



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, SOCIAIS E AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
(AGROECOLOGIA)

**Relação entre indicadores de qualidade de solo sob diferentes
sistemas de manejo**

ALEXANDRE AMADEU CERQUEIRA DE MIRANDA

BANANEIRAS- PB

2018

ALEXANDRE AMADEU CERQUEIRA DE MIRANDA

**Relação entre indicadores de qualidade de solo sob diferentes
sistemas de manejo**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias (Agroecologia) do Centro de Ciências Humanas Sociais e Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, como parte das exigências para obtenção do título de mestre em Ciências Agrárias (Agroecologia).

Área de concentração: Ciências Agrárias,
Indicadores e Sistemas de Produção Sustentável.

Orientador: Prof. Dr. Alex da Silva Barbosa

Comitê de orientação: Prof. Dr. George Rodrigo Beltrão da Cruz

Profa. Dra. Raunira da Costa Araújo

BANANEIRAS-PB

2018

Ficha Catalográfica elaborada na Seção de Processos Técnicos
Biblioteca Setorial de Bananeiras - UFPB/CCHSA
Bibliotecária-Documentalista: Laís Emanuely A. dos Santos – CRB 15/785

M672r Miranda, Alexandre Amadeu Cerqueira de.

Relação entre indicadores de qualidade de solo sob
diferentes sistemas de manejo / Alexandre Amadeu
Cerqueira de Miranda. – Bananeiras: UFPB, 2018.

71 f.

Orientador: Alex da Silva Barbosa.
Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias
(Agroecologia) - UFPB/CCHSA.

1. Agroecologia. 2. Bioindicadores. 3. Saúde do solo. 4.
Respiração basal. I. Miranda, Alexandre Amadeu Cerqueira
de. II. Universidade Federal da Paraíba. III. Centro de
Ciências Humanas, Sociais e Agrárias. IV. Título.

UFPB/CCHSA/BS

CDU 631 (043)

ALEXANDRE AMADEU CERQUEIRA DE MIRANDA

**Relação entre indicadores de qualidade de solo sob diferentes
sistemas de manejo**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias (Agroecologia) do Centro de Ciências Humanas Sociais e Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, como parte das exigências para obtenção do título de mestre em Ciências Agrárias (Agroecologia). Área de concentração Ciências Agrárias, Indicadores e Sistemas de Produção Sustentável.

Aprovado em:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Alex da Silva Barbosa. (Depto. de Agricultura – CCHSA, UFPB)
Orientador

Prof. Dr. Aldrin Martin Perez Marin (INSA)
Membro

Prof. Dr. Álvaro Carlos Gonçalves Neto (Depto. de Agricultura – CCHSA, UFPB)
Membro

Prof. Dr. Ítalo de Souza Aquino (Depto. Ciência Animal – CCHSA, UFPB)
Membro

BANANEIRAS – PB
2018

***“Ser poeta é saber não ser escravo
da mesmice e do conservadorismo
(...)
Lutar até ver cair vencida
a espada do vil capitalismo”
(Antonio Marinho, São José do Egito-PE)***

***“A sombra do sol no suor (água), através do tempo,
dá cor a terra camponesa”
(Sebastião Pinheiro)***

AGRADECIMENTOS

Seu dotô me de licença
Eu não sei fazê comiço,
Nem discuço, nem semão;
Nem sei as letra onde mora,
Mas porém, eu quero agora
Dizê, com sua licença,
Uma coisa bem singela,
Que a gente pra dizê ela
Não percisa de sabença.

(Patativa do Assaré, Terra Natura)

Eis que é chegado a melhor hora do trabalho,
como observar flores em languido jardim,
agradecer aos malungos, colegas e parceiros.
As veredas foram muitas, paraibanas paisagens,
os caminhos certos, sempre bem acompanhado...
A família maternal presente, cheia de alegria
a companheira Maria Bela Maria,
cúmplice amor de todo os dias.
As cumadres e aos cumpadres do MECA
Sossego, Lucas, Matita Perê
Gabriel, Léo, Cid e Renatinha
Múcio, a família escolhida
todas e todos, mão amiga,
a um passo do amanhecer...
Nasce a vida em cores, as cores do solo:
jovens, professores, camaradas
uma experiencia deveras enriquecedora
um sorriso largo e coletivo
no triste rio da Ciência sem compromisso.
Na contracorrente, biopoder camponês
para alimentar a mente.
Tião, Oliver, Pingo,
certeiras contribuições cromatográficas
mesmo na ultima vela do anoitecer.
Alex, Everton, Daniel e Oziel,
a todos e todas, a mente esfumaça,
mas o coração não a de esquecer...
Sigamos juntos, unidos, sem nada a Temer.
“Camponeses do mundo, univos!!!”
Já gritavam dos Andes e Caatingas,
nos paêbirús dos conhecimentos,
os ancestrais africanos e Kirirís.
Para ir fechando essa doce liturgia
agradecer a natureza, mãe terra, Pachamama
pela medicina sativa e as belezas, caracol
do nascer do sol ao arrebol...

RESUMO

As mudanças no uso do solo associadas ao sistema de manejo têm proporcionado alterações na dinâmica ecossistêmica do solo. Os bioindicadores são propriedades ou processos biológicos dentro do solo que indicam o estado deste ecossistema, podendo ser utilizados no biomonitoramento da qualidade do solo. A respiração edáfica ocupa uma posição chave no ciclo do carbono nos ecossistemas terrestres e configura-se como um ótimo indicador de qualidade. Outra importante técnica que pode ser utilizada é a cromatografia circular de Pfeiffer. Essa revela a vitalidade do solo que se manifesta em sua plenitude através do metabolismo primário e secundário dos minerais pela atividade enzimática e dinâmica da matéria orgânica. Estudos dessa natureza são importantes, pois podem fornecer um conjunto de dados mínimos que possam servir como referência para monitoramento, avaliação e seleção de indicadores da qualidade edáfica em diferentes sistemas de cultivo e manejo do solo. O objetivo da pesquisa foi analisar o efluxo de CO₂ e os atributos químicos, biológicos do solo em áreas com diferentes formas de uso no Município de Bananeiras, PB. Para tanto, foram selecionados 5 ambientes com formas de uso diferente. A respiração basal foi realizada mensalmente de julho a dezembro de 2017. As mudanças nas características biológicas e químicas foram avaliadas por meio da cromatografia circular de Pfeiffer e análise química de fertilidade. Os efeitos dos cinco sistemas de uso do solo sobre suas características, químicas e biológicas ao longo do tempo foram avaliados a partir de modelos estatístico diversos: mínimos quadrados generalizados (GLS), regressão logística. Para estudar a relação entre as diversas variáveis analisadas utilizou-se a análise de correlação canônica (CCA). Os dados que foram coletados no período entre julho a dezembro apresentaram diferenças significativas ($p < 0,001$) tanto entre as diversas formas de uso do solo, como entre os meses em que o efluxo de CO₂ foi avaliado. Quando considerado os períodos do dia ao longo dos meses de avaliação, também verifica-se que as médias diferem significativamente, com o diurno registrando 271,86 mgCO₂m⁻²h⁻¹ e 318,38 mgCO₂m⁻²h⁻¹ para o noturno. Os resultados das análises conjunta da cromatografia do solo de Pfeiffer demonstram que há diferenças significativas, em todas as categorias de avaliação qualitativa da escala, entre os ambientes com diferentes formas de uso do solo, apontando que a ação antrópica tem impactos na dinâmica da vida edáfica, como também houve diferenças ao longo dos meses em que os solos desses ambientes foram analisados. O modelo de correlação canônica demonstrou ser estatisticamente significativo com os dois primeiros eixos de correlação apresentando valores de 0,85 e 0,81, ambos com significância estatística. O percentual de poder explicativo foi baixo ficando em 41% e 30%, respectivamente. A avaliação da respiração basal e cromatográfica dos solos dos ambientes com diferentes formas de uso demonstrou que há diferenças significativas entre esses agroecossistemas, apontando para possíveis impactos negativos da ação antrópica dependendo do tipo de manejo realizado após a retirada da vegetação nativa. A escala cromatográfica demonstrou ser eficiente para avaliar as principais características da análise qualitativa do cromatograma. Portanto, é importante salientar, que a observação de gestão sustentável dos agroecossistemas é imprescindível, aproximando-os cada vez mais da dinâmica dos ambientes naturais.

Palavras-chave: Bioindicadores, Saúde do solo, Respiração Basal, Mudança de Uso do Solo.

ABSTRACT

The changes in soil use associated to the management system have provided changes in soil ecosystem dynamics. Bioindicators are biological properties or processes within the soil that indicate the state of this ecosystem, and can be used in soil quality biomonitoring. Soil respiration occupies a key position in the carbon cycle of terrestrial ecosystems and is an excellent indicator of quality. Another important technique that can be used is Pfeiffer's circular chromatography. This reveals the vitality of the soil that manifests itself in its fullness through the primary and secondary metabolism of minerals by the enzymatic and dynamic activity of organic matter. Studies of this nature are important because they can provide a set of minimum data that can serve as reference for monitoring, evaluation and selection of soil quality indicators in different cropping and soil management systems. The objective of the research was to analyze the efflux of CO₂ and the chemical, biological attributes of the soil in areas with different forms of use in the Municipality of Bananeiras, PB. For that, 5 environments with different use forms were selected. Basal respiration was performed monthly from July to December 2017. Changes in biological and quinic characteristics were evaluated using Pfeiffer's circular chromatography and chemical fertility analysis. The effects of the five soil use systems on their chemical and biological characteristics over time were evaluated using several statistical models: generalized least squares (GLS), logistic regression. The canonical correlation analysis (CCA) was used to study the relationship between the variables analyzed. The data collected during the period from July to December showed significant differences ($p < 0.001$) both among the different forms of soil use and between the months in which the CO₂ efflux was evaluated. When considering the day periods at the end of the evaluation months, it is also verified that the averages differ significantly, with daytime registering 271.86 mgCO₂m⁻²h⁻¹ and 318.38 mgCO₂m⁻²h⁻¹ for the night. The results of the joint analysis of Pfeiffer soil chromatography show that there are significant differences in all categories of qualitative scale evaluation between environments with different forms of soil use, pointing out that anthropic action has an impact on the dynamics of soil life, but there were also differences during the months in which the soils of these environments were analyzed. The canonical correlation model showed to be statistically significant with the first two correlation axes presenting values of 0.85 and 0.81, both with statistical significance. The percentage of explanatory power was low, remaining at 41% and 30%, respectively. The evaluation of the basal respiration and chromatographic of the soils of different environments showed that there are significant differences between these agroecosystems, pointing to possible negative impacts of anthropic action depending on the type of management performed after the native vegetation was removed. The chromatographic scale showed to be efficient to evaluate the main characteristics of the qualitative analysis of the chromatogram. Therefore, it is important to point out that the observation of sustainable management of agroecosystems is essential, bringing them closer to the dynamics of natural environments.

Keywords: Bioindicators, Soil Health, Basal Breathing, Land Use Change.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação gráfica do desempenho dos testes de cromatografia circular de Pfeiffer	14
Figura 2: Taxa de efluxo de CO ₂ diurna nos ambientes com diferentes formas de uso ao longo do tempo.	21
Figura 3: Dados do monitoramento meteorológico	22
Figura 3: Dados de umidade e temperatura do solo coletados no período de avaliação da respiração basal.	22
Figura 4: Correlação de Spearman, com nível de significância de 5%, entre a respiração basal, diurna (co2_d) e noturna (co2_n), e as variáveis geoambientais.	23
Figura 05: Taxa de efluxo de CO ₂ ao longo do tempo em ambientes com diferentes formas de uso do solo.	25
Figura 6: Correlação de Spearman, com nível de significância de 5%, entre a respiração basal, diurna (co2_d) e noturna (co2_n), e as variáveis da análise química de fertilidade do solo	27
Figura 7: Correlação canônica entre a respiração basal, diurno (co2_d) e noturno (co2_n), e as variáveis geoambientais.	28
Figura 8: Correlação canônica entre a respiração basal, diurno (co2_d) e noturno (co2_n), e as variáveis da análise química de fertilidade do solo.	30
Figura 9: Evolução da zona central de três cromatogramas de acordo com sua coloração.	36
Figura 10: Padrão de cores para a análise cromatográfica de solo de Pfeiffer.	36
Figura 11: Desenhos da evolução radial dos cromatogramas.	37
Figura 12: Seis características diferentes das terminações dos dentes da zona externa (ZE) de um cromatograma.	38
Figura 13: Correlação canônica entre as categorias cromatográficas: cor (C), zona central (ZC), radiais (rad), interações (int) e zona externa (ZE) e as variáveis da análise química de fertilidade do solo.	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Principais indicadores físicos, químicos e biológicos e suas relações com a qualidade do solo.	8
Tabela 2: Análise física dos ambientes com diferentes formas de uso do solo.	10
Tabela 3: Respiração basal para diferentes formas de uso do solo em períodos de avaliação distintos.	20
Tabela 4: Análise química dos solos em ambientes com diferentes formas de uso.	26
Tabela 5: Valores de Carga para os dois eixos de correlação canônica entre a respiração basal e variáveis geoambientais.	29
Tabela 6: Valores de carga para o primeiro eixo de correlação canônica entre a respiração basal e variáveis da análise química de fertilidade do solo.	30
Tabela 7: Teores de Ca, Mg, K, P, MO, carbono orgânico(Corg), soma de bases (SB) e saturação por bases (V), e valores de pH, acidez potencial ($H+Al+3$) e condutividade elétrica (CE) sob áreas de mata (M), pastagem (P), produção orgânica (O), produção de café sombreado (SC) e sistema agroflorestal (SAF), em diferentes profundidades do solo.	41
Tabela 8: Valores de Carga para os dois primeiros eixo de correlação canônica entre as categorias cromatograficas e as variáveis da análise química de fertilidade do solo, respiração basal e geoambientais.	44

