS DE FREQUÊNCIA RELATIVA DE
CLASSES DE TAMANHO DE AGREGADOS EM FUNÇÃO DAS ÁREAS E
PROFUNDIDADES.**

Área		Classe			
		> 7,93	7,93 - 2,00	2,00 - 0,50	< 0,50
Eldorado	Floresta	0,26	0,27	0,25	0,22
	Banana	0,13	0,33	0,32	0,22
Sete Barras	Floresta	0,11	0,39	0,28	0,22
	Banana	0,30	0,36	0,18	0,16
Registro	Floresta	0,06	0,31	0,25	0,37
	Banana	0,29	0,34	0,16	0,21
Média		0,19	0,34	0,24	0,23

Profundidade (m)	Classe			
	> 7,93	7,93 - 2,00	2,00 - 0,50	< 0,50
0,00 - 0,05	0,22	0,38	0,20	0,19
0,05 - 0,10	0,20	0,33	0,25	0,23
0,10 - 0,20	0,16	0,30	0,27	0,27