

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO EM MANEJO AGROFLORESTAL UTILIZANDO A CROMATOGRAFIA CIRCULAR DE PFEIFFER E INDICADORES MICROBIOLÓGICOS

Evaluation of soil quality with agroforest management using Pfeiffer's circular chromatography and microbiological indicators

Raissa Razera¹, Adriel Rodrigues Vaz², Aline Cipriano Valentim Bastos³, Iolanda Cirstina Silveria Duarte⁴, Fernando Silveira Franco⁵

RESUMO

A Cromatografia Circular de Pfeiffer (CCP) é um indicador qualitativo do solo, de baixo custo, acessível e tem mostrado grande potencial nos estudos em Agroecologia. O objetivo foi analisar a qualidade do solo de um Sistema Agroflorestal com diferentes formas de manejo, durante o período de 12 meses, utilizando indicadores microbiológicos e parâmetros químicos do solo, correlacionados com a CCP. As amostras de solo, coletadas nas estações seca e chuvosa, foram analisadas utilizando a CCP e os seguintes indicadores: bactérias heterotróficas mesófilas totais, fungos totais, pH, umidade e matéria orgânica. Constatou-se que não houve diferença significativa entre o SAF controle e o SAF manejado, no período estudado, para todos os indicadores analisados. A CCP, as bactérias heterotróficas mesófilas totais e os fungos totais mostraram-se sensíveis a sazonalidades entre as estações seca e chuvosa. Houve correlação positiva, demonstrado pela zona de aeração da CCP, com matéria orgânica e umidade do solo. Conclui-se que a intensidade do manejo aplicado no SAF não foi suficiente para causar mudanças significativas na qualidade do solo, durante o período avaliado

Palavras-chave: Microbiologia de solos. Sistema Agroflorestal. Qualidade do Solo.

ABSTRACT

Pfeiffer Circular Chromatography (CCP) is a qualitative indicator of soil, low cost, accessible, and has great potential in studies in Agroecology. The objective was to analyze the soil quality of an Agroforestry System with different forms of management during 12 months using microbiological indicators and chemical parameters of the soil, correlated with a CCP. Soil samples, collected in the dry and rainy seasons, were analyzed using a CCP and the following indicators: total mesophilic heterotrophic bacteria, total fungi, pH, moisture, and organic matter. It was found no differences between the SAF control and the managed SAF control in the studied period for all impact indicators. CCP, total mesophilic heterotrophic bacteria, and total fungi are sensitive to seasonality between the dry and rainy seasons. There is a positive correlation by the CCP aeration zone, with organic matter and soil moisture. The conclusion obtained was that the management intensity applied in the SAF was not sufficient to cause specific changes in the soil quality, during the evaluated period.

Keywords: Soil microbiology. Agroforestry System. Soil Quality.

¹ Graduanda em Ciências Biológicas pela UFSCar Sorocaba.
E-mail: rarazera@hotmail.com

² Graduando em Engenharia Florestal pela UFSCar Sorocaba.
E-mail: adrielvaz@gmail.com

³ Graduanda em Ciências Biológicas pela UFSCar Sorocaba.
E-mail: alineciprianov@gmail.com

⁴ Professora associado III na UFSCar Sorocaba.
E-mail: iolanda.duarte@gmail.com

⁵ Professor Associado na UFSCar Sorocaba. E-mail:
fernando.agrofloresta@gmail.com

Recebido em: 04/11/2020

Aceito para publicação em:
12/01/2021

Correspondência para:
rarazera@hotmail.com

Introdução

Os Sistemas Agroflorestais (SAF) representam uma prática agrícola de base ecológica que se assemelha à floresta, sendo cultivadas plantas de diferentes estratos, como árvores, arbustos e herbáceas em consórcio. As técnicas de manejo aplicadas aos SAF visam acelerar e otimizar os processos sucessionais, observando a dinâmica do ecossistema local, com o objetivo não só de produzir alimentos como também regenerar as funções ecossistêmicas e aumentar a biodiversidade (BREZOLIN et al., 2018; SCHULZ; BECKER; GÖTSCH, 1994). Como referencial teórico, a Agroecologia, diferente da agricultura convencional, busca trabalhar de acordo com as necessidades socioeconômicas locais dos agricultores e suas circunstâncias ambientais, visto que as tecnologias agroecológicas não seguem uma padronização, sendo, portanto, flexíveis e se adaptando a cada situação específica (ALTIERI e TOLEDO, 2011).

Algumas inferências podem ser feitas relacionando o tipo de manejo agrícola com a qualidade do solo. No modelo de agricultura convencional, manejado com agrotóxicos, o solo permanece, frequentemente, com uma concentração significativa de princípios ativos dos mesmos, que influenciam, negativamente, o crescimento microbiano, bem como nas atividades enzimáticas do solo (WOLEJKO, et al., 2020). No SAF, o manejo de incorporação de matéria orgânica no solo promove o aumento da biomassa microbiana e, conseqüentemente, suas atividades de decomposição e mineralização (CASALINHO et al., 2007; MAINI, SHARMA e SHARMA, 2020).

Para estimar a qualidade do solo, são utilizados indicadores que são propriedades, processos e características físicas, químicas e biológicas, que podem ser medidos e interpretados para monitorar padrões e mudanças no solo (HEGER; IMFELD; MITCHELL, 2012). Com a finalidade de avaliar a qualidade do solo, utiliza-se de um conjunto mínimo desses indicadores (CHERUBIN et al., 2015). Entretanto, indicadores biológicos têm demonstrado ser mais sensíveis para detectar alterações provocadas no solo pelo uso e manejo em relação aos indicadores físicos e químicos (CARDOSO et al., 2009; STÖCKER et al., 2017; ZHOU et al., 2020).

Dos diversos indicadores biológicos da qualidade do solo, vale ressaltar a importância dos microrganismos, que desempenham diversos serviços ecossistêmicos, tais como a formação e estruturação dos solos (VEZZANI e MIELNICZUK, 2009), decomposição da matéria orgânica (CUNHA et al., 2012) e atuação nos ciclos biogeoquímicos (HAI et al., 2009). A diluição seriada do solo seguida de inoculação pelo método “*spread plate*” (espalhar na superfície da placa) é um método que pode indicar o estágio de recuperação em áreas degradadas, através da quantidade de microrganismos que o solo apresenta (BUENO et al., 2018).

A Cromatografia Circular de Pfeiffer (CCP) é uma metodologia que pode atuar como um indicador qualitativo do solo. Esse indicador é expresso pela reação química do nitrato de prata e hidróxido de sódio com o solo, sendo que essa reação ocorre em um papel de filtro circular (PINHEIRO, 2011). Através das cores, formatos e padrões gerados por essa reação no papel filtro, é possível fazer inferências sobre as condições físicas, químicas e biológicas do solo (PFEIFFER, 1984).

Pesquisas vêm sendo realizadas para validar CCP aos parâmetros quantitativos convencionais indicadores da qualidade do solo (KOKORNACZYK et al., 2016; GRACIANO et al., 2020; MELO et al., 2019; PERUMAL, ANANTHI, ARUNUKUMAR, 2016). À vista disso, o objetivo deste estudo foi analisar a qualidade do solo de um SAF experimental com diferentes formas de manejo, por um período de 12 meses. Além disso, buscou-se relacionar os indicadores microbiológicos e parâmetros químicos quantitativos do solo com dois métodos interpretativos da Cromatografia de Pfeiffer, sendo numérico e outro não numérico (RESTREPO & PINHEIRO, 2011; SOILTECH SOLUTIONS, 2020).