Sumário

AGRADECIMENTOS.....	4
RESUMO.....	5
LISTA DE FIGURAS.....	7
LISTA DE TABELAS.....	8
INTRODUÇÃO.....	10
OBJETIVOS.....	12
Objetivo Geral.....	12
Objetivos Específicos.....	12
CARACTERIZAÇÃO DOS AMBIENTES ESTUDADOS.....	12
MATERIAL E MÉTODOS.....	15
Coleta de solo e análise química de fertilidade.....	15
Dados Geoambientais.....	15
Respiração Edáfica.....	15
Cromatografia de Solo de Pfeiffer.....	16
Teste de cromatografia circular de Pfeiffer.....	17
Escala Cromatográfica.....	17
Análise Estatística.....	18
CAPÍTULO I - Variação Temporal do Efluxo de Dióxido de Carbono do Solo sob Diferentes Formas de Uso.....	20
RESUMO:.....	20
INTRODUÇÃO.....	21
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
Efluxo de CO ₂ Diurno e Noturno.....	23
Análise química e respiração basal do solo.....	30
Análise de Correlação Canônica.....	32
CONSIDERAÇÕES.....	35
CAPÍTULO II – Cromatografia de Pfeiffer Para Avaliar a Qualidade dos Solos em Diferentes Formas de Uso No Município de Bananeiras-PB.....	36
RESUMO:.....	36
INTRODUÇÃO.....	37
ELEMENTOS PARA A INTERPRETAÇÃO DA CROMATOGRAFIA.....	40
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
Análise Multivariada.....	47
CONCLUSÃO.....	50
REFERÊNCIAS.....	51
ANEXOS.....	58

INTRODUÇÃO

O solo, como um sistema natural vivo e dinâmico, regula a produção de alimentos e fibras e o balanço global do ecossistema. A atividade da agricultura não existe na natureza. Ela é fruto da atividade de organismos ultrassociais que modificam constantemente o meio em que vivem para manutenção e sobrevivência da espécie (PINHEIRO, 2015).

As mudanças no uso do solo associadas ao sistema de manejo, tem proporcionado alterações na dinâmica ecossistêmica do solo. A busca de entendimento sobre essas mudanças tem provocado, na atualidade, uma série de debates para definição do conceito de qualidade do solo:

- i) “A qualidade do solo é a capacidade dele de funcionar dentro de limites do ecossistema para sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde vegetal e animal” (DORAN; PARKIN, 1996)
- ii) “capacidade de um tipo específico de solo funcionar como ecossistema natural ou manejado para sustentar a produtividade animal e vegetal, manter a qualidade da água e do ar e suportar o crescimento humano” (KARLEN et al., 1997);
- iii) “capacidade do solo de sustentar a diversidade biológica, regular o fluxo de água e solutos, degradar e imobilizar compostos orgânicos e inorgânicos e atuar na ciclagem de nutrientes e outros elementos” (A SEYBOLD; HERRICK; BREJDA, 1999).

Dessa forma, alguns trabalhos utilizando indicadores biológicos já foram realizados para verificar o efeito das práticas agrícolas sobre a qualidade do solo (DANDRÉA et al., 2002; MOREIRA; MALAVOLTA, 2004; SANTOS et al., 2004; ARAUJO; MONTEIRO; ABARKELI, 2003; MELERO et al., 2006).

Segundo Doran; Parkin (1994), bioindicadores são propriedades ou processos biológicos dentro do solo que indicam o estado deste ecossistema, podendo ser utilizados no biomonitoramento da qualidade do solo que consiste na medida da resposta de organismos vivos a mudanças no seu ambiente (MARKERT; OEHLMANN; ROTH, 1997).

Tabela 1. Principais indicadores físicos, químicos e biológicos e suas relações com a qualidade do solo. Adaptado de Doran; Parkin (1994)

Indicadores	Relação com a qualidade do solo
Matéria orgânica do solo (MOS)	Fertilidade, estrutura e estabilidade do solo.
Físicos	
Estrutura do Solo	Retenção e transporte de água e nutrientes.
Infiltração e densidade do solo	Movimento de água e porosidade do solo.
Capacidade de retenção de umidade	Armazenamento e disponibilidade de água
Químicos	
pH	Atividade biológica e disponibilidade de nutrientes
Condutividade elétrica	Crescimento vegetal e atividade microbiana.
Conteúdo de N, P e K	Disponibilidade de nutrientes para as plantas.
Biológicos	
Biomassa microbiana	Atividade microbiana e reposição de nutrientes.
Mineralização de nutrientes (N, P e S)	Produtividade do solo e potencial de suprimento de nutrientes
Respiração do solo	Atividade microbiana
Fixação biológica do N ₂ (FBN)	Potencial de suprimento de N para as plantas
Atividade enzimática do solo	Atividade microbiana e catalítica no solo.

Dentro dessa perspectiva, a respiração edáfica, que é a oxidação biológica da matéria orgânica à CO₂ pelos microrganismos, ocupa uma posição chave no ciclo do carbono nos ecossistemas terrestres e configura-se como um ótimo indicador de qualidade do solo. A avaliação da respiração basal é a técnica mais frequente para quantificar a atividade microbiana, sendo positivamente relacionada com o conteúdo de matéria orgânica e com a biomassa microbiana.

Outra importante técnica que pode ser utilizada para avaliar a qualidade edáfica é a cromatografia circular de Pfeiffer. Essa revela a vitalidade do solo que se manifesta em sua plenitude através do metabolismo primário e secundário dos minerais pela atividade enzimática e dinâmica da matéria orgânica humificada, sendo com isso possível identificar se há interferências no processo bioquímico da vida do solo causados, por exemplo, por mudanças em seu uso.

Na Mesorregião do Agreste da Paraíba, em especial na microrregião dos Brejos paraibanos, existem poucas informações sobre estudos e identificação de indicadores de alterações químicas, físicas e biológicas edáfica, sobretudo os que têm como referência o solo sob condições naturais (SILVA et al., 2015).

Estudos dessa natureza são importantes, pois podem prover um conjunto de dados mínimos que possam servir como referência para monitoramento, avaliação e seleção de indicadores da qualidade edáfica em diferentes sistemas locais de cultivo e manejo do solo.

OBJETIVOS

Objetivo Geral

- Analisar e relacionar os atributos químicos e biológicos de solos sob diferentes formas de uso no município de Bananeiras, PB por meio de indicadores de qualidade.

Objetivos Específicos

- Analisar o fluxo de CO₂ em ambientes com diferentes formas de uso do solo;
- Avaliar quali-quantitativamente o solo de ambiente sob diferentes usos;
- Correlacionar a cromatografia de Pfeiffer (qualitativa) com a análises de fertilidade (quantitativa), respiração edáfica e variáveis geoambientais das áreas estudadas;
- Testar uma escala de classificação quantitativa para a cromatografia de Pfeiffer objetivando facilitar sua interpretação para fins de popularização da técnica.

CARACTERIZAÇÃO DOS AMBIENTES ESTUDADOS

Foram selecionados cinco ambientes com formas de uso diferente (Figura 1), denominadas da seguinte maneira: Mata (M); Pastagem (P); Sistema mandala de produção orgânica (O); Sistema de produção de café sombreado (SC) e um Sistema agroflorestal em estágio inicial (SAF).

O ambiente denominado de Mata (M) é um fragmento de mata nativa úmida ombrófila semidecídua em estado secundário de regeneração, fechada e relativamente bem preservada. Todo o solo se encontra coberto por serrapilheira e por uma copa densa de árvores. Em toda a área predominam jatobás (*Hymenaea courbaril*), pitombeiras (*Talisia esculenta*), Biribas (*Eschweilera ovata*), oiticicas (*Licania rigida*), e algumas outras espécies não identificadas. Tem solo de textura franco arenosa e esta localizada em um local com declividade um pouco acentuado, mas sem marcas evidentes de erosão.

Próximo ao ambiente da Mata está a Pastagem (P), que é um pasto com mais de um tipo de gramínea, algumas herbáceas dominantes, a exemplo da *Ipomoea asarifolia*, espontâneas e algumas árvores esparsas, em sua maioria jaqueiras (*Artocarpus heterophyllus*). Visualmente o pasto se encontra mau manejado. Periodicamente, forrageiam ovinos que são utilizados para experimento no

Laboratório de Caprinocultura. Ambos os ambientes, Mata e Pastagem, ficam na parte mais baixa do Campus III, um pequeno vale típico do Planalto da Borborema.

O ambiente “sistema mandala de produção orgânica” (O), é um sistema orgânico de produção de hortaliça em formato de mandala que já existe há aproximadamente 12 anos. Ao longo do ano, há um aporte grande de matéria orgânica, sobretudo esterco, bovino e caprino, no entanto não há um regime sistemático e criterioso de adução. O sistema é irrigado, diariamente, com mangueiras e aspersores, sem muitos critérios técnicos, não há o uso sistemático de cobertura morta nos canteiros, sendo que boa parte do solo fica exposto e/ou dominado por plantas invasores, a exemplo da tiririca (*Cyperus* sp.).

Próximo a esse ambiente, a cerca de 300m, se encontra a área de cultivo de café (*Coffea* sp.) sombreado por gliricídia (*Gliricidia sepium*), que foi implantada bem antes do cafezal, há aproximadamente 10 anos. O café tem cerca de um ano de implantação. Esse sistema é adubado com esterco bovino e caprino, e para implantação do cafezal foi usado superfosfato simples como adubação inicial de cobertura. O solo é bem sombreado pelas gliricídias e tem uma fina camada de 3 a 5cm de serrapilheira nas entrelinhas, mas as linhas de café são, constantemente, limpadas de modo que o solo fica exposto sem cobertura morta.

O ambiente denominado de SAF, é um sistema agroflorestal implantado em meados de fevereiro de 2017, está a 200m do ambiente de café sombreado, localizando-se na unidade de referência de práticas agroecológicas do coletivo Movimento de Educação do Campo e Agroecologia (MECA). É um sistema bem diversificado com bananeiras, árvores de diversas espécies arbóreas ainda muito jovens: frutíferas, forrageiras e madeireiras.

Os cinco ambientes escolhidos como objeto de estudo estão localizado na Mesorregião do Agreste da Paraíba, porção oriental do Estado, no município de Bananeiras, Centro de Ciências Humanas Sociais e Agrárias (CCHSA), Campus III, da Universidade Federal da Paraíba (UFPA). Pela classificação de Köppen, o clima das áreas estudadas é do tipo As' (clima quente e úmido, com ocorrência das maiores precipitações nos meses de abril a junho. As temperaturas médias variam entre mínimas de 17 °C e máximas de 28 °C. A umidade relativa do ar situa-se em torno de 79%. As precipitações pluviométricas médias anuais das áreas variam entre 700 e 1600 mm., sendo os solos dessas cinco áreas classificados como Latossolo Amarelo (PVA) (Embrapa, 2006). Realizou-se análise física do solo de cada ambiente estudado (Tabela 1).

Tabela 2: Análise física dos ambientes com diferentes formas de uso do solo.

SOLO	DENS. SOLO	DENS. PARTÍCULA	POROSIDADE TOTAL	CAP. CAMPO	PONTO MURCHA	AREIA	SILTE	ARGILA	CLASSIFICAÇÃO EMBRAPA
	g/cm ³	g/cm ³			%				
Mata	1,35	2,54	46,99	1,79	0,81	76,13	5	18,87	FRANCO ARENOSO
Pastagem	1,75	2,71	35,27	1,65	0,75	86,13	3,33	10,53	AREIA FRANCA
Organico	1,32	2,63	49,77	1,76	0,8	72,8	3,33	23,87	FRANCO ARGILO ARENOSO
SAF	1,24	2,6	52,35	1,89	0,86	72,8	3,33	23,87	FRANCO ARGILO ARENOSO
SC	1,37	2,5	45,47	1,85	0,84	69,47	5	25,53	FRANCO ARGILO ARENOSO

Foi delimitada uma área padrão de aproximadamente 0,4ha para todos os ambientes, exceto para o SAF que é um pouco menor, 0,280 ha, onde foram implantadas três unidades experimentais de 2x1,5m, protegias por tela (Figura 1). Nessas unidades foi medida a respiração basal e decomposição por bolsa de folheto, bem como, eram usados como área de referência para a coleta dos solos analisados. Na Figura 2 é possível visualizar a localização das áreas dentro do perímetro da UFPB, Bananeiras-PB.

MATERIAL E MÉTODOS

Coleta de solo e análise química de fertilidade

Todas as amostras de solo são compostas, formadas por 5 subamostras foram coletadas na camada de 0-20 cm, sistematicamente próximas às unidades experimentais dentro dos diversos ambientes estudados. Após coletado, o solo foi seco ao ar em ambiente protegido do sol. Depois de secar, foram separadas subamostras para análise cromatográfica e química de fertilidade. Dentre as características químicas do solo foram determinadas: pH em água (1:2,5), carbono orgânico (COT), bases trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+), P disponível e acidez potencial (H^+ + Al^{3+}), assim como estimadas a soma de bases (SB), a capacidade de troca de cátions (CTC) e a saturação por bases (V %) determinadas conforme Embrapa(1997). Todas as análises foram realizadas em triplicata no Laboratório de Solos da UFPB, Bananeiras-PB.

Os critérios utilizados para interpretação da fertilidade do solo seguiram o manual de recomendação de adubação e calagem de acordo com os limites estabelecidos por Luz, Ferreira e Bezerra (2002).

Dados Geoambientais

Os dados geoambientais de temperatura e umidade atmosférica, velocidade dos ventos foram adquiridos na estação meteorológica do Laboratório de Desenvolvimento Sustentável e Agroecologia, UFPB, Bananeiras-PB. Os dados de temperatura do e umidade do solo foram obtidos com o uso de Termômetro Espeto, Instrutherm® – TE-400 e Medidor de Umidade do Solo Instrutherm® – PH-3000, respectivamente.

Respiração Edáfica

A quantificação do CO_2 respirado foi realizada mensalmente em todos os pontos de determinação por unidade experimental durante um período de 6 meses, de julho a dezembro de 2017. As análises foram realizadas durante 12 horas no período diurno (5h00 às 17h00) e 12 horas no período noturno (17h00 às 5h00), de acordo com a metodologia descrita por Grisi (1977) em que o CO_2 liberado por uma área de solo é absorvido por uma solução de KOH 0,5 N e depois dosado por titulação utilizando-se HCl 0,1 N, tendo como indicador a fenolftaleína e o alaranjado de metila a 1%, preparado segundo Morita e Assumpção (1972). Foi utilizado um frasco controle, ou

testemunha, que permaneceu hermeticamente fechado e submetido ao processo de titulação. A determinação do CO₂ absorvido foi realizada a partir das equações:

$$ACO_2 = (A-B) \times 2 \times 2,2 \text{ em mg}$$

$$A'CO_2 = ACO_2 \times (4/3 \times 10.000/h + S) \text{ em mg m}^{-2} \text{ h}^{-2}$$

em que:

A'CO₂ = Absorção de CO₂;

A = Diferença em mL, entre a 1ª e a 2ª viragem da coloração da amostra;

B = Diferença em mL, entre a 1ª e 2ª viragem da coloração do controle ou testemunha;

x 2 = o HCl 0,1 N adicionado, titulou apenas metade do carbonato do frasco experimental;

x 2,2 = o equivalente-grama do CO₂ = 44/2 = 22 e como se usou HCl 0,1 N, esse equivalente torna-se então 22/10 = 2,2;

h = Período de permanência da amostra no solo (em horas);

S = Área de abrangência do recipiente.

Cromatografia de Solo de Pfeiffer

A cromatografia é um método físico de separação para a caracterização de misturas complexas, com aplicações em diferentes ramos da ciência. É um conjunto de técnicas com base no princípio da retenção seletiva destinada a separar os diferentes componentes de uma mistura para identificar e, muitas vezes, determinar as quantidades dos referidos componentes (RIVEIRA; PINHEIRO 2011).

Aplicada ao estudo dos solos, a cromatografia é utilizada para determinar a vida do solo e da relação entre minerais, microbiologia, matéria orgânica, húmus, carbono do solo, desequilíbrio e equilíbrio nutricional, respiração do solo, compactação, resíduos tóxicos, entre outros aspectos relacionados ao manejo desse organismo vivo (PINHEIRO, 2011).

Os padrões de análise foram estabelecidos por vários pesquisadores, principalmente, E. Pfeiffer e, e aqui na América Latina, por Jairo Restrepo e Sebastião Pinheiro eue padronizaram as análises de solo correspondente a fertilizantes orgânicos e húmus a fim de facilitar a interpretação cromatográfica (PFEIFFER, 1984; RIVEIRA; PINHEIRO 2011).

Na presente pesquisa os solos dos ambientes selecionados, coletados mensalmente, foram analisados através da cromatografia do solo de Pfeiffer. Para cada amostra foram feitas três repetições. Para análise e interpretação dos cromatogramas foram considerados os procedimentos e critérios usados por Restrepo e Pinheiro (2011) e Pinheiro (2011).

Teste de cromatografia circular de Pfeiffer

Colocaram-se 5 gramas de solo tamisado num copo plástico de 150 ml contendo 50 ml de solução aquosa a 1% de NaOH para extração. O frasco foi agitado manualmente no início da extração e após 15 min e 1h:00. Após a última agitação, o frasco foi deixado por mais 6 horas para extração e sedimentação. Após esse procedimento, o sobrenadante foi coletado. Anteriormente, tal como representado na Figura 1, um papel de filtro circular JProlab® 41 faixa preta de 150 mm de diâmetro foi perfurado no meio e um pavio cilíndrico, dobrado a partir de um papel do mesmo filtro de 15 mm x 15 mm, foi inserido na perfuração. O papel de filtro circular foi colocado em um anel plástico, feito de garrafa de Politereftalato de etileno (PET), para repousar sobre suas bordas; enquanto o pavio foi manipulado para tocar o fundo de uma tampa de garrafa tipo PET (Figura 3). O papel de filtro assim preparado foi embebido duas vezes: (i) no escuro, com 0,5 ml de uma solução aquosa a 0,5% de AgNO_3 , solução reveladora, e, depois do papel de filtro seco, (ii) em luz artificial, com 1,5 ml do sobrenadante coletados após a extração do solo, colocando o líquido de embebição no fundo da tampa. Após a segunda imersão, o papel de filtro, foi deixado em local protegido de umidade e à luz indireta por cerca de 6 dias para secar e deixar as formas e cores desenvolverem-se completamente. Todos os passos experimentais foram feitos à temperatura ambiente.

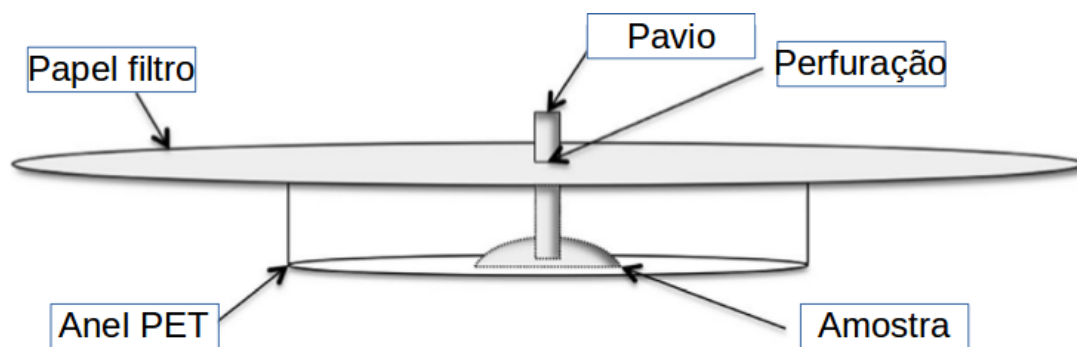


Figura 1: Representação gráfica do desempenho dos testes de cromatografia circular de Pfeiffer: uma folha de papel de filtro circular com uma inserção de pavio na perfuração central está localizada num anel de PET para que a extremidade do pavio seja imersa na solução (fase líquida) a ser embebida. Adaptado de Kokornaczyk et al. (2016)

Escala Cromatográfica

Foi criada uma escala cromatográfica onde se levou em consideração cinco importantes aspectos para determinar a fertilidade e saúde do solo: cor geral do cromatograma; forma e cor da zona central, forma e complexidade das formações radiais; interação entre as principais zonas

formadas no cromatograma e forma e características relacionadas a zona externa e suas terminações. Para atribuição de valor à esses aspectos foram criadas cinco categorias, adaptadas e ampliadas de Abad (2014), em uma escala numérica, como se segue: 1 = ausência; 2 = baixa; 3 = baixa-média; 4 = média-alta; 5 = alta.

Os elementos para avaliação e atribuição das categorias foram feitos de acordo com as recomendações de Pinheiro e Restrepo (2011) e Pinheiro (2015) para a interpretação qualitativa dos resultados da cromatografia do solo de Pfeiffer. Além disso, foram selecionados seis avaliadores com graus de conhecimento diverso sobre a interpretação cromatográfica, três mais avançados e o restante com moderado grau de conhecimento sobre a técnica, para avaliar os cromatogramas resultantes das análises realizadas ao longo dos seis meses de duração da pesquisa.

Para facilitar a comparação entre a interpretação das análises cromatográficas, realizadas a partir da escala com as categorias de avaliação do cromatograma, e a análise química de fertilidade usou-se um sistema de cor baseadas nas cores do semáforo onde: a categoria 1 e 2 corresponde ao vermelho (deficiente); a 3 ao amarelo (suficiente) e 4 e 5 ao verde (excelente). Esse sistema de cores foi sugerido por Sebastião Pinheiro (comunicação pessoal) com o intuito de facilitar a compreensão da interpretação cromatográfica, podendo ser usado como ferramenta pedagógica para popularização da cromatografia do solo de Pfeiffer.

Análise Estatística

Os efeitos dos cinco sistemas de uso do solo sobre suas características, químicas e biológicas ao longo do tempo foram avaliados a partir de modelos estatístico diversos. Para a respiração edáfica foi utilizado o modelo de mínimos quadrados generalizados (GLS) que são adequados para dados de medidas repetidas no tempo onde há dependência entre as amostras. O GLS ajusta-se a modelos de regressão com uma variedade de estruturas de erro-variância com erro correlacionado e não constante. Foi utilizada a função “*gls*” do pacote *nlme* (FOX; WEISBERG, 2010). O conjunto de dados foi analisado por meio de análise de variância (Anova), seguida da comparação de média múltipla *post hoc* com o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Além disso, o coeficiente de correlação de Spearman, a 5% de probabilidade, foi calculado para determinar o grau de correlação entre os dados de respiração edáfica e os parâmetros da análise químico de fertilidade e geoclimáticos. Para o cálculo foi usada a função *rcorr* do pacote “*Hmisc*”.

Para os dados categóricos gerados a partir da escala cromatográfica, foi utilizada regressão logística que usa o método de estimação por máxima verossimilhança, aplicada a probabilidades binomiais. A lógica por trás da estimação por máxima verossimilhança é determinar os valores de β

0 e β 1 e estimar a probabilidade em que os dados observados tenham ocorrido. Para tanto foi usada a função “polr” do pacote “Mass”. O conjunto de dados foi analisado por meio de análise de variância (Anova)

Para estudar a relação entre as categorias cromatográficas, as variáveis da respiração edáfica, análise química de fertilidade e dados geoclimáticos utilizou-se a análise de correlação canônica (CCA). Este método é aplicado a dois conjuntos de variáveis em que se extrai pares de funções canônicas de cada conjunto que estão correlacionados entre si. Para o cálculo foi utilizada a função “CcorA” do pacote “Vegan” (ANDERSON; ILLIS, 2003).

Todos os pacotes fazem parte da distribuição R padrão. Os *scripts* elaborados para os cálculos estatísticos estão no Anexo 2.

CAPÍTULO I - Variação Temporal do Efluxo de Dióxido de Carbono do Solo sob Diferentes Formas de Uso

RESUMO:

Independentemente do sistema adotado, a mudança de uso do solo sempre resultará em alterações em algumas características desse recurso natural. Nesse sentido, as análises de fluxo de CO₂ entre o solo e a atmosfera são muito importantes para estudos que envolvem bioindicadores edáficos. Portanto, o objetivo desse trabalho foi analisar a dinâmica do fluxo de CO₂ por meio da respiração basal em diferentes tipos de uso do solo observando as alterações químicas e biológicas causadas por essa mudança. Para tanto, foram selecionados 5 sistemas com formas de uso diferente. O registro da respiração basal e análise química de fertilidade foi realizada mensalmente de julho a dezembro de 2017. Os efeitos dos cinco sistemas de uso do solo sobre suas características, químicas e biológicas ao longo do tempo foram avaliados a partir de modelos estatístico de GLS e CCA. Os dados apresentaram diferenças significativas ($p < 0,001$) tanto entre as diversas formas de uso do solo, como entre os meses em que o efluxo de CO₂ foi avaliado. Quando considerado os períodos do dia ao longo dos meses de avaliação as médias diferem significativamente, com o diurno registrando 271,86 mgCO₂m⁻²h⁻¹ e 318,38 mgCO₂m⁻²h⁻¹ para o noturno. Foi possível perceber através da análise de correlação canônica que as diversas variáveis analisadas influenciam nas variações temporais e entre as diferentes formas de uso do efluxo de CO₂, nessas condições experimentais e para o período de tempo avaliado as variáveis geoambientais tem maior influência que as variáveis do conteúdo de sais e cinzas. Os dados apontam para influência da ação antrópica na dinâmica de decomposição da matéria orgânica a partir do manejo realizado. Tendo em vista que os sistemas com manejo mais intensivo, SAF, cultivo de café sombreado e do cultivo de hortaliça orgânica, apresentaram valores mais altos de efluxo de CO₂ e variaram de forma mais expressiva ao longo do tempo do que o da mata.

Palavras-chave: Respiração basal; Bioindicadores; Mudança de Uso do solo

ABSTRACT:

Regardless of the system adopted, land use change will always result in changes in some characteristics of this natural resource. In this sense, analyzes of CO₂ flow between soil and atmosphere are very important for studies involving edaphic bioindicators. Therefore, the objective of this work was to analyze the dynamics of CO₂ flow through basal respiration in different types of soil use, observing the chemical and biological changes. For this, 5 systems with different use forms were selected. The basal respiration and chemical fertility analysis were performed monthly from July to December 2017. The effects of the five soil use systems on their chemical and biological characteristics over time were evaluated using statistical models of GLS and CCA. The data presented significant differences ($p < 0.001$) both between the different forms of soil use and between the months when CO₂ efflux was evaluated. When considering the periods of the day at the

end of the evaluation months, the means differ significantly, with daytime registering 271.86 mgCO₂m⁻²h⁻¹ and 318.38 mgCO₂m⁻²h⁻¹ for the night. It was possible to perceive through the analysis of canonical correlation that the several analyzed variables influence in the temporal variations and between the different forms of use of the CO₂ efflux, in these experimental conditions and for the period of time evaluated the geoenvironmental variables has a greater influence than the chemical variables. The data point to the influence of anthropic action on the dynamics of organic matter decomposition from the management. Considering that the systems with more intensive management, SAF, shade coffee cultivation and organic vegetable cultivation, presented higher values of CO₂ efflux and varied more significantly over time than that of the forest.