Metodologia

Localização e caracterização do meio físico da área de estudo

A área de estudo pertence ao *campus* da UFSCar Sorocaba, compreendendo o SAF Experimental Primavesi e áreas do seu entorno. Na Figura 1, é possível visualizar cada parcela da área de estudo: Parcela 1 - SAF controle, Parcela 2 - SAF manejado, Parcela 3 - Área de Pousio de capim *Brachiaria* sp., Parcela 4 - Remanescente de Floresta Estacional Semidecidual em estágio intermediário de sucessão (Fragmento de Mata), segundo Corrêa et al. (2014).

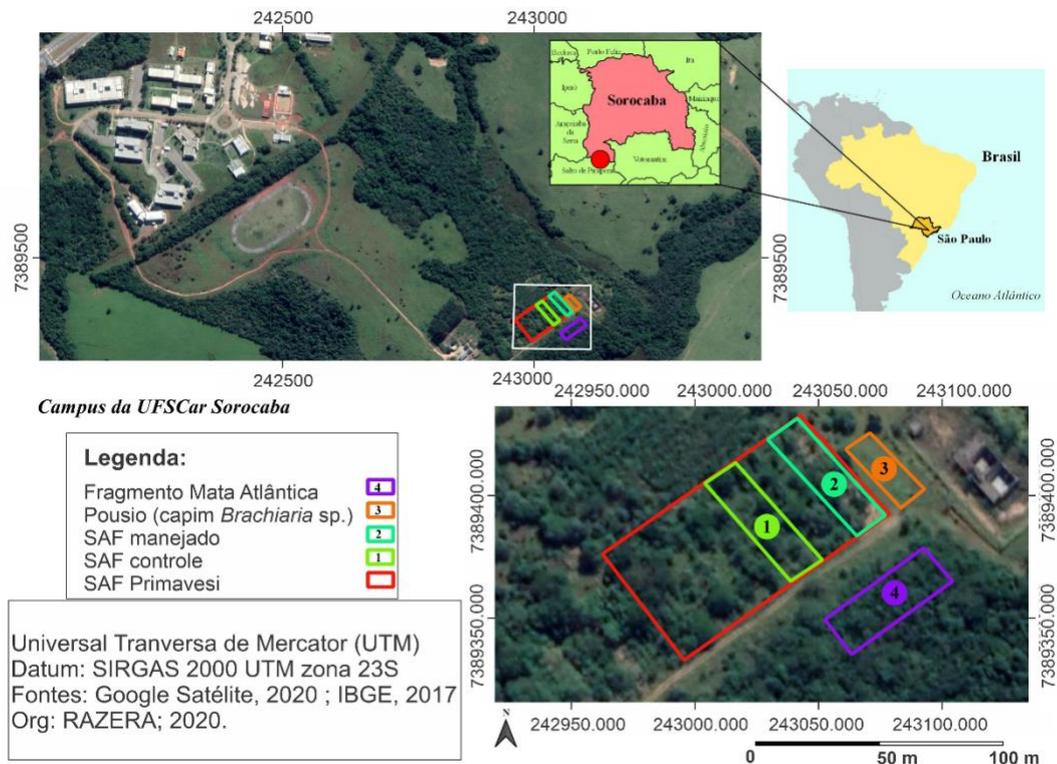


Figura 1. Localização das parcelas na área de estudo. **Fontes:** Google Satélite, 2020; IBGE, 2017. **Organização:** Autor, 2020.

O município de Sorocaba possui clima tropical quente e úmido, com um inverno seco e um verão chuvoso. Segundo a classificação climática de Köppen (1931), o clima predominante é Cwa. No verão, as médias de temperatura são superiores a 22°C e a pluviosidade média mensal é de, aproximadamente, 200 mm. No inverno, a temperatura média é inferior a 18° C e pluviosidade média mensal próximo a 30 mm (PINHEIRO et al., 2011).

De acordo com Villela et al. (2015), foram encontrados três tipos principais de solos no campus da UFSCar Sorocaba: Latossolo Vermelho, Cambissolo e Cambissolo progredindo para organização de horizonte Bw (latossólico), sendo esse último o mais próximo da área estudada.

Breve histórico do SAF Primavesi

O SAF Primavesi foi implementado no *campus* da UFSCar Sorocaba, em 2014, produto de uma compensação ambiental. Antes da implantação, a área era um pasto, com predominância do capim *Brachiaria* sp. e plantas espontâneas. O desenho agroflorestal foi pensado em linhas de árvores nativas e frutíferas, intercaladas com linhas de bananeiras, com espaçamento de 2 x 2m. Até o ano de 2018, o SAF permaneceu com poucas intervenções de manejo, as árvores cresceram, porém, as bananeiras permaneciam muito pequenas, devido à deficiência de nutrientes. Em 2018, os manejos passaram a ser realizados. Na Parcela 1, não foram feitas interferências (SAF controle) e os manejos iniciaram-se na Parcela 2 (SAF manejado) (figura 1).

Manejos aplicados na Parcela 2 do SAF Primavesi (SAF manejado)

Os manejos foram realizados uma vez ao mês, durante 12 meses com roçagem feita com roçadeira lateral, incorporando o capim *Brachiaria* sp. e adubação verde nas entrelinhas. Foi semeado, na entrelinha das bananeiras, a adubação verde: Mucuna Preta (*Mucuna aterrima*), Feijão Guandu (*Cajanus cajan*), Crotalária (*Crotalaria* sp.) e Feijão de Porco (*Canavalia ensiformis*), em outubro/2018. Após um ano, essa adubação foi roçada e plantou-se nessa mesma entrelinha, Açafrão-da-Terra (*Curcuma longa*) e Inhame (*Dioscorea* sp.), com espaçamento de 0,8 m × 0,8 m. Nenhum fertilizante, adubo ou nutriente comercial foi adicionado.

Coleta das amostras

As coletas de solo foram realizadas nos meses: agosto/2019, dezembro/2019, março/2020, agosto/2020, cada área de estudo possui 20 pontos de coleta fixos, distribuídos em zigue-zague. Na primeira amostragem, foram coletadas amostras de solo dos horizontes subsuperficiais, correspondentes 0-10 cm (A) e 10-20 cm (B) das Parcelas 1, 2, 3 e 4 (figura 1). As Parcelas 3 e 4 serviram de parâmetro para analisar as condições do mesmo solo, submetidos a manejos distintos, denominadas áreas de referência. Nas demais amostragens, foram coletados solos apenas das Parcelas 1 e 2. Considerou-se a estação chuvosa a segunda e terceira coleta (dez/2019-mar/2020) e estação seca a primeira e quarta coleta (ago/2019-ago/2020).

As coletas foram realizadas sempre na parte da manhã, em dias sem chuvas. Em cada área, as amostras foram retiradas com um trado-holandês, separando em cada balde de plástico as amostras de 0-10 cm (A) e 10-20 cm (B), homogeneizou-se e retirou-se uma amostra composta representativa de cada parcela (FILIZOLA et al., 2006). As amostras compostas foram alocadas de duas maneiras: o solo, que foi inoculado para contagem de fungos e bactérias, foi colocado em potes de plásticos estéreis, e o solo destinado às demais análises, em sacos de plástico transparente. Depois de coletados, os solos permaneceram em bolsa térmica, com gelo até chegar ao Laboratório de Microbiologia Aplicada (LMA).

Análises laboratoriais

Bactérias heterotróficas mesófilas totais e fungos totais

Foi pesado 15g de cada amostra de solo homogeneizado, transferindo-o dentro da Capela de Fluxo Laminar a um frasco contendo 135 mL de solução salina (0,85%) autoclavada. Os frascos permaneceram em uma mesa agitadora orbital, com velocidade de 145 rpm, durante 30 minutos (diluição 10^{-1}), a partir da qual foram preparadas diluições decimais seriadas até 10^{-6} . Para as bactérias, utilizou-se a técnica *spread-plate*, em meio *Plate Count Agar* (PCA), inoculou-se alíquotas de 100 µL, em triplicata, permanecendo a 37°C, por 48 horas. Para os fungos, também se utilizou a técnica *spread-plate*, no meio *Ágar Sabouraud*, com as mesmas diluições. As placas foram incubadas a 25°C, por 8 dias. Os valores foram expressos em $\text{Log}_{10}\text{UFC g}^{-1}$ de solo (BUENO et al., 2018; LIMA et al., 2014; MELZ & TIAGO, 2009).

Umidade, pH e Matéria Orgânica

Para as análises de umidade, pH e matéria orgânica, foi seguido os protocolos descritos no “Manual Técnico: Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo” da EMBRAPA (MONTEIRO e FRIGHETTO, 2000). Para a umidade, pesou-se 5 g do solo úmido (passado por peneira de 2 mm de malha) em um cadinho de peso conhecido e, em seguida, foram levados à estufa, por 24 horas, a 105°C. Após esse período, esfriou-se em dessecador e pesou-se o cadinho com o solo seco. Os resultados foram expressos em porcentagem.

O pH foi medido por potenciometria, por meio de eletrodo combinado imerso em suspensão solo: líquido, na proporção de 1:2,5. Para a matéria orgânica (M.O), pesou-se 5g de TFSA (terra fina seca ao ar) em um cadinho, levado à estufa por 24 horas a 65°C. Retirou-se da estufa, deixando em dessecador até esfriar. A massa do solo seco foi pesada em cadinho de porcelana, em balança analítica. Retornando o solo seco no cadinho de porcelana para a mufla, a uma temperatura de 600°C, por 4 horas. O cadinho

de porcelana foi retirado da mufla e permaneceu em dessecador até esfriar. O resíduo (solo incinerado) foi pesado no cadinho frio de porcelana. A unidade de medida da M.O foi expressa em porcentagem (TEIXEIRA et al., 2017).

Cromatografia Circular de Pfeiffer (CCP)

A CCP foi realizada seguindo a metodologia original (PFEIFFER, 1984), com algumas adaptações de padronização metodológicas (GRACIANO et al., 2020). Para cada 5 g de amostra de solo TFSA, foram adicionados 50 mL de hidróxido de sódio (NaOH) a 1% (solução extratora), que solubiliza substâncias nitrogenadas do metabolismo dos microrganismos presentes na amostra de solo (DOMINGUES et al., 2018). A solução extratora com as amostras de solos foram homogeneizadas e, após 15 minutos de repouso, realizou-se mais uma sequência de homogeneização, aguardando decantar por mais 60 minutos, realizou-se, novamente, a homogeneização, aguardando a decantação total por 6 horas.

Enquanto a solução extratora decantava, no Laboratório de Indicadores de Sustentabilidade Agroflorestal (LaISA), em uma sala escura, foi impregnado a solução de nitrato de prata a 0,5% (solução reveladora), no papel filtro circular Whatman nº 4, através de um capilar (feito com o próprio papel filtro), adicionado no centro. Para cada cromatograma, foi adicionado 0,5 mL da solução reveladora, percorrendo por capilaridade até 4 cm de raio.

Os papéis de filtro já impregnados permaneceram na sala escura para secarem. Após as 6 horas de decantação total, foi retirado o sobrenadante, homogeneizado e adicionado 1,3 mL para cada papel filtro, com um novo capilar, foi arrastado por capilaridade a solução extratora, atingindo a marca de 6 cm de raio em cada cromatograma. Cada amostra foi realizada em triplicata. Em seguida, os cromatogramas foram dispostos em uma caixa de madeira, com vidro na parte superior, para que secassem de forma padronizada, recebendo iluminação indireta do Sol dentro do laboratório. Após 10 dias, os cromatogramas foram digitalizados, com dimensões de pixels de 2550×3510 e 300 dpi.

Interpretação dos Cromatogramas de Pfeiffer

Com os cromatogramas digitalizados, analisou-se as triplicatas e escolheu-se o cromatograma mais representativo para ser interpretado. Para transformar o cromatograma em um fator numérico, utilizou-se o método interpretativo da empresa SoilTech Solutions (SOILTECH SOLUTIONS, 2020). Essa metodologia apresenta 9 categorias para avaliar o cromatograma: Tamanho da Zona Central (Tzc); Nota da Zona Central (Nzc); Nota da Zona Interna (Nzi); Nota da Zona Intermediária (Nzinter); Zona Externa; Cor da Zona Externa; Nuvens da Zona Externa; Relação e Transição. Para cada categoria, a nota varia de 1 a 10, sendo a nota 1 uma condição não desejável do solo e a 10 a condição mais adequada. Para compor a Nota da Zona Externa (Nze), foram consideradas as médias das categorias: Zona Externa, Cor da Zona Externa e Nuvens da Zona Externa. Não foram apresentados os resultados das categorias “Relação” e “Transição”, por não apresentarem diferenças significativas.

Para evitar qualquer problema na interpretação, foi feito um documento onde não continha nenhuma informação sobre a origem do cromatograma. Três voluntários (com conhecimento prévio da metodologia) avaliaram cada uma das nove categorias interpretativas, sendo o resultado de cada categoria a média das três notas.

Para análise estatística, realizou-se uma média para a nota de cada zona, e foi transformado o valor final em uma escala de zero a dez. A somatória de todas as zonas compusera a “Nota da Cromatografia”, utilizada para a análise comparativa.

O tamanho das zonas interpretativas do cromatograma (Figura 2) foi medido como: zona central, zona interna, zona intermediária e zona externa (PILON; CARDOSO; MEDEIROS, 2018), utilizando o Software livre *ImageJ* (SCHNEIDER; RASBAND; ELICEIRI, 2012). Em cada zona, mediu-se seu ponto máximo e mínimo e mais três pontos aleatórios, a média das cinco medidas de cada zona foram expressas em milímetros. As medidas obtidas pelo *ImageJ* foram utilizadas para a análise de correlação. Os

cromatogramas foram analisados também de forma não numérica, atribuindo a cada coloração e formato a qualidade que lhe confere, sendo expressa de forma textual (RESTREPO e PINHEIRO, 2011).

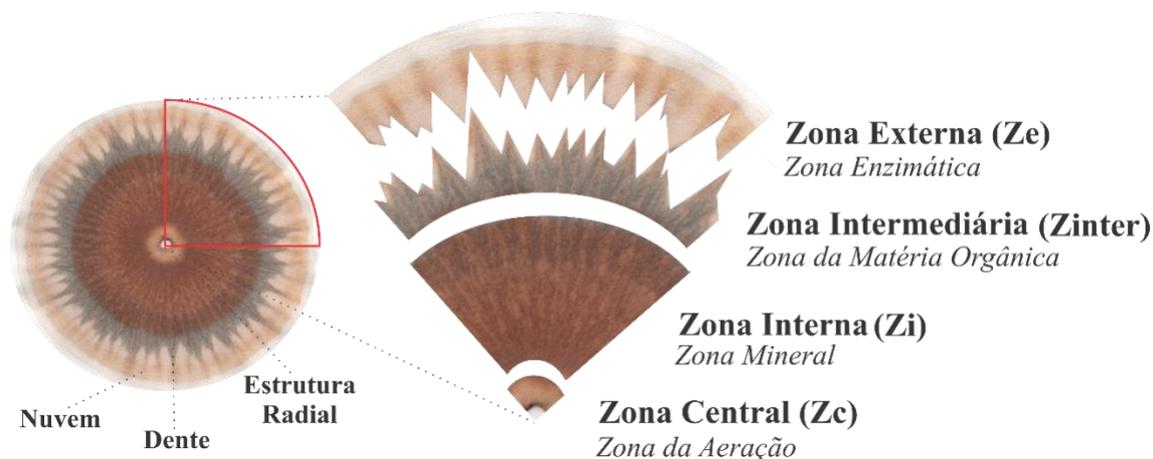


Figura 2. Cromatograma de Pfeiffer com destaque em vermelho $\frac{1}{4}$ do cromatograma. Destaque das zonas utilizadas para interpretação. **Fonte:** Autor, 2020.