Key words: Soil respiration; Bioindicators; Land use change

INTRODUÇÃO

Os ambientes respondem de forma diversa às mudanças na paisagem causadas pela ação antrópica. A mudança de uso do solo provoca significativas alterações nos ambientes naturais. Nas últimas décadas, a substituição da vegetação nativa por áreas de agricultura e pecuária já emitiram toneladas de CO₂ representando mais da metade das emissões nacionais para esse período (BRASIL, 2017).

O solo, como membrana fundamental para a vida, é um dos maiores emissores e receptores de carbono do sistema Terra. Estudos sobre os bioindicadores edáficos ainda são escassos, sobretudo em condições semiáridas brasileiras. Por ser uma região populosa e de relativa fragilidade ecológica, os impactos decorrentes de mudança de uso do solo são significativos, tornando o semiárido brasileiro (SAB) um dos ecossistemas mais ameaçados (JANZEN, 1997). Essa região é caracterizada por altas temperaturas e taxa de evaporação, precipitação mal distribuída, e escoamento superficial intenso (RIBEIRO, 2007). Tais características geoclimáticas torna o SAB um ambiente susceptível a problemas com degradação e consequente perda acelerada de saúde do solo.

Em outra direção, o interesse por pesquisas, que visam avaliar as alterações das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo com diferentes tipos de usos e tendo como referência ambientes sem interferência antrópica ou sob condições naturais, aumentou consideravelmente nos últimos anos (MARINARI et al., 2006; LIMA et al., 2007).

Independentemente do sistema adotado, a mudança de uso do solo sempre resultará em alterações em algumas características desse recurso natural, variando com impactos mais intenso ou mais suaves dependendo do tipo de uso e manejo adotado. Essas variações têm importante efeito sobre a vida do solo (GUNDALE et al., 2005).

Nesse sentido, as análises de fluxo de CO_2 entre o solo e a atmosfera são muito importantes para estudos que envolvem a atividade biológica edáfica, material orgânico em decomposição, quantidade de biomassa microbiana e a determinação do conteúdo de carbono. Segundo Schilenter & Cleve (1985) este processo surge de pelo menos três fontes metabólicas: a respiração microbiana, respiração das raízes e respiração dos organismos. Além disso, podem ser incluídas ainda, algumas fontes não metabólicas como a oxidação química dos minerais do solo (LIRA, 1999).

A respiração do solo é um atributo usado para monitorar a decomposição da matéria orgânica, sendo considerada um importante indicador da atividade microbiana, que é um dos principais pilares da manutenção e resiliência do solo vivo (ANDERSON & DOMSCH, 1990, DORAN & PARKIN, 1996).

Para Tsai et al., (1992) as alterações na constituição do ar do solo governam o crescimento e a atividade da microbiota, pois o CO_2 e O_2 são necessários ao desenvolvimento desses organismos. Poggiani et al., (1977) verificaram que as condições climáticas possuem uma acentuada influência sobre a evolução de CO_2 do solo. Dessa forma, a respiração edáfica pode ser utilizada para avaliar mudanças na dinâmica do carbono do solo em ambientes naturais que sofreram alterações, tais como desmatamento para implantação de culturas (FEIGL et al., 1995).

Sendo assim, a respiração basal é um forte indicador da intensidade de decomposição e dinâmica do ciclo biogeoquímico do carbono. Essa intensidade mostra-se distinta no curso diário e anual, sendo dependente do clima e da atividade biológica no solo. A respiração do solo pode aumentar com a temperatura, e para determinada temperatura ela é maior em condição de umidade ótima (ARAUJO, 2011). Em regiões de clima temperado, os solos de floresta, charneca e sob herbáceas apresentam respiração em média entre $100\text{-}500 \text{ mgCO}_2\text{m}^{-2}\text{h}^{-1}$ e em campos até $1000 \text{ mgCO}_2\text{m}^{-2}\text{h}^{-1}$. Em solos de floresta tropical ricos em material nutritivo pode-se medir uma taxa entre $1000\text{-}1200 \text{ mgCO}_2\text{m}^{-2}\text{h}^{-1}$ durante o período úmido do ano. Sobre solos arenosos, regiões secas e nas tundras somente de 50 a $200 \text{ mgCO}_2\text{m}^{-2}\text{h}^{-1}$ (SINGH & GUPTA, 1977).

Dessa forma, as interações entre CO_2 , temperatura, fotossíntese, umidade do solo e disponibilidade de nutrientes para as plantas podem determinar não somente a estrutura e composição da planta e comunidades microbianas, como também o tamanho e modificação dos reservatórios de C no solo (TATE & ROSS, 1997).

Na Mesorregião do Agreste da Paraíba, há poucos estudos de identificação de indicadores de alterações químicas, físicas e biológicas em áreas que sofreram mudanças no uso do solo (SILVA, 2013; SILVA, 2015). Estudos dessa natureza são importantes, pois podem fornecer um conjunto de informações preciosas, representando um inexplorado potencial para o monitoramento e avaliação da qualidade do solo em diferentes sistemas locais de cultivo e manejo.

Estes estudos são, também, de suma importância para uma melhor compreensão da sustentabilidade dos diferentes agroecossistemas, a partir da definição de um conjunto de dados mínimos que possam servir como referência para avaliação e seleção de indicadores de qualidade do solo. Além de ser material base para tomada de decisão em mudanças e ajustes nos modelos de uso e ocupação do solo.

Portanto, o objetivo desse trabalho foi analisar a dinâmica do fluxo de CO₂ por meio da respiração basal em diferentes tipos de uso do solo observando as alterações químicas e biológicas causadas por essa mudança.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Efluxo de CO₂ Diurno e Noturno

Houve diferenças significativas ($p < 0,001$) tanto entre as diversas formas de uso do solo, como entre os meses em que o efluxo de CO₂ foi avaliado (Tabela 1). Quando considerado os períodos do dia ao longo dos meses de avaliação, também verifica-se que as médias diferem significativamente ($p < 0,001$), com o diurno registrando 271,86 mgCO₂m⁻²h⁻¹ e 318,38 mgCO₂m⁻²h⁻¹ para o noturno.

Tabela 3: Respiração basal para diferentes formas de uso do solo em períodos de avaliação distintos. **M**– mata; **O** – mandala de produção orgânica; **P** – pastagem; **Café** – cultivo sombreado de café; **SAF** – sistema agroflorestal.

Mês		Tratamentos				
Períodos		M	P	O	SAF	Café
		CO2 (mg m-2 h-1)				
	Diurno*	182.72 c	304.34 a	268.53 b	313.50 a	290.20 ab
	Noturno*	279.70 b	333.38 a	318.34 a	336.73 a	323.74 a
Jul	Diurno	279.85 b A	345.35 ab AB	337.09 abA	362.95 a A	322.61 ab AB
	Noturno	330.71 c A	378.22 ab A	357.19 abc A	391.46 a A	339.90 bc B
Ago	Diurno	141.62 b BC	304.07 a BC	285.61 a AB	303.99 a AB	255.24 a C
	Noturno	291.92 b AB	350.88 a B	340.60 a AB	341.53 a AB	311.00 ab C
Set	Diurno	114.02 c C	242.33 ab D	178.00 bc B	256.58 a B	222.70 ab C
	Noturno	241,59 a B	262,27 a D	225,51 a C	247,08 a C	237,42 a D
Out	Diurno	169.98 b BC	350.55 a A	336.59 a A	363.09 a A	353.82 a A
	Noturno	284.47 b AB	354.68 a AB	358.77 a A	376.37 a AB	376.95 a A
Nov	Diurno	154,59 b BC	282,95 a CD	220,48 ab B	280,77 a B	266,83 a BC
	Noturno	270,21 c AB	310,36 ab C	322,12 a B	318,07 a B	358,53 a BC
Dez	Diurno	236,26 b AB	300,78 ab BC	253,43 ab AB	313,60 a AB	320,02 a AB
	Noturno	259,31 b AB	343,85 a B	305,85 a B	345,88 a AB	349,23 a B

*valores médios considerando todos os meses avaliados.

** Médias seguidas da mesma letra minúscula na horizontal não diferem entre si, segundo teste Tukey a 5%.

*** Médias seguidas da mesma letra maiúscula na vertical não diferem entre si, segundo teste Tukey a 5%.

A análise de variância da respiração basal em função dos tratamentos apenas para o período diurno demonstra que há significativa diferença ($p < 0,001$) entre as formas de uso do solo, considerando todos os meses avaliados. Todavia, em termos gerais e apesar das diferenças na quantidade de efluxo de CO₂ de cada ambiente, quando se observa a Figura 1 é evidente que a dinâmica da respiração edáfica em resposta às modificações ambientais ao longo dos meses nesse período do dia foi similar.

Quando se considera toda a série de dados do período diurno, o ambiente com maior efluxo de CO₂ foi o SAF com 313,50 mgCO₂m⁻²h⁻¹, com a mata apresentando o menor, na ordem de 182.72 mgCO₂m⁻²h⁻¹ para esse período.

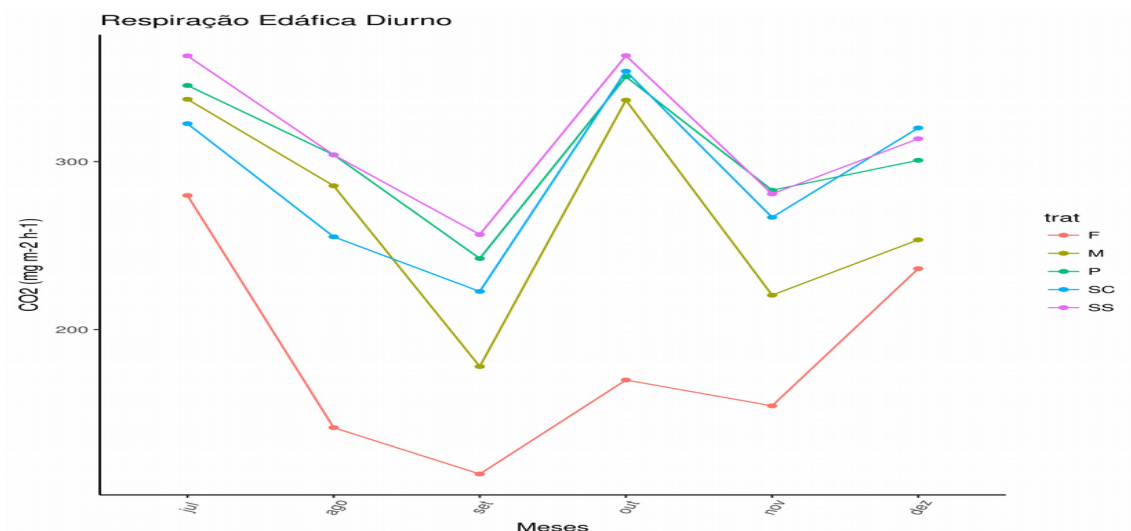


Figura 2: Taxa de efluxo de CO₂ diurna nos ambientes com diferentes formas de uso ao longo do tempo. **F** – mata; **M** – mandala de produção orgânica; **P** – pastagem; **SC** – cultivo sombreado de café; **SS** – sistema agroflorestal (SAF).

Em média, para todo o período diurno, é notável que o ambiente de mata expressou os menores valores de respiração basal. É conhecido que em solos tropicais, a perda de carbono é mais acelerado em áreas com cultivo, manejo mais intenso do solo e com pouca presença do componente arbóreo (MIELNICZUK et al., 2003; BRASIL, 2017).

Nos meses de julho e outubro, estatisticamente, foram registrados os maiores valores de efluxo de CO₂ para o período diurno. Com o ambiente SAF registrando as maiores taxas, 362,95 e 363,09 mgCO₂m⁻²h⁻¹, e a mata os menores, 279,85 mgCO₂m⁻²h⁻¹, e 169,28 mgCO₂m⁻²h⁻¹, respectivamente, para cada mês. Esses valores mais altos de efluxo de CO₂ refletem as condições ambientais nesses dois meses, sendo que o mês de julho é o final do período chuvoso para a região, apresenta maior umidade atmosférica e do solo; já em outubro, mesmo sendo um mês dentro do período seco da região, verifica-se que houve precipitações que também aumentaram a umidade atmosférica e do solo (Figuras 2 e 3).