Análises Estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o Ambiente Estatístico R versão 4.0.2 (R CORE TEAM, 2020). Para realizar a análise de correlação de Pearson (nível de significância de 5%), foram considerados os dados da primeira coleta (agosto/2019). Os testes de Bartlett e Shapiro-Wilk foram aplicados para confirmar se os dados e seus resíduos obedeciam a distribuição normal e, após essa confirmação, foi aplicada a análise de variância (ANOVA) e o teste de Tukey para verificar a existência de diferenças significativas entre os tratamentos, ambos a um nível de significância de 5%.

Resultados e discussão

Profundidade de coleta

Nos solos analisados, durante o período do estudo, não foram encontradas diferenças significativas (ANOVA, $p > 0,05$) entre as profundidades de amostragem 0-10 e 10-20 cm para todos os indicadores em todas as parcelas amostradas.

Manejos agroflorestais e variação climática

A adubação verde se estabeleceu na entrelinha das bananeiras, porém, esperou-se a frutificação para a colheita das sementes (material suplementar 3.E), o que gerou pouca biomassa para a cobertura do solo. Essa biomassa foi rapidamente decomposta, deixando o solo exposto com apenas algumas plantas espontâneas e rebrota do capim *Brachiaria* sp. A parte que mais recebeu matéria orgânica de recobrimento foi ao redor das bananeiras, utilizando o pseudocaule e suas folhas como biomassa. As mudas de inhame e açafrão cresceram durante o período chuvoso (material suplementar 3.G), mas, assim que se iniciou o inverno, todos os indivíduos não sobreviveram, devido à escassez de chuvas (Figura 3).

Foi constatado que a biomassa gerada apenas pela rebrota do capim *Brachiaria* sp. foi insuficiente para manter todo o solo das entrelinhas da parcela do SAF manejado coberto. A quantidade de biomassa gerada pelas bananeiras era suficiente apenas para recobrir até um metro de raio entre cada touceira.

As temperaturas mínimas e máximas, bem como a precipitação mensal acumulada durante o período do experimento, está representada na Figura 3. Os dados foram obtidos através do banco de dados do INMET, de estações próximas à área de estudo. A estação chuvosa (outubro a março) registrou precipitação acumulada de 835,5 mm, média da temperatura mínima de 18,9°C e média da temperatura máxima de 29,2°C, respectivamente, para estação seca (abril a setembro), 309,6 mm, 13,3°C e 25,2°C.

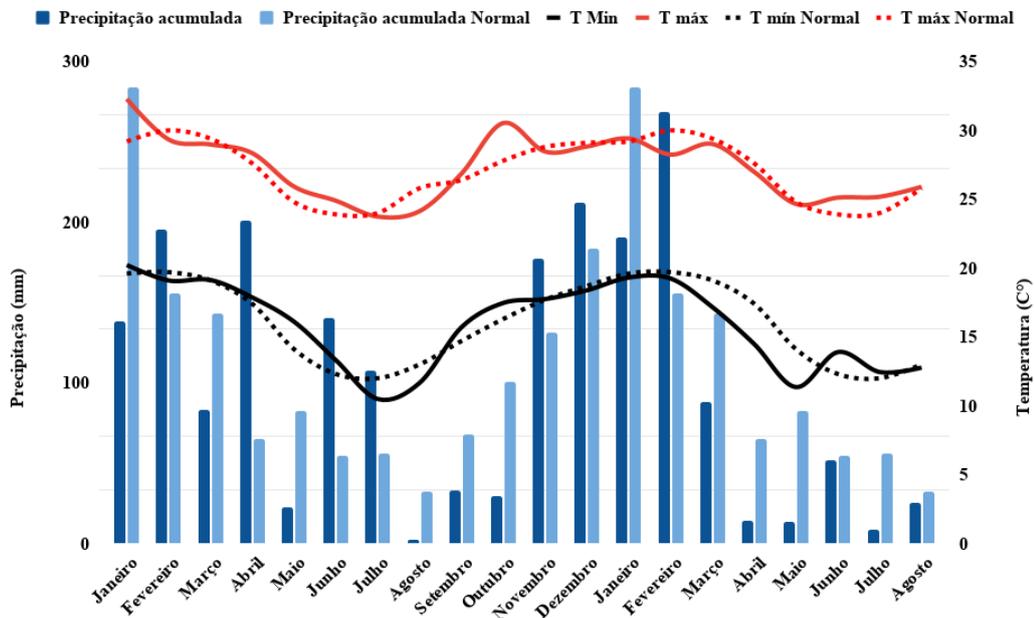


Figura 3. Condições climáticas da região de Sorocaba (Janeiro/2019 a Agosto/2020). **Fonte:** INMET, 2020.

Organização: Autor, 2020.

Ao comparar a normal climatológica da estação de Sorocaba com os dados de precipitação mensal acumulada durante o período do experimento (Figura 3), é possível inferir que, em 2019, os meses de janeiro, março, maio, agosto, setembro e outubro tiveram quantidades de chuvas abaixo do esperado. O mês de agosto teve um destaque na primeira coleta, em que se esperava uma precipitação em torno de 32 mm, e foi registrado apenas 2 mm. Em 2020, o mesmo padrão de escassez de chuvas se manteve, com exceção do mês de fevereiro, em que a precipitação foi acima do esperado (112,6 mm a mais do que a normal climatológica).

Matéria orgânica, umidade e pH (material suplementar 1)

O valor médio percentual da matéria orgânica (0-10 cm e 10-20 cm), das quatro amostragens, foi de 7,36% para o SAF controle, e 6,95% para o SAF manejado. Comparando o teor de matéria orgânica dos SAF com as áreas de referência (8,05% para o Fragmento de Mata e 6,02% para a área de Pousio), é possível verificar que os SAF obtiveram valores intermediários. O teor de matéria orgânica das parcelas estudadas está abaixo dos valores encontrados para um cultivo de Citros próximo ao *campus* UFSCar Sorocaba-SP (amostragens de setembro à dezembro), onde o solo do cultivo convencional obteve teores de matéria orgânica entre 10,03 - 19,46% e o solo do manejo orgânico de 11,88 - 26,20% (SILVA et al., 2019).

A estabilização da matéria orgânica varia de acordo com as condições climáticas e com o manejo, condição essa que impossibilita a observação de mudanças significativamente diferentes em curtos intervalos de tempo, como é o caso do presente estudo. Para que as diferenças sejam significativas, talvez seja necessário um período maior de observação (SCHMIDT et al., 2011).

Em agosto/2019 o teor de umidade do solo do SAF, controle e manejado (13,61% e 13,57%), estava próximo do Fragmento de Mata (13,38%), valores esses que são díspares do teor para o solo da área de

Pousio (8,46%), o que é esperado, devido à falta de cobertura vegetal da área de Pousio. Observou-se que, na estação chuvosa, o SAF manejado chegou a reter 50% a mais de umidade do que o SAF controle. Isso ocorreu devido a uma das práticas do manejo, o recobrimento do solo, diminuindo a evaporação de água do solo e da evapotranspiração das culturas (VEZZANI e MIELNICZUK, 2009).

Com relação ao pH, quando comparados os resultados de todas as parcelas, ocorreu uma baixa variação, partindo do pH mínimo, 6,00, até pH máximo, 6,79. Valores próximos de pH foram encontrados por Silva et al. (2019), no cultivo de citros com manejo orgânico (pH de 5,71 a 6,52). A baixa variação no pH na área de estudo pode ser explicada pelo manejo aplicado, uma vez que a adubação orgânica está associada ao acúmulo de matéria orgânica, o que reduz a perda de ânions no sistema e aumenta o consumo de H⁺ (THEODORO et al., 2003).

Comparação dos solos sob manejos agroflorestais com as Áreas de Referência

Foi possível constatar nos cromatogramas uma grande similaridade entre todas as parcelas (material suplementar 2). As diferenças visuais mais notáveis entre cada tratamento se deram, principalmente, na Zc (Zona Central), tanto em relação à cor, quanto ao tamanho da zona. Apesar dessas diferenças visuais não serem discrepantes para a metodologia interpretativa utilizada na presente pesquisa, pode haver diferenças através de outras metodologias.

Uma análise textual qualitativa, seguindo os padrões descritos por Pfeiffer (1984) e Restrepo & Pinheiro (2011), pode inferir as seguintes qualidades, para todas as parcelas amostradas: as colorações cinzenta e marrom escuro são indicadores de condições indesejadas no solo, essa coloração se concentra em nossas amostras na Zi (Zona Interna - relacionada com as condições minerais do solo) e Zinter (Zona Intermediária - relacionada com a matéria orgânica). Nas parcelas amostradas, o percentual de matéria orgânica variou de um mínimo, 5,68%, até um máximo, de 8,22%. No estudo de Aguirre; Piraneque & Díaz (2019), solos com alterações nas relações catiônicas, causador de problemas de absorção de nutrientes por deficiência induzida, resultaram em cromatogramas com cores mais escuras, maior número de “dentes” na Ze (Zona Externa) e menor integração entre as zonas.

Apesar da coloração dessas zonas apontarem para um desequilíbrio, segundo o estudo de Kokornaczyk et al. (2016), as características radiais no cromatograma estão relacionadas a características positivas do solo, enquanto o padrão concêntrico é caracterizado por indicar baixa qualidade do solo. Todos os cromatogramas das áreas de estudo apresentaram mais características radiais em relação ao padrão concêntrico, padrão esse que ocorreu, inclusive, no cromatograma da área de Pousio. Esse comportamento pode ser explicado devido à restauração de funções ecológicas e da qualidade do solo (BREZOLIN et al., 2018), uma vez que se partiu de uma pastagem degradada, porém, que há mais de uma década não é aplicado pesticidas, nem há pastejo de gado.

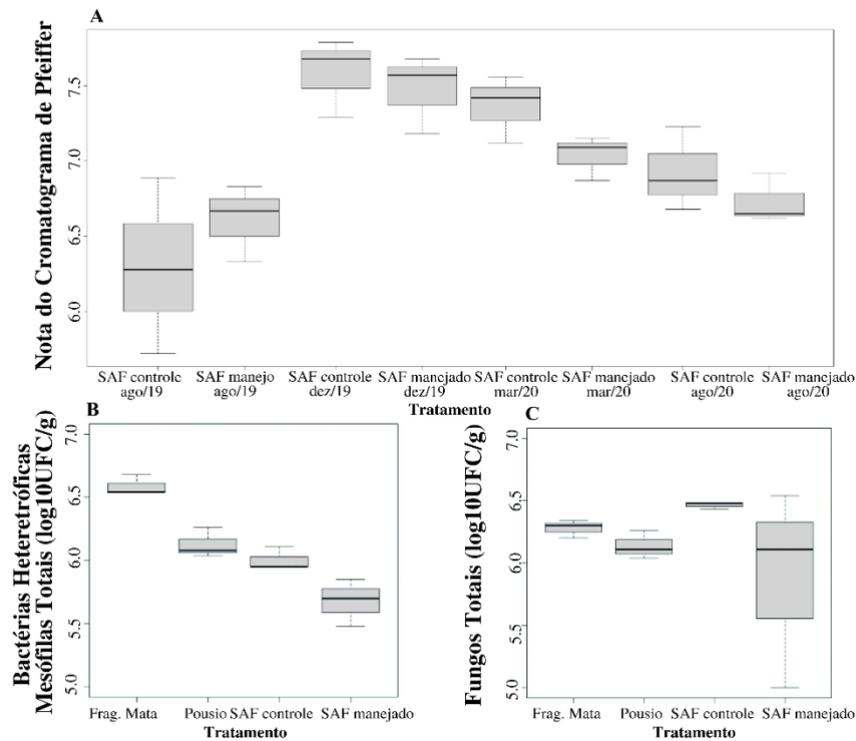


Figura 4. A. BoxPlots das notas dos cromatogramas do SAF controle e SAF manejado ao longo do tempo. **B.** Boxplots Bactérias mesófilas heterotróficas totais das Áreas de Referência em comparação com as parcelas dos SAF (ago/2019). **C.** Boxplots Fungos totais das Áreas de Referência em comparação com as parcelas dos SAF (ago/2019).
Fonte: Autor, 2020.

As médias das bactérias na área de Pousio apresentaram diferenças significativas (Tukey) quando comparado ao SAF Manejado ($p < 0,05$), mas não demonstrou essa diferença do SAF controle ($p > 0,05$), e o Fragmento de Mata diferiu-se de todos os demais ($p < 0,05$).

Analisando os dados da Figura 4.B, pode-se verificar que a quantidade de bactérias foi menor para o SAF manejado. Esse resultado pode ser explicado pelos eventos ocorridos nessa amostragem (ago/2019), o SAF manejado estava com adubação verde na entrelinha das bananeiras. Para semear a adubação verde, o solo foi capinado e preparado com enxada, e essa quebra dos agregados do solo e exposição à altas temperaturas do período de seca (umidade do solo de 13,57%) promoveram um ambiente menos eficiente na metabolização do carbono pelos microrganismos (LOUREIRO et al., 2016). Já para os Fungos Totais, não foram encontradas diferenças significativas entre as parcelas, e a variância pode ser observada na Figura 4.C.

Comparação entre o SAF controle e manejado entre as estações seca e chuvosa

Houveram diferenças significativas entre as notas dos cromatogramas de Pfeiffer do SAF controle e do SAF manejado (Figura 4.A) em relação às datas de coleta pela ANOVA ($p < 0,05$), sendo que essa diferença se encontra entre a primeira e segunda coleta (ago/2019-dez/2019, $p < 0,05$) para ambas parcelas e também entre a primeira e terceira coleta para o SAF controle (ago/2019-mar/2020, $p < 0,05$) e entre a segunda e quarta coleta para o SAF manejado (dez/2019-ago/2020, $p < 0,05$), pelo Teste de Tukey.

Houve diferenças significativas nas contagens de bactérias nas amostras do SAF controle entre as datas de coleta ($p < 0,05$), essas diferenças ocorreram entre as estações seca e chuvosa. Entre a primeira e terceira coleta a quantidade de UFC g^{-1} foi de 6,01 para 5,00 (ago/2019-mar/2020, $p < 0,05$), entre primeira e última coleta de 6,01 para 5,31 UFC g^{-1} (ago/2019-ago/2020, $p < 0,05$). Da mesma forma, houve diferenças significativas do SAF manejado entre as datas de coleta ($p \leq 0,001$). Todas as coletas variaram significativamente entre si (ago/2019 - 5,70 UFC g^{-1} , dez/2019 - 6,30 UFC g^{-1} ; mar/2020 - 6,78 UFC g^{-1} e ago/2020 - 5,00 UFC g^{-1}). As bactérias se mostraram muito sensíveis a sazonalidade das coletas,

tanto para o tratamento controle quanto para o manejo, variando significativamente entre as coletas realizadas nas estações chuvosas e secas.

Houve diferenças significativas nas UFC g^{-1} de solo dos fungos totais do SAF controle ($p < 0,05$). Essa diferença ocorreu entre dez/2019-mar/2020 ($p < 0,05$), cujo número de UFC g^{-1} foi de 6,74 para 5,75 e mar/2020-ago/2020 ($p < 0,05$) de 5,75 UFC g^{-1} para 7,36. Já no SAF manejado, a diferença ocorreu entre as coletas ago/2019-dez/2019 ($p < 0,05$) de 6,21 para 7,52 UFC g^{-1} . Assim como o indicador bactérias mesófilas heterotróficas totais, os fungos totais também foram sensíveis às sazonalidades, em que é possível diferenciar os períodos chuvosos e secos.

A quantidade de UFC g^{-1} de solo dos microrganismos dos SAF controle e manejado são comparáveis a de um SAF de “recuperação intermediária”, com implementação de apenas um ano (BUENO et al., 2018). Isso demonstra o quanto o SAF Primavesi necessita de mais intervenções de manejo para restaurar a qualidade do solo.

Análise das zonas dos cromatogramas de Pfeiffer

Na análise da Zc (Zona central) é nítida a diferença entre o Pousio e o Fragmento de Mata Atlântica (Figura 5.B). No Pousio, essa zona é muito menor e escura (indica menos aeração), e no Fragmento de Mata essa zona é maior e com coloração bege (indica que as atividades enzimáticas e microbiológicas estão ativas) (RESTREPO & PINHEIRO, 2011), e as parcelas do SAF controle e manejado apresentaram características intermediárias. As Zc dos cromatogramas do SAF controle (Figura 5.D) e SAF manejado (Figura 5.E) variam entre cores e tamanhos muito similares ao longo das coletas, a maior distinção é entre os cromatogramas de ago/2019 e dez/2019, no qual o SAF controle apresentou uma coloração levemente mais escura e com formato um pouco mais concêntrico, mas, foi uma alteração tão pequena, que não foi conferido uma nota menor.

Outra zona que se diferiu entre as parcelas amostradas foi a Ze (Zona externa) (Figura 5.C). Essa zona foi similar entre o SAF controle e manejado No Pousio, por ter os “dentes” arredondados, foi conferido a menor nota e a melhor nota foi o Fragmento de Mata, que apresentou manchas marrons (nuvens) no fim dos “dentes” da Zinter (Zona intermediária) indicador de formação de húmus (PFEIFFER, 1984). Na figura 5.F, é possível verificar que a Ze do SAF manejado, ao longo do tempo, foi aumentando de tamanho, essa característica indica boas condições de solo, porém, o SAF controle apresentou exatamente o mesmo padrão, indicando que houve uma melhora em todo o SAF e que não foi consequência do manejo (RESTREPO & PINHEIRO, 2011).

Comparação SAF controle e manejado após 12 meses

Ao comparar todos os indicadores ao longo de 12 meses entre o SAF controle e SAF manejado, não foram encontradas diferenças significativas (ANOVA, $p > 0,05$), o que pode indicar que apenas a roçada do capim *Brachiaria* sp. e podas das bananeiras e árvores do SAF, uma vez por mês, não foram suficientes para causar diferenças significativas no solo do SAF analisado após 12 meses.

Correlação das zonas dos cromatogramas com os indicadores convencionais

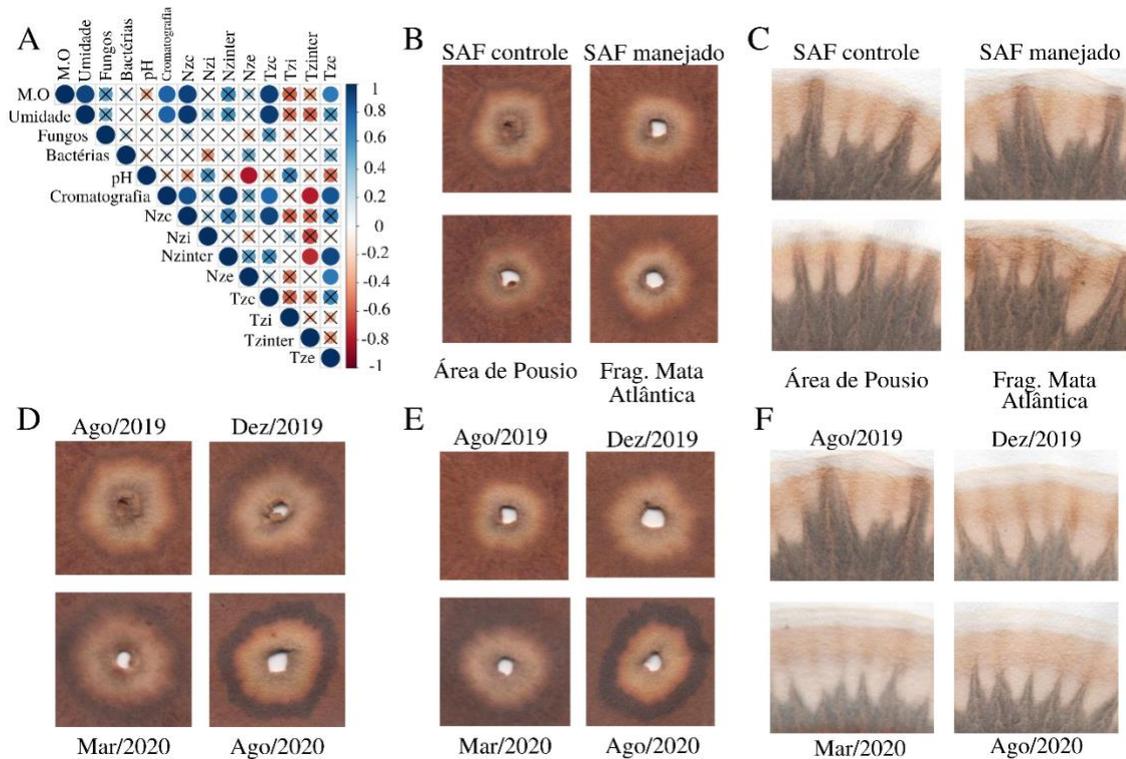


Figura 5. A. Correlação de Pearson, os que apresentam um “X” não possuem um valor de p significativo a 5% de significância. B. Zona Central de cada parcela de Agosto/2019. C. Zona Externa de cada parcela de Agosto/2019. D. Zona central do SAF controle ao longo do tempo. E. Zona central do SAF manejado ao longo do tempo. F. Zona externa do SAF manejado ao longo do tempo. Legendas: M.O: Matéria orgânica, Nzc: Nota zona central, Nzi: Nota zona interna, Nzinter: Nota zona intermediária, Nze: Nota zona externa, Tzc: Tamanho zona central, Tzi: Tamanho zona interna, Tzinter: Tamanho zona intermediária, Tze: Tamanho zona externa. **Fonte:** Autor, 2020.

Na figura 5.A, é possível visualizar todas as correlações encontradas entre os indicadores utilizados. Foi encontrado correlação positiva entre a nota e tamanho da Zc, com a porcentagem de matéria orgânica ($r=0,93$ e $r=0,94$, $p<0,001$) bem como com a porcentagem de umidade ($r=0,95$ e $r=0,95$, $p<0,001$). No estudo de Graciano et al. (2020), a Zc apresentou correlação negativa (correlação de Spearman), com a resistência à penetração do solo. Essas duas correlações para a Zc são coerentes, visto que o acúmulo de matéria orgânica nos solos reduz a densidade relativa e aumenta a retenção de água no solo, o que torna o solo mais resistente à compactação (BRAIDA et al., 2006).

Os níveis de matéria orgânica ainda apresentaram correlação positiva, com o tamanho da Ze ($r=0,71$, $p<0,05$). No estudo de Graciano et al. (2020), o conteúdo de matéria orgânica total teve correlação positiva com a Zi (Zona interna). Nos solos amostrados, a Zi ficou muito similar entre todas as parcelas, por isso, não foi encontrado correlação com os demais indicadores.

No trabalho de Graciano et al. (2020), a Zinter mostrou forte correlação positiva com o carbono da biomassa microbiana do solo, e Burle & Figueiredo (2019) indicaram que a formação da Zinter e Ze estão relacionadas com a formação da Zc e com a atividade microbiológica. Nos solos amostrados no presente estudo, não foram encontradas correlações significativas com os indicadores microbiológicos, o que pode indicar que o método de contagem de UFC g^{-1} de solo de bactérias heterotróficas mesófilas totais e fungos totais não é o mais adequado para entender o padrão dos microrganismos expressos no cromatograma de Pfeiffer. Indicadores microbiológicos, como biomassa microbiana e atividade enzimática, foram mais eficazes para explicar os padrões dos microrganismos do solo nos cromatogramas de Pfeiffer, como demonstrado no estudo de Graciano et al. (2020).

A proporção de matéria orgânica e umidade também apresentou correlação positiva com a nota total dos cromatogramas ($r=0,80$ e $r=0,80$, $p<0,05$), o que indica que os indicadores M.O e umidade foram detectados pelo cromatograma (AGUIRRE; PIRANEQUE; DÍAZ, 2019).

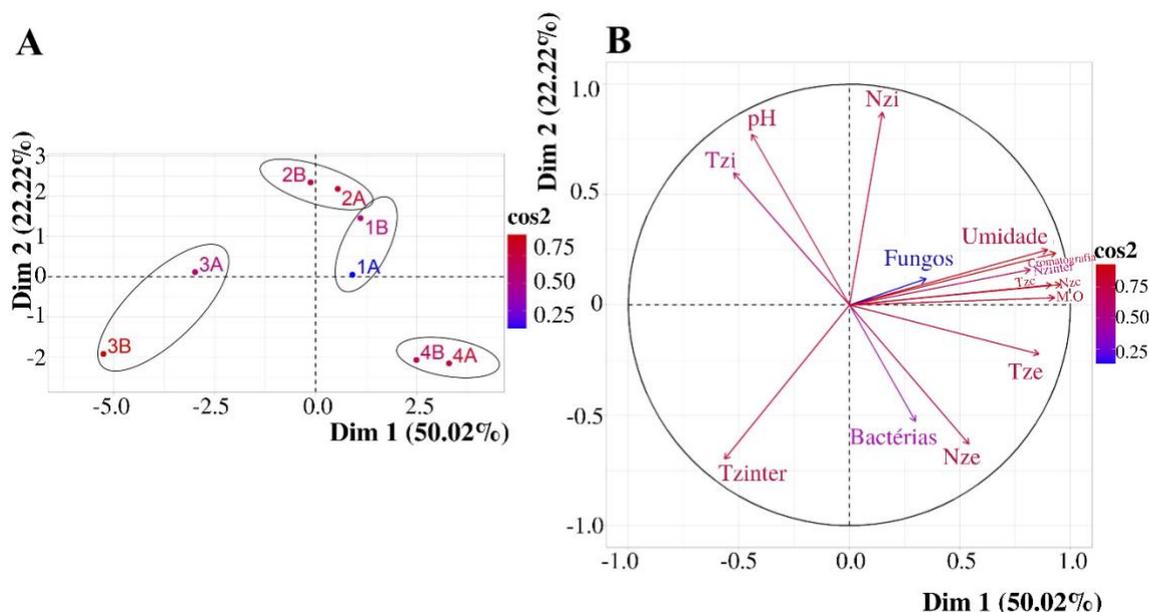


Figura 6.A. Análise de componentes principais das amostras (PCA). **B.** PCA das variáveis. Legenda: 1.SAF controle; 2. SAF manejado; 3. Área de Pousio; 4. Frag. Mata Atlântica; A (0-10 cm); B (10-20cm).

Fonte: Autor, 2020.

A análise dos componentes principais (PCA) apontou que 2 dimensões explicam 72,24% da variação dos dados. O autovetor bactérias se agrupou no mesmo quadrante que a nota da Ze e tamanho da Ze, o que indica uma correlação com essa zona que não foi significativa na correlação de Pearson. Todas as variáveis que tiveram correlações positivas significativas pelo coeficiente de Pearson se agruparam no mesmo quadrante e obtiveram um elevado Cos^2 (Figura 6.B). O Cos^2 indica a contribuição de um componente para a distância quadrada da observação até a origem (ABDI e WILLIAMS, 2010). Na PCA das amostras é possível inferir que as amostras de 0-10 cm e 10-20 cm de cada local amostrado foram agrupadas e a maior variação ocorreu entre as duas profundidades na área de Pousio (Figura 6.A).

Apesar dos resultados dos indicadores da qualidade do solo não terem detectado mudanças significativas do manejo realizado durante o período de 12 meses no SAF manejado, o desenvolvimento das bananeiras durante esse período foi notório. No início do experimento, as bananeiras estavam com o desenvolvimento estagnado, com pseudocaules muito finos, o capim *Brachiaria* sp. inibia seu crescimento e não havia nutrientes suficientes para seu desenvolvimento. Em agosto de 2020, as bananeiras apresentaram maior vigor e começaram a dar cachos, evento raro desde a implantação do SAF, em 2014. Essa resposta rápida das bananeiras ao manejo corrobora com os resultados de Zhou et al. (2020), onde foi encontrado que comunidades vegetais responderam mais às mudanças ambientais do que as comunidades microbianas, desafiando o ponto de vista tradicional de que os microrganismos do solo são mais suscetíveis.

Conclusões

A CCP, as bactérias heterotróficas mesófilas totais e os fungos totais mostraram-se sensíveis a sazonalidades entre as estações seca e chuvosa. Houve correlação positiva entre zona de aeração da CCP, com matéria orgânica e umidade do solo. Foi constatado que não houve diferença significativa entre a qualidade do solo do SAF controle e o SAF manejado, no período estudado, para todos os indicadores analisados. Dessa forma, a intensidade do manejo aplicado no SAF não foi suficiente para causar mudanças significativas na qualidade do solo, durante o período avaliado.

Agradecimentos

Ao PET (Programa de Educação Tutorial) - Conexões e Saberes de Agroecologia pelo recurso financeiro concedido para a realização dessa pesquisa. E ao Programa de Iniciação Científica e Tecnológica sem remuneração (ICT-SR) da UFSCar ao qual nosso projeto é vinculado.

Referências Bibliográficas

- ABDI, H.; WILLIAMS, L. J. Principal component analysis. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics**, v. 2, n. 4, p. 433–459, 2010.
- AGUIRRE, S. E.; PIRANEQUE, N. V.; DÍAZ, C. J. Valoración del Estado del Suelo en Zona de Bosque Seco Tropical Mediante Técnicas Analíticas y Cromatogramas. **Información tecnológica**, v. 30, n. 6, p. 337–350, 2019.
- ALTIERI, M.A.; TOLEDO, V.M. The agroecological revolution in Latin America: Rescuing nature, ensuring food sovereignty and empowering peasants. **Journal of Peasant Studies**, v. 38, n. 3, p. 587–612, 2011.
- BUENO, P.A.A. et al. Indicadores microbiológicos de qualidade do solo em recuperação de um sistema agroflorestal. **Acta Brasiliensis**, v. 2, n. 2, p. 40–44, 2018.
- BURLE, E. C.; FIGUEIREDO, R. T. Uso da Cromatografia Circular Plana em diferentes concentrações para análise de solo e de compostos orgânicos. **Cadernos de graduação: Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 5, n. 2, p. 19–28, 2019.
- BRAIDA, J. A. et al. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 4, p. 605–614, 2006.
- BREZOLIN, R. et al. A Agroecologia e os Serviços Ecosistêmicos: Um Estudo De Caso nos Assentamentos do Município de Iperó/SP. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 13, n. 3, p. 101–113, 2018.
- CARDOSO, E.L. et al. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagem cultivada e nativa no Pantanal. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.44, n.6, p.631-637, 2009.
- CASALINHO, H. D. et al. Qualidade do solo como indicador de sustentabilidade de agroecossistemas. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 13, n. 2, p. 195–203, 2007.
- CHERUBIN, M.R. et al. Qualidade física, química e biológica de um latossolo com diferentes manejos e fertilizantes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p. 615-625, 2015.
- CORRÊA, L.S et al. Estrutura, composição florística e caracterização sucessional em remanescente de floresta estacional semidecidual no sudeste do Brasil. **Revista Árvore**, v. 38, n. 5, p. 799–809, 2014.
- CUNHA, E.Q. et al. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactados por sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.1, p.56-63, 2012.
- DOMINGUES, S. et al. Conhecimento agroecológico através da experimentação da Cromatografia de Pfeiffer, uma análise qualitativa dos solos. **Congrega Urcamp**, v. 15, n. 15, p. 932–940, 2018.
- FILIZOLA, H. F.; et al. **Manual de procedimentos de coleta de amostras em áreas agrícolas para análise da qualidade ambiental: solo, água e sedimentos**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente. 169 p. 2006.
- GRACIANO, I. et al. Evaluating Pfeiffer Chromatography for Its Validation as an Indicator of Soil Quality. **Journal of Agricultural Studies**, v. 8, n. 3, p. 420–446, 2020.
- HAI, B. et al. Quantification of Key Genes Steering the Microbial Nitrogen Cycle in the Rhizosphere of Sorghum Cultivars in Tropical Agroecosystems. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 75, n. 15, p. 4993–5000, 2009.
- HEGER, J.T.; IMFELD, G.; MITCHELL, E.A.D. Special issue on “Bioindication in soil ecosystems”: Editorial note. **European Journal of Soil Biology journal**, v.49, p. 1-4, 2012.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET)**. Disponível em: <<https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes>> Acesso em: 20 out. 2020.
- KOKORNACZYK, M.O. et al. Analysis of soils by means of Pfeiffer’s circular chromatography test and comparison to chemical analysis results. **Biological Agriculture & Horticulture An.** v. 33, p. 143-157, 2016.
- KÖPPEN, W. **Climatologia**. México, Fundo de Cultura Econômica, 1931.
- LIMA, J.V.L. et al. Populações microbianas cultiváveis do solo e serrapilheira de uma unidade de conservação no semiárido brasileiro. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v. 10, n. 18. p. 2300-2316, 2014.
- LOUREIRO, D. et al. Influência do uso do solo sobre a conservação de carbono em sistemas orgânicos de produção. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 11, n. 1, p. 1–10, 2016.
- MAINI, A.; SHARMA, V.; SHARMA, S. Assessment of soil carbon and biochemical indicators of soil quality under rainfed land use systems in North Eastern region of Punjab, India. **Carbon Management**, v. 11, n. 2, p. 169–182, 2020.
- MELO, D.M.A. et al. Cromatografia de Pfeiffer como indicadora agroecológica da qualidade do solo em agroecossistemas. **Revista Craibeiras de Agroecologia**. v. 4, n. 1, p. e7653, 2019.
- MELZ, E.M.; TIAGO, P.V. Propriedades físico-químicas e Microbiológicas do solo de um Parque em Tangará da Serra, MT, uma área de transição entre Amazônia e Cerrado. **Acta Amazônica**, v. 39. n.4, p.829-834, 2009.

- MONTEIRO, R.T.R.; FRIGHETTO, R.T.S. Determinação da umidade, pH e capacidade de retenção de água do solo. In: Frighetto, R.T.S.; Valarini, P.J. (Coords.). **Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo: manual técnico**. Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna. 198p. (Embrapa Meio Ambiente. Documento, 21). 2000.
- PERUMAL, K.; ANANTHI, S.; ARUNUKUMAR, J. Innovative and simplest alternative analytical technology (AAT) for testing soil nutrients. **Journal of Soil Science Reserch**, v. 1, n.1, p. 22-31, 2016.
- PFEIFFER, E. **Chromatography applied to quality testing**. Wyoming, USA: Bio-Dynamic Farming and Gardening Association: 44 p. 1984.
- PILON, L.C.; CARDOSO, J.H.; MEDEIROS, F.S. **Guia prático de cromatografia de Pfeiffer**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, (Documentos / Embrapa Clima Temperado, ISSN 1516-8840, n. 455. 16 p. 2018.
- PINHEIRO, R.C. et al. Ocupação e caracterização hidrológica da microbacia do córrego Ipaneminha, Sorocaba-SP. **Irriga**, v. 16, n. 3, p. 234–245, 2011.
- PINHEIRO, S. **Cartilha da saúde do solo: cromatografia de Pfeiffer**. Juquira Candiru Satyagraha, 2011.
- R CORE TEAM (2020). R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>> Acesso em: 29 set. 2020.
- RESTREPO, J. R.; PINHEIRO, S. **Cromatografía: Imágenes de vida y destrucción del suelo**. Cali: Feriva, 2011.
- SCHMIDT, M. W. I. et al. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. **Nature**, v. 478, n. 7367, p. 49–56, 2011.
- SCHNEIDER, C. A.; RASBAND, W. S. & ELICEIRI, K. W. (2012), "[NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis](#)", **Nature methods**. v.9, n.7, p. 671-675, 2012.
- SCHULZ, B.; BECKER, B.; GÖTSCH, E. Indigenous knowledge in a “modern” sustainable agroforestry system-a case study from eastern Brazil. **Agroforestry Systems**, v. 25, n. 1, p. 59–69, 1994.
- SILVA, A. P. B. et al. **Influência do tipo de manejo (orgânico e convencional) na matéria orgânica de solos cultivados com citros**. Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. Disponível em: <<https://www.atenaeditora.com.br/arquivos/ebooks/influencia-do-tipo-de-manejo-organico-e-convencional-na-materia-organica-de-solos-cultivados-com-citros>> Acesso em: 26 out. 2020.
- SOILTECH SOLUTIONS. **Chromabeoordeling door SOIL-TECH SOLUTIONS**. 2005-2020. Biezenmortel, Netherlands. Disponível em: <<https://www.bio-ron.com/images/stories/files/chroma-analyse.pdf>> Acesso: 12 mar. 2020.
- STÖCKER, C.M. et al. Bioindicadores da qualidade do solo em sistemas agroflorestais. In: Jornada de pós-graduação e pesquisa - congrega, 14, 2017, Bagé. **Anais Eletrônicos**. Bagé, URCAMP. 2017. Disponível em: <<http://revista.urcamp.tche.br/index.php/rcjppg/article/view/743/441>> Acesso em: 27 out. 2020.
- TEIXEIRA, P.C. et al. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 574 p. 2017.
- THEODORO, V. C. A. et al. Alterações químicas em solo submetido a diferentes formas de manejo do cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 6, p. 1039–1047, 2003.
- VEZZANI, F.M; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, p. 743-755, 2009.
- VILLELA, F.N.J. et al. Morfopedologia e zoneamento voltado à ocupação. **Revista do Departamento de Geografia - USP**, v. 30, n. 1, p. 179–192, 2015.
- WOLEJKO, E. et al. Soil biological activity as an indicator of soil pollution with pesticides – A review. **Applied Soil Ecology**, v. 147, n.103356, p. 1-13, 2020.
- ZHOU, F. et al. Plant communities are more sensitive than soil microbial communities to multiple environmental changes in the Eurasian steppe. **Global Ecology And Conservation**, v. 21, n. e00779, p.1-5, mar. 2020.