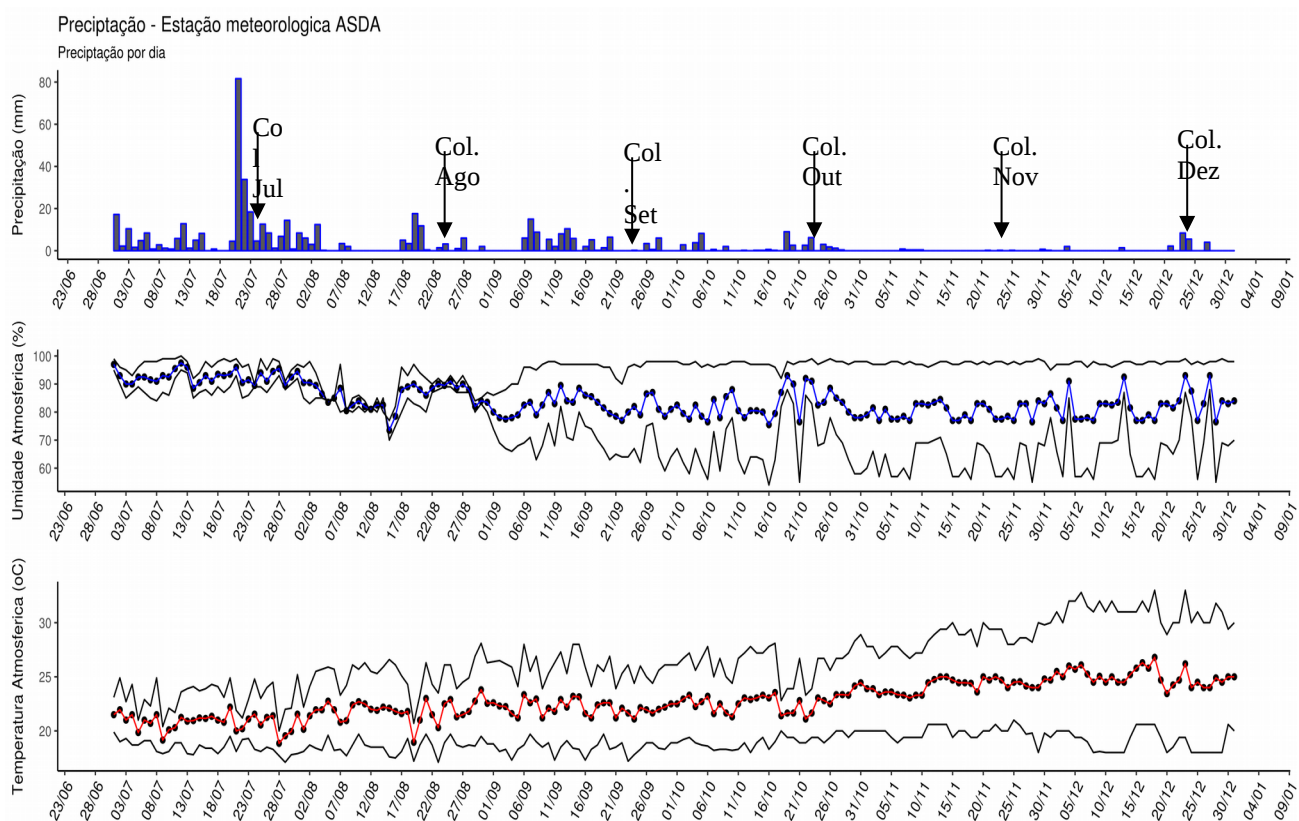


Figura 3: Dados do monitoramento meteorológico da estação do Laboratório de Desenvolvimento Sustentável e Agroecologia do Campus III da UFPB, Bananeiras-PB. Precipitação diária; Umidade mínima, média e máxima por dia; Temperatura mínima, média e máxima por dia. As setas estão indicando o período de coleta de dados.

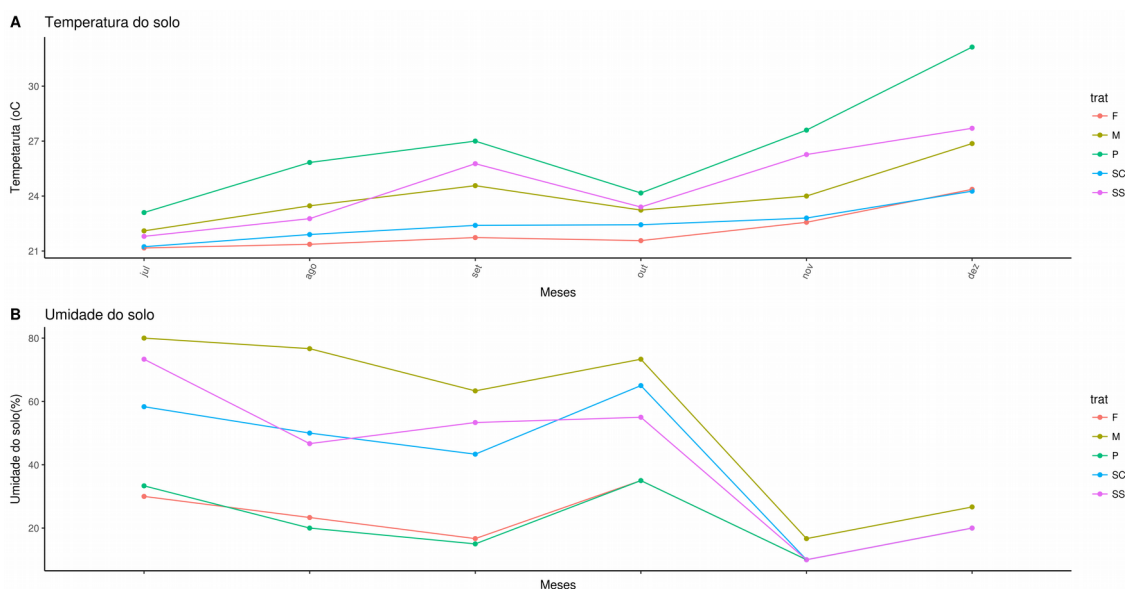


Figura 3: Dados de umidade e temperatura do solo coletados no período de avaliação da respiração basal. **F** – mata; **M** – mandala de produção orgânica; **P** – pastagem; **SC** – cultivo sombreado de café; **SS** – sistema agroflorestal (SAF).

Quando correlacionadas essas variáveis ambientais com a respiração basal, observa-se correlação positiva significativa (Figura 4). Provavelmente, esses fatores favoreceram o aumento geral do efluxo de CO_2 nos diferentes ambientes com condições mais propícias a maior atividade

metabólica dos organismos edáficos e maiores taxas fotossintéticas do componente vegetal que, por sua vez, contribui com aumento da atividade metabólica do solo pela liberação dos exsudatos radiculares (YUSTE et al., 2007).

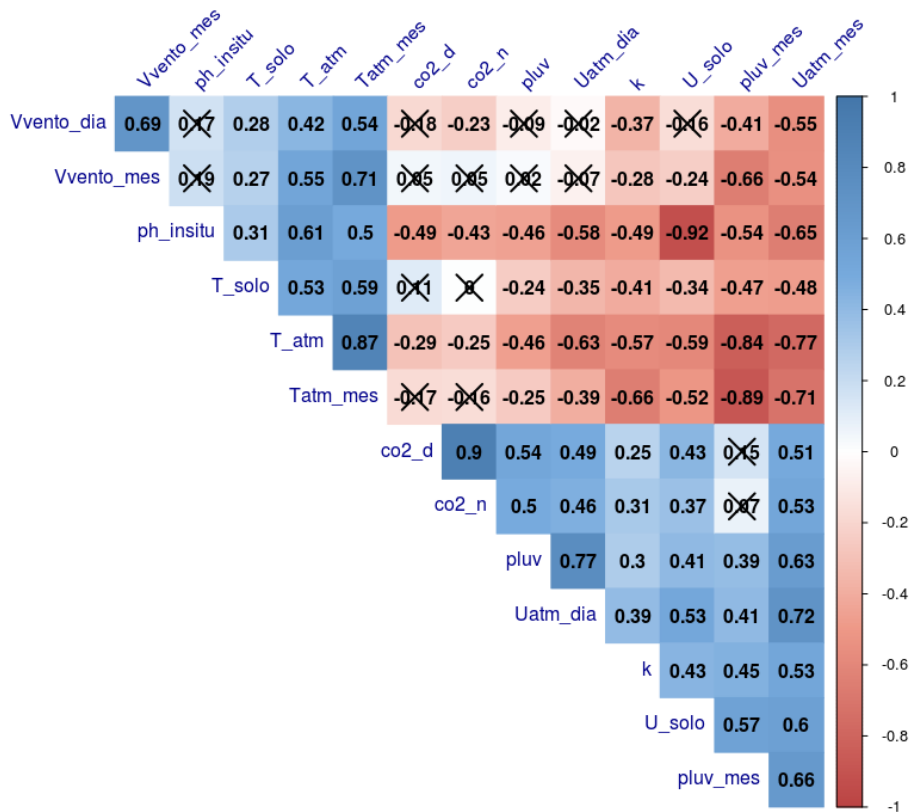


Figura 4: Correlação de Spearman, com nível de significância de 5%, entre a respiração basal, diurna (**co2_d**) e noturna (**co2_n**), e as variáveis geoambientais. **T_dia**: temperatura da semana do período de coleta de dados da respiração basal; **T_mês**: temperatura média; **T_solo**: temperatura do solo no período de coleta de dados da respiração basal. **U_dia**: umidade relativa da semana do período de coleta de dados da respiração basal; **U_mes**: umidade média; **U_solo**: umidade relativa no período de coleta de dados da respiração basal. **Vvento_dia**: velocidade do vento da semana do período de coleta de dados da respiração basal; **Vvento_mes**: velocidade média dos ventos; **Pluv_dia**: pluviosidade da semana do período de coleta de dados da respiração basal; **Pluv_mes**: pluviosidade média; **pH_insitu**: pH do solo no período de coleta.

Diniz et al. (2014) avaliando mudanças devido à variação sazonal, nos atributos microbiológicos dos solos em uma área florestada de palmeiras nativas no Cerrado brasileiro, demonstraram que a respiração basal era sensível às mudanças na umidade e temperatura, sendo maior durante a estação chuvosa. Geisseler, Horwath e Scow (2011), investigando o efeito da umidade na respiração basal do solo em campo na Califórnia, também encontraram correlação positiva entre efluxo de CO₂ e umidade do solo, com a respiração diminuindo com a redução no potencial de água. Semelhante comportamento foi relatado por Araújo et al. (2008), avaliando a atividade microbiana através da produção de CO₂ durante as estações seca e chuvosa em área de caatinga no Cariri paraibano.

Diferente dos meses anteriormente citados, em setembro e novembro foram registradas as menores taxas de efluxo de CO₂ no período diurno. Com os ambientes SAF apresentando 256,58 mgCO₂m⁻²h⁻¹ e a pastagem 282,95 mgCO₂m⁻²h⁻¹, respectivamente, os maiores valores para esses meses, ficando a mata com os menores 114,02 e 154,59 mgCO₂m⁻²h⁻¹, respectivamente. Observando as condições edafoclimáticas para esse período, percebe-se a forte influência da baixa umidade atmosférica e do solo, agora somada ao aumento médio da temperatura atmosférica e do solo na diminuição do efluxo de CO₂ (Figura 2 e 3).

Ao correlacionar essas duas últimas variáveis, temperatura atmosférica e do solo, demonstraram correlação negativa significativa com o efluxo de CO₂ (Figura 4). Resultados similares também foram encontrados por Ross, Tate e Newton (1995) e Silva *et al.* (2016). Provavelmente, entre os fatores mais importante que afetam a decomposição da matéria orgânica do solo, principal fonte de carbono da respiração basal, estão a temperatura, a umidade e a entrada de carbono nos agroecossistema (YUSTE *et al.*, 2007).

Possivelmente, nesses meses, essas condições desfavoráveis foram fulcrais na diminuição das atividades dos agentes bióticos responsáveis pela decomposição da matéria orgânica do solo. Com relação a essa questão, Yuste *et al.* (2007) problematizam afirmando que as mudanças no efluxo de CO₂ tanto podem ser causadas por mudanças na respiração intrínseca dos micróbios existentes (baixa eficiência) ou mudanças na composição da comunidade microbiana (adaptação e maior eficiência) ambas afetam a decomposição da matéria orgânica do solo e sua resposta à temperatura.

Avaliando os resultados do período noturno, quando considera-se todos os meses, há pouco diferença entre os ambientes nas taxas de CO₂ liberado. Em média, os valores de efluxo de CO₂ foram mais altos à noite, o que faz supor que as condições edafoclimáticas mais amenas e estáveis desse período do dia tenham favorecido a atividade metabólica maior e mais homogênea da biota edáfica.

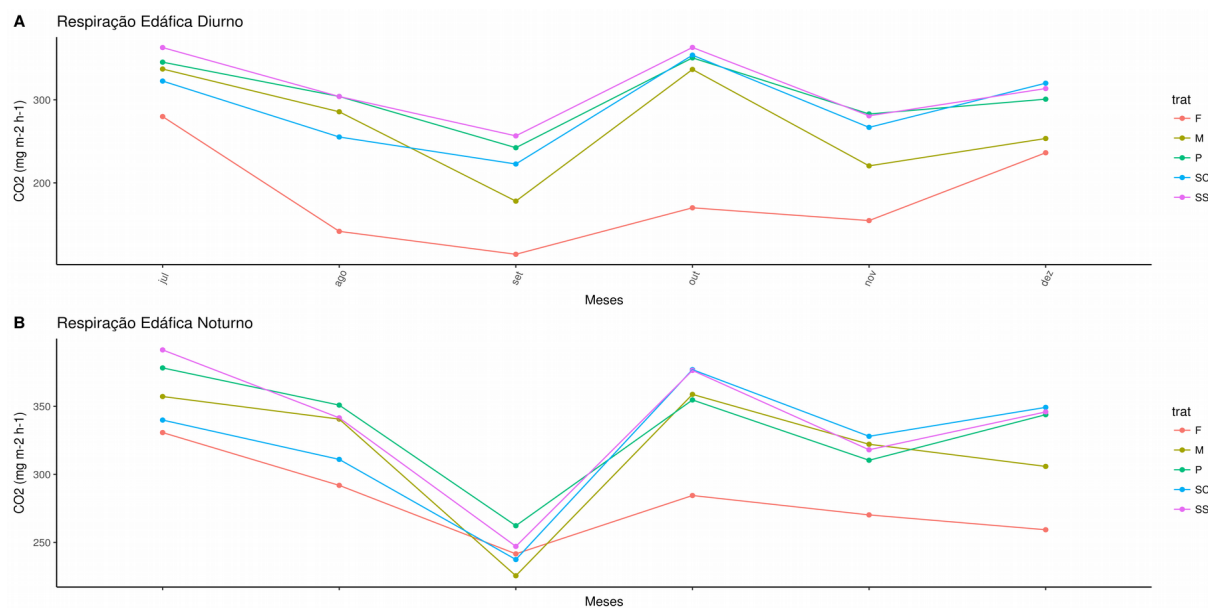


Figura 05: Taxa de efluxo de CO₂ ao longo do tempo em ambientes com diferentes formas de uso do solo. A – período noturno; B – período diurno.

Nesse período, as maiores taxas de respiração basal foram registradas nos meses de julho e outubro. Nesses, as médias mais altas foram 391,46 mgCO₂m⁻²h⁻¹ no SAF e 376,95 mgCO₂m⁻²h⁻¹ no plantio de café sombreado, e as mais baixas, 330,71 e 284,47 mgCO₂m⁻²h⁻¹ no ambiente de mata, respectivamente. O mês de setembro foi o que apresentou as menores taxas de efluxos de CO₂, no entanto, estatisticamente, não houve diferença entre os ambientes nesse mês de avaliação da respiração basal para o período em questão.

Ao observar a Figura 5 para os resultados de ambos os períodos do dia, é notável que houve coincidência, entre os meses, na maior e menor taxa de efluxo de CO₂. Essa observação reforça a influência das condições edafoclimáticas na dinâmica da respiração basal ao longo do tempo (YUSTE *et al.*, 2007, SINGH; GUPTA, 1977)

Um outro aspecto importante a ser ressaltado é que o ambiente de mata registrou as menores taxas de respiração edáfica, tanto para período diurno como noturno. Silva *et al.* (2015), em seu estudo com solos de área de mata, também verificaram menores valores de respiração edáfica em relação às demais áreas estudadas, sugerindo uma maior estabilidade da mata nativa em comparação às áreas com intervenção antrópica, pois baixa respiração basal é indicativo de agroecossistemas mais estáveis do ponto de vista das relações ecológicas e eficiência da decomposição da matéria orgânica do solo (SAMPAIO; ARAÚJO; SANTOS, 2008).

Ainda dentro dessa questão das diferentes respostas dos ambientes estudados por meio da respiração basal, sabe-se que as condições favoráveis do solo contribuem para uma remobilização mais harmônica do carbono para atmosfera sob a forma de CO₂, previamente armazenado na

biomassa microbiana e na matéria orgânica. Na medida em que a população microbiana se torna mais eficiente, menos carbono é perdido em forma de CO₂ através da respiração e uma maior proporção de carbono é incorporada no tecido microbiano (GAMA-RODRIGUES et al., 2005; PIMENTEL et al., 2011).

Análise química e respiração basal do solo

Na Tabela 2, encontra-se os resultados da análise química dos solos dos diferentes ambientes em estudo. Observa-se que houve diferenças significativas para todos os elementos analisados, variando entre os ambientes com diferentes formas de uso, indicando influência do tipo de manejo e dos fatores geoambientais na dinâmica dos minerais. Quando correlacionado esses resultados com a respiração basal nos dois períodos, percebe-se que há correlação baixa mas significativa entre alguns dos elementos analisados e o efluxo de CO₂.

Tabela 4: Análise química dos solos em ambientes com diferentes formas de uso. P – fosforo; K – potássio; Na – sódio; H⁺Al⁺³ – acidez potencial; Ca – cálcio; Mg: magnésio; SB: soma de bases; V%: saturação por bases; CE: condutividade elétrica; Corg: carbono orgânico. Ecorg: estoque de carbono orgânico.

Ambientes	pH	P	K	Na	H+Al	Ca	Mg	SB	CTC	V%	CE	Corg	Ecorg
		mg/dm ³				cmolc/dm ³				%	dS/m	g/Kg	Mg/ha
Mata	4.46 e	15.61 e	55.12 c	0,761 b	3,94 a	1,65 d	1,62 c	3,48 c	7,43 c	49,21 e	0,22 c	33,71 a	91,02 a
Pastagem	5.49 c	29.73 c	38.44 d	0,008 e	0,97 d	0,78 e	1,15 d	2,05 d	3,02 d	70,18 c	0,09 e	9,31 e	32,59 e
Orgânico	6.64 a	83.28 b	105.47 b	0,143 a	0,83 d	4,27 a	2,47 b	7,16 l	8,00 a	89,74 a	0,29 b	25,14 d	66,37 d
Café	4.84 d	19.70 d	35.34 d	0,039 d	2,72 b	1,82 c	1,59 c	3,55 c	6,27 c	62,94 d	0,19 d	29,68 b	81,33 b
SAF	6.00 b	110.34 a	123.11 a	0,050 c	1,88 c	2,90 b	3,30 a	6,55 b	8,38 a	78,77 b	0,45 a	27,80 c	68,95 c

*letras minúsculas indicam diferença na mesma coluna. Segundo o teste de Tukey 5%.

Ao observar a Figura 5 é perceptível que houve correlação positiva com a pH, saturação por bases e fósforo trocável. Em agroecossistemas, faixas de valores de pH entre 5,5 e 6,5 proporciona melhores condições para o desenvolvimento da plantas cultivadas e da vida no solo, bem como valores de saturação por bases acima de 50%, indicando que os complexos de troca estão ocupados por cátions básicos, em geral sinalizando para solos mais férteis (LEPSCH, 2011). Com relação ao fósforo, é conhecido que sua disponibilidade está entre os principais fatores que controlam a transformação da matéria orgânica (WALKER; SYERS, 1976). Portanto, é possível que estas características tenham contribuído para o aumento do metabolismo do CO₂, justificando a correlação positiva entre essas variáveis e o efluxo de CO₂.

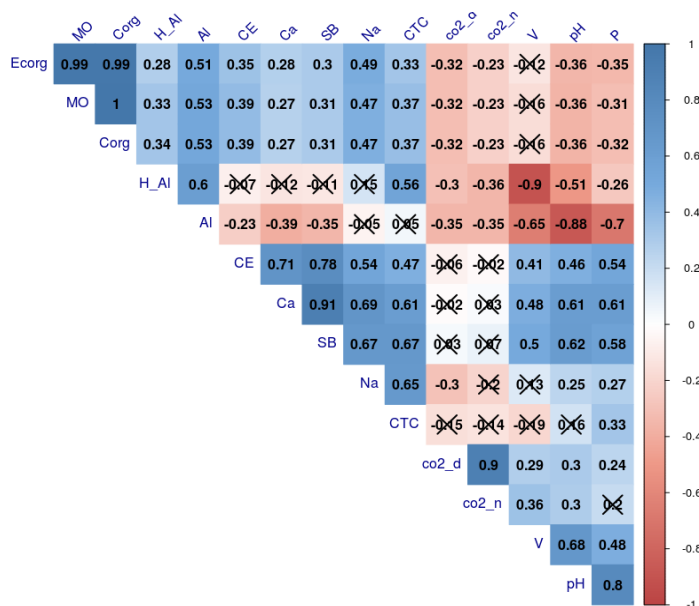


Figura 6: Correlação de Spearman, com nível de significância de 5%, entre a respiração basal, diurna (**co2_d**) e noturna (**co2_n**), e as variáveis da análise química de fertilidade do solo. **P** – fosforo; **K** – potássio; **Na** – sódio; **H⁺Al⁺³** – acidez potencial; **Ca** – cálcio; **Mg**; magnésio; **SB**: soma de bases; **V**%; saturação por bases; **CE**: condutividade elétrica; **Corg**: carbono orgânico. **CTC**: Capacidade de troca de cations.

Por outro lado, houve correlação negativa com acidez potencial, alumínio trocável, sódio e carbono orgânico (Figura 6). A acidez potencial e a presença de alumínio (Al^{+3}) no solo é desfavorável ao seu metabolismo pela sua toxicidade em quantidades elevadas, além do que, esse cátion trivalente, quando reage com água libera íons de hidrogênio, que por sua vez altera negativamente os valores de pH e por consequência de saturação por base (LEPSCH, 2011). Como essas duas últimas variáveis são importantes na dinâmica de decomposição da matéria orgânica do solo é possível que a acidez potencial e o alumínio trocável tenham influenciado de forma negativa o efluxo de CO_2 dos solos estudados.

Também houve correlação negativa com o carbono orgânico, a presença e qualidade desse elemento no solo está diretamente relacionada aos aportes de matéria orgânica. Essa, por sua vez, quando oriunda de fontes diversas e em quantidade pode representar maior fornecimento de substrato a ser utilizado como fonte de energia para o crescimento microbiano, favorecendo a recuperação do equilíbrio biológico do solo e de sua qualidade (SINGH, GUPTA, 1977, FIERER et al., 2005). Em ambientes mais estáveis, a eficiência e acumulação do carbono é ampliada provocando menor liberação para atmosfera na forma de CO_2 . (BILIBIO; CORRÊA; BORGES, 2010), o que justifica, dessa maneira, a correlação negativa dessa variável com a respiração edáfica. Nos resultados, o ambiente de mata foi o que apresentou maior teor de carbono orgânico, como também os menores efluxos de CO_2 quando comparado, por exemplo, a pastagem que sempre

apresentou os teores mais baixos de carbono orgânico, mas demonstrou valores mais expressivo de efluxo de CO₂, contrastando com o ambiente de referência.

Análise de Correlação Canônica

As análises de correlações canônicas da respiração edáfica e das variáveis geoclimáticas revelaram que o efluxo de CO₂ e algumas dessas variáveis estão proximamente correlacionadas e podem ser agrupadas (Figura 7). Para cada período do dia foi observado um coeficiente de correlação de 0,78 e 0,56 para a interação das relações canônicas de primeira ordem, sendo ambos estatisticamente significativos ($P < 0,001$). O percentual de poder explicativo dos dois eixos canônicos foi satisfatório ficando em 76,8% e 23,2%, respectivamente. Ao observar o agrupamento das variáveis, esse existiu com correlações mais negativas associadas a temperatura atmosférica e positivas com a umidade atmosférica e do solo, pluviosidade e temperatura do solo. Os respectivos valores das cargas canônicas podem ser vistos na Tabela 2.

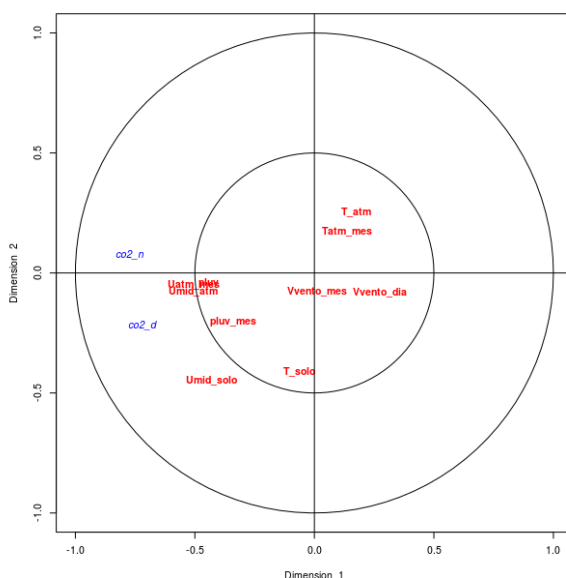


Figura 7: Correlação canônica entre a respiração basal, diurno (**co2_d**) e noturno (**co2_n**), e as variáveis geoambientais. **T_dia**: temperatura da semana do período de coleta de dados da respiração basal; **T_mes**: temperatura média; **T_solo**: temperatura do solo no período de coleta de dados da respiração basal. **U_dia**: umidade relativa da semana do período de coleta de dados da respiração basal; **U_mes**: umidade média; **U_solo**: umidade relativa no período de coleta de dados da respiração basal; **Vvento_dia**: velocidade do vento da semana do período de coleta de dados da respiração basal; **Vvento_mes**: velocidade média dos ventos; **Pluv_dia**: pluviosidade da semana do período de coleta de dados da respiração basal; **Pluv_mes**: pluviosidade média; **pH_insitu**: pH do solo no período de coleta.

Tabela 5: Valores de Carga para os dois eixos de correlação canônica entre a respiração basal e variáveis geoambientais.

	Can1	Can2
CO2_d	-0.71	-0.21
CO2_n	-0.77	0.07
Pluv_dia	-0.44	-0.04
Pluv_mes	-0.34	-0.20
Umid_dia	-0.50	-0.07
Umid_mes	-0.50	-0.04
Umid_solo	-0.42	-0.45
T_dia	0.17	0.25
T_mes	0.13	0.17
T_solo	-0.06	-0.41

A análise de redundância ajustada revelou que aproximadamente 52% das variâncias padronizadas de variáveis canônicas da respiração basal foram explicadas por variáveis canônicas geoclimáticas. Pôde-se observar que a análise multivariada corrobora com os dados anteriormente discutidos sobre as relações entre respiração basal e as variáveis geoambientais, reforçando a influência da umidade na explicação das variações dos efluxos de CO₂ ao longo do tempo, em ambos os períodos do dia. Interessante notar que, na análise canônica, a temperatura do solo passou a ter correlação positiva com a respiração basal. Outros estudos em diferentes condições apontam resultados muito diversos quanto à sensibilidade à temperatura de diferentes frações de matéria orgânica (KIRSCHBAUM, 1995; TRUMBORE *et al*, 1996; FIERER *et al.*, 2003, FIERER *et al.*, 2005).

Com relação aos resultados da análise de correlação canônica entre a respiração edáfica e as variáveis independentes da análise química de fertilidade dos solos demonstram que estas explicam a variação do efluxo de CO₂, pois, a análise de redundância ajustada apontou que 35% do valor das variâncias padronizadas são explicadas. Para cada período do dia, os dois eixos canônicos apresentaram coeficiente de correlação de 0,72 e 0,40, respectivamente, mas apenas o primeiro apresentou significância estatística ($P < 0,001$). O percentual de poder explicativo do primeiro eixo canônico ficou em 84,4%. Como observado na Figura 8, o agrupamento das variáveis explicativas existiu com correlações mais negativa para a acidez potencial, sódio e carbono orgânico, bem como, positiva para pH, fosforo e saturação por bases. Os valores das cargas canônicas estão expressos na Tabela 3.

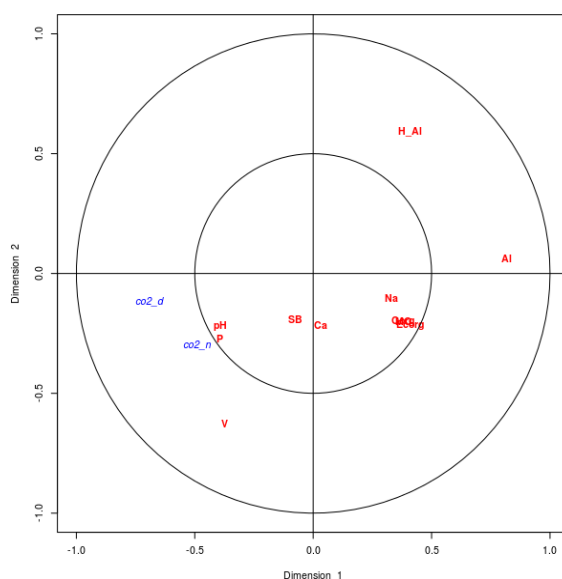


Figura 8: Correlação canônica entre a respiração basal, diurno (**co2_d**) e noturno (**co2_n**), e as variáveis da análise química de fertilidade do solo. **P** – fósforo; **K** – potássio; **Na** – sódio; **H⁺Al⁺³** – acidez potencial; **Ca** – cálcio; **Mg**: magnésio; **SB**: soma de bases; **V%**: saturação por bases; **CE**: condutividade elétrica; **Corg**: carbono orgânico. **Ecorg**: estoque de carbono orgânico.

Tabela 6: Valores de carga para o primeiro eixo de correlação canônica entre a respiração basal e variáveis da análise química de fertilidade do solo.

	Can1
CO2_d	-0.69
CO2_n	-0.49
pH	-0.39
P	-0.39
Na	0.33
H_Al	0.40
Ca	0,033
SB	-0.07
V	-0.37
Corg	0.37
Ecorg	0.40

Em termos gerais, foi possível perceber através da análise de correlação canônica que as diversas variáveis analisadas influenciam nas variações temporais e entre as diferentes formas de uso do efluxo de CO₂. É possível perceber que nessas condições experimentais e para o período de tempo avaliado as variáveis geoambientais tem maior influência que as variáveis do conteúdo de sais e cinzas na respiração basal dos solos estudados.

CONSIDERAÇÕES

Há diferença entre o efluxo de CO₂ nas diferentes formas de uso do solo avaliadas, tendo essa variado entre os períodos do dia, com o noturno expressando maiores taxas do que o diurno, bem como ao longo dos seis meses avaliados.

A variação da respiração basal sofre influência das condições geoambientais, com as variáveis meteorológicas e umidade do solo exercendo influências mais marcantes do que a variação do conteúdo de sais e cinzas dos solos estudados.

Nas condições em que foi realizada a pesquisa, os dados apontam para influência da ação antrópica na dinâmica de decomposição da matéria orgânica a partir do manejo realizado. Tendo em vista que os ambientes com manejo mais intensivo, SAF, cultivo de café sombreado e do cultivo de hortaliça orgânica, apresentaram valores mais altos de efluxo de CO₂ e variaram de forma mais expressiva ao longo do tempo do que o ambiente referência, a mata.

Portanto, a gestão sustentável dos agroecossistemas é imprescindível, aproximando-os cada vez mais da dinâmica dos ambientes naturais, tendo em vista que a área florestada apresentou sempre as taxas mais baixas de respiração basal e, provavelmente, maior estabilidade na ciclagem do carbono.

CAPÍTULO II – Cromatografia de Pfeiffer Para Avaliar a Qualidade dos Solos em Diferentes Formas de Uso No Município de Bananeiras-PB

"Sob as aparências do Universo,
do Tempo e do Espaço e da Mobilidade,
está sempre encoberta a Realidade Substancial:
a Verdade fundamental."
(O CAIBALION)

"os organismos vivos sempre surgiram de organismos vivos
durante toda a história geológica"
(Francesco Redi, 1669)

RESUMO:

A dinâmica da saúde do solo está relacionada ao clima, tipo de vegetação, insumos e manejos adotados, esses fatores modificam as condições do ambiente e determina o tipo de biota do solo. Sua qualidade é mensurada através do uso de indicadores. Dentro dessa perspectiva, a Cromatografia do solo de Pfeiffer pode ser utilizada no monitoramento de agroecossistemas como um indicador de qualidade dos solos, onde podemos observar as propriedades físicas, químicas e biológicas. Dessa forma, a presente pesquisa tem como objetivo verificar as mudanças qualitativas no solo de cinco ambientes com diferentes formas de uso por meio da cromatografia do solo de Pfeiffer. Além disso, pretende-se testar uma escala de classificação para a cromatografia de Pfeiffer objetivando facilitar sua interpretação para fins de popularização da técnica. Para tanto, foram selecionados 5 sistemas com formas de uso diferente. As mudanças nas características biológicas e químicas foram avaliadas por meio da cromatografia circular de Pfeiffer e análise química de fertilidade realizada mensalmente de julho a dezembro de 2017. Os efeitos dos cinco sistemas de uso do solo sobre suas características, químicas e biológicas ao longo do tempo foram avaliados a partir de modelos estatístico de regressão logística e CCA. Os resultados das análises conjunta da cromatografia demonstram que há diferenças significativas ($P < 0,001$), em todas as categorias de avaliação qualitativa da escala, entre os ambientes com diferentes formas de uso do solo, apontando que a ação antrópica tem impactos na dinâmica da vida edáfica, como também houve diferenças ($P < 0,01$) ao longo dos meses em que os solos desses ambientes foram analisados. A análise de correlação canônica apontou pouco poder explicativo das variáveis geoclimáticas e análise química de fertilidade com relação às variações das categorias cromatográficas. No entanto, as variáveis carbono orgânico, pH, alumínio, cálcio, fósforo, soma de bases, temperatura do solo e umidade demonstraram relações mais próximas a essas categorias, tendo maior poder explicativos das variações ocorridas ao longo do tempo. A escala cromatográfica demonstra ser eficiente. Essa facilita uma avaliação coletiva e mais imparcial dos resultados, além de possibilitar a correlação estatística entre essas e as demais variáveis analisadas, proporcionando uma análise mais aprofundada dos aspectos e características demonstrados pela cromatografia do solo de Pfeiffer.

Palavras-chave: Bioindicadores; Mudança de uso do solo; Cromatografia circular em papel

ABSTRACT

The dynamics of soil health are related to the climate, type of vegetation, inputs and managements adopted, these factors modify the conditions of the environment and determines the type of soil biota. Its quality is measured through the use of indicators. From this perspective, Pfeiffer soil Chromatography can be used to monitor agroecosystems as an indicator of soil quality, where we can observe the physical, chemical and biological properties. Thus, the present research aims to verify the qualitative changes in the soil of five environments with different forms of use by Pfeiffer soil chromatography. In addition, we intend to test a classification scale for Pfeiffer's chromatography with the aim of facilitating its interpretation for the popularization of the technique. For this, 5 systems with different use forms were selected. The changes in the biological and chemical characteristics were evaluated through Pfeiffer's circular chromatography and chemical analysis of fertility performed monthly from July to December 2017. The effects of the five systems of soil use on their chemical and biological characteristics over time were evaluated from logistic regression and CCA models. The results of the joint analysis of the chromatography show that there are significant differences ($P < 0.001$) in all categories of qualitative scale evaluation between environments with different forms of soil use, pointing out that anthropic action has impacts on the dynamics of life ($P < 0.01$) during the months in which the soils of these environments were analyzed. The analysis of canonical correlation showed little explanatory power of the geoclimatic variables and chemical analysis of fertility in relation to the variations of the chromatographic categories. However, the variables organic carbon, pH, aluminum, calcium, phosphorus, sum of bases, soil temperature and humidity showed closer relations to these categories, having greater power explaining the variations that occurred over time. The chromatographic scale proves to be efficient. This facilitates a collective and more impartial evaluation of the results, besides allowing the statistical correlation between these and the other analyzed variables, providing a more in depth analysis of the aspects and characteristics demonstrated by Pfeiffer soil chromatography.

Key words: Bioindicators; Change of land use; Circular chromatography on paper

INTRODUÇÃO

O solo é um ambiente vivo com grande biodiversidade. Essa atividade biológica ajuda a determinar sua estrutura e a fertilidade, portanto, é essencial para que ele desempenhe suas funções, incluindo a produção de alimentos.

Sendo resultado de interações complexas entre clima, geologia, vegetação, atividade biológica, tempo e uso da terra. O solo agrícola é um recurso inestimável e limitado, posto que seu valor está diretamente relacionado ao trabalho desenvolvido pelo ser humano por séculos através da prática ultrassocial da agricultura. Dessa maneira, degradação irreversível deste recurso implica não apenas na destruição do bem mais precioso dos agricultores, mas também significa hipotecar as oportunidades agrícolas das gerações futuras (COMISSÃO EUROPEIA, 2012; PINHEIRO, 2015).

A teoria proposta por Liebig em 1840 sobre nutrição de plantas a partir de substâncias simples e sua lei da fertilidade decrescente do solo, constituiu-se a base teórica do paradigma

consumista do modelo convencional de agricultura, o qual foi condicionado à lógica da indústria (MACHADO; MACHADO F., 2014)

Com base nos métodos de química, a atividade de armazenamento é atribuída a matéria orgânica, húmus, e um comportamento inorgânico ao solo. O nitrogênio inorgânico e o nitrogênio "vivo" dos aminoácidos, por exemplo, são considerados idênticos e absorvidos na forma de nitrato ou de amônio, e estas espécies químicas inorgânicas, quando em contacto com as raízes, não guardam a memória de sua origem, podendo ter vindo da matéria orgânica do solo ou da fabricação por síntese química. Essas ideias abriram caminho para os adubos de síntese química que depois da Segunda Guerra Mundial, tem seu uso acentuado nos campos agrícolas. (GARCIA OLMEDO, 2009).

Por outro lado, segundo Pinheiro (2011) :

De acordo com a teoria da vitalidade do solo de Pfeiffer, “a fertilidade do solo é proporcional à densidade populacional, biodiversidade da microflora e sincronização evolutiva do processo”. Em síntese, “são as membranas vivas dos micróbios que transformam o orgânico em inorgânico e vice versa para que os autotróficos transformem gás carbônico em matéria orgânica para sua alimentação [...], que faz a fertilidade do solo ser crescente quando ele tem saúde (PINHEIRO, 2011, p.55).

Ainda de acordo com Moreira e Siqueira (2006):

Todas as transformações bioquímicas do planeta são dependentes ou relacionadas à presença das enzimas, e o solo, como entidade biológica, é um sistema bioquímico altamente regulado por catálises, onde as principais reações de transformação são mediadas, principalmente, pelas hidrolases e oxirredutases que controlam o processo de decomposição dos materiais orgânicos e transformações inorgânicas (MOREIRA E SIQUEIRA, 2006, p.184).

Segundo Howard (2007), “a fertilidade do solo somente pode ser entendida se a considerarmos relacionada com a natureza como um todo.” Dessa forma, além de antrópica, a fertilidade deve ser compreendida como uma propriedade do sistema, por sua capacidade de gerar vida.

Dessa forma, ao longo do tempo foi-se construindo um novo conceito, passando-se a integrar atributos ecológicos e a dimensão temporal, o que tem resultado na seguinte definição de saúde do solo:

A capacidade continuada do solo em funcionar como um sistema vivo vital, dentro dos limites do ecossistema e do uso da terra, para sustentar a produtividade biológica, promover a qualidade dos ambientes aéreos e aquáticos, e manter a saúde vegetal, animal e humana (DORAN; ZEISS, 2000).

Portanto, a dinâmica da saúde do solo está relacionada ao clima, tipo de vegetação, insumos e manejos adotados, esses fatores modificam as condições do ambiente e determina o tipo de biota do solo. Por isso, a ação antrópica através do uso e manejo do solo influi diretamente sobre os fatores bióticos e abióticos por afetar sua temperatura, umidade, nível de oxigênio e nutrição de

plantas, que por sua vez rege os processos bioquímicos e interfere na qualidade da matéria orgânica (AQUINO, 2005)

Além da importância da biota do solo para manutenção de sua fertilidade e saúde, é fundamental o conhecimento da biologia e ecologia do sistema, de suas interações e limitações impostas por fatores geoclimáticos, fatores sociais e econômicos que determinam as estratégias de manejo utilizadas (FERNANDEZ et al., 2008).

Atualmente, as informações disponíveis sobre o impacto das atividades humanas no equilíbrio do solo são muito escassas. Em geral, a qualidade da saúde do solo é mensurada através do uso de indicadores. Esses são atributos que medem ou refletem o status ambiental ou a condição de sustentabilidade do ecossistema. Os indicadores de qualidade do solo podem ser classificados como físicos, químicos e biológicos.

Dentro dessa perspectiva, a Cromatografia do solo de Pfeiffer pode ser utilizada no monitoramento de agroecossistemas como um indicador de qualidade dos solos. Essa se trata de um Holograma da saúde do solo, onde podemos observar as propriedades físicas (matéria orgânica, húmus), químicas (macro e microelementos) e biológicas (atividade enzimática) (PINHEIRO, 2015). Para melhor exposição das análises do solo usa-se formas e cores de modo que se apresenta como uma tecnologia de fácil assimilação para famílias agricultoras.

Em geral, as substâncias possuem características físicas e químicas próprias, como a cor, assim como os minerais possuem um campo eletromagnético próprio. Por sua vez, os microrganismos se aproveitam disso para restaurar as condições de seu metabolismo. De acordo com Pinheiro 2011:, “a vida é a integração das energias eletromagnéticas” e como “os minerais-vivos” (metabolizado pelos microrganismos) apresentam carga elétrica e magnetismo distinto, isso se expressa na cromatografia através da radiação da zona mineral dos cromatogramas por sua forma e cor”.

A cromatografia se configura como um método de avaliação da qualidade de vida do solo, ou seja, de sua saúde, permitindo que se faça uma leitura rápida de forma visual. Assim, este método permite que se realize um diagnóstico e monitoramento das condições de vida do solo ao longo do tempo, segundo as formas de manejo adotadas e dinâmica dos fatores ambientais (PINHEIRO, 2015).

Dessa forma, a presente pesquisa tem como objetivo verificar as mudanças qualitativas no solo de cinco ambientes com diferentes formas de uso por meio da cromatografia do solo de Pfeiffer. Correlacionando as possíveis relações entre os resultados da cromatografia com as análises químicas de fertilidade, respiração edáfica e variáveis geoambientais. Além disso, pretende-se

testar uma escala de classificação para a cromatografia de Pfeiffer objetivando facilitar sua interpretação para fins de popularização da técnica.

ELEMENTOS PARA A INTERPRETAÇÃO DA CROMATOGRAFIA

"Tudo tem fluxo e refluxo; tudo ,em suas marés; tudo sobe e desce; tudo se manifesta por oscilações compensadas; a medida do movimento à direita é a medida do movimento à esquerda; o ritmo é a compensação." (O CAIBALION)

De acordo Pinheiro (2015) e Rivera, Pinheiro (2011), a interpretação técnica do processo de desenvolvimento do cromatograma é bem simples. Quanto aos aspectos e formas que se manifestam, o mesmo ocorre da seguinte forma:

1- Zona central (oxidação-redução): Esta zona expressa primordialmente a atividade fermentativa microbiológica. Se no ambiente do solo predomina uma condição anaeróbia, não permitindo a oxidação dos minerais, acumulam-se substâncias tóxicas na atmosfera do solo, manifestando-se uma cor escura a preta, formada a partir do precipitado escuro de Óxido de Prata (Ag_2O). De acordo com a qualidade de vida do solo e a concentração de substâncias nitrogenadas presentes na amostra, metabolismo primário, este precipitado negro de Ag_2O torna-se solúvel de modo a modificar sua cor a um branco prateado e/ou de cor creme, sendo isto o desejável (Figura 1);



Figura 9: Evolução da zona central de três cromatogramas de acordo com sua coloração. Adaptado de Restrepo e Pinheiro (2011)

2- Zona interna (mineral): Indicadora das condições de desenvolvimento mineral, através dos fungos e leveduras. Variam desde um círculo linear (membrana inorgânica sem vida) até total integração com as outras zonas. Suas cores variam do mínimo no preto ao máximo no ouro laranja (Figura 2). Aqui vê-se a ação dos microrganismos no ciclo do carbono integrando minerais metabolizados e a riqueza em oxigênio. Como os minerais e demais substâncias: frações húmicas, carboidratos, enzimas; possuem carga elétrica e campo eletromagnético, que por sua vez está diretamente relacionado às condições de vida do solo, isto influencia em como se manifesta o desenho do cromatograma. Podendo então se expressar através de seus radiais pelas características das ramificações que ocorrem em forma de setas e/ou “flechas” sobrepostas de forma mais ou menos perceptível, podendo ser desde a zona central à extremidade do cromatograma (Figura 3). O pleno desenvolvimento desta zona, bem integrada às demais, ilustra uma boa condição da atividade biológica do solo, integração e harmonia entre o componente mineral-biológico.

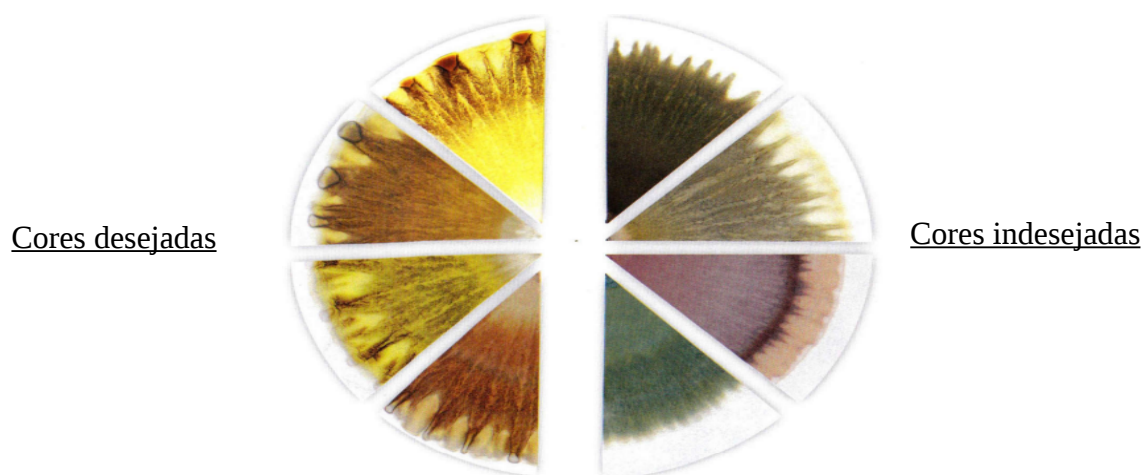


Figura 10: Padrão de cores para a análise cromatográfica de solo de Pfeiffer. Adaptado de Restrepo e Pinheiro (2011)

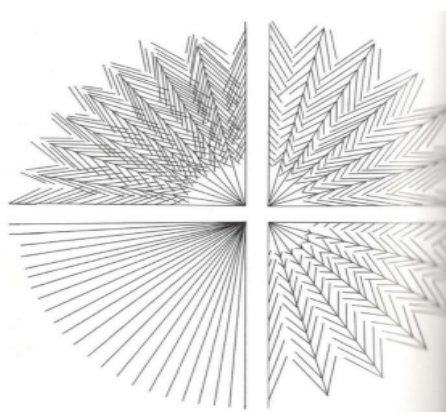


Figura 11: Desenhos da evolução radial dos cromatogramas. Adaptado de Restrepo e Pinheiro (2011)

3- Zona externa (enzimática): Aqui se expressa plenamente a vitalidade do solo, pois os compostos nitrogenados presentes na solução da amostra ao ultrapassar a zona impregnada com nitrato de prata reagem com os restos de prata livres. Isto faz com que se expresse esta zona, a qual consiste de substâncias complexas de alto peso molecular, ativas no solo e formadas pela atividade dos microrganismos presentes na matéria orgânica, metabolismo secundário. Estas frações nitrogenadas (vitaminas, enzimas, fitormônios, frações húmicas, etc.) revelam-se sob a forma de nuvens (pigmentos), pétalas e ondas que caracterizam a zona enzimática (Figura 4). Onde se verifica a biodiversidade microbiana pela sua biossíntese proteica e polipeptídios solúveis da vida do solo. Quanto mais diversa maior é a presença e efeitos dos compostos que se expressam com formas e picos variados, aqui também se manifestam as diferentes frações húmicas.

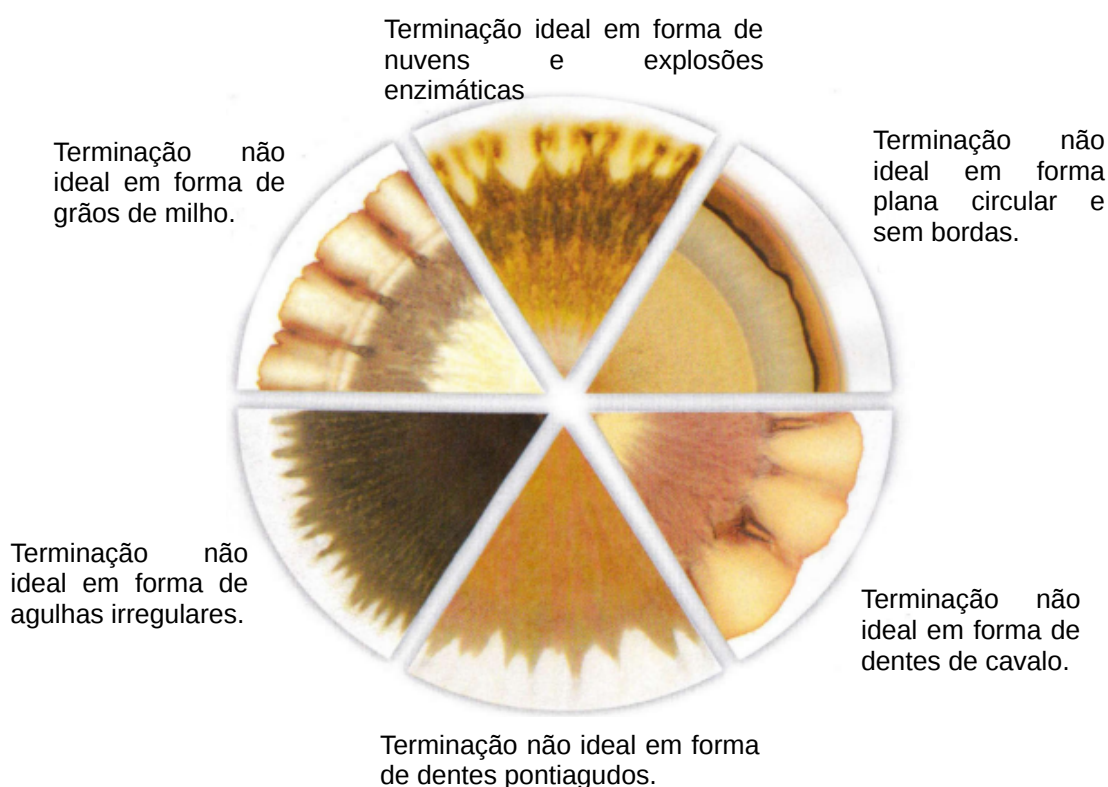


Figura 12: Seis características diferentes das terminações dos dentes da zona externa (ZE) de um cromatograma. Adaptado de Restrepo e Pinheiro (2011)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

"O que está em cima é como o que está embaixo, e o que está embaixo é como o que está em cima."
(O CAIBALION)

Todos os padrões gerados pela cromatografia do solo de Pfeiffer (CSP) obtidos na presente pesquisa consistiram em três zonas em forma de anel localizadas em torno da perfuração central: (i) a zona central (ZC), caracterizada por uma cor clara a claro cremoso, (ii) a zona interna (ZI) com ou sem integração com as zonas anterior e posterior, e, na periferia do padrão, a zona externa (ZE) muito diversificada e, em muitos casos, apenas deficientemente visível.

A verificação visual do conjunto de padrões, formados pela análise dos solos dos diferentes ambientes, mostram que as diferenças mais proeminentes dizem respeito ao tamanho e forma da zona central, à presença de características de integração do padrão concêntrico, que distinguem as diferentes zonas. Os radiais, cujas aparências pareciam estar inversamente relacionada com a zona central, bem como a presença e ausência da zona externa, caracterizada pelos “dentes” e explosões em “nuvens,” ou mostrando apenas uma linha suavizada, respectivamente. Além de suave modificação na coloração, mais claras e vivas ou escurecidas e opacas, que marcaram as diferenças entre os ambientes e no desenvolvimento intra padrões ao longo dos meses avaliados.

Como podemos observar na Anexo 1F, os resultados das análises conjunta da cromatografia do solo de Pfeiffer demonstram que há diferenças significativas ($P < 0,001$), em todas as categorias de avaliação qualitativa da escala, entre os ambientes com diferentes formas de uso do solo, apontando que a ação antrópica tem impactos na dinâmica da vida edáfica, como também houve diferenças ($P < 0,01$) ao longo dos meses em que os solos desses ambientes foram analisados. Com exceção para a categoria que avalia a zona central que apresentou alta significância ($P < 0,001$) e para o da interação entre zonas e formações radiais que não demonstraram diferença estatística significativa entre os meses.

Ao observar a dinâmica dos cromatogramas dos solos da mata ao longo dos meses (Anexo 1A) é perceptível as mudanças em sua zona central. Entre os meses de julho a setembro apresentou suficiente metabolismo primário, atividades dos microrganismos nos ciclos biogeoquímicos do C, N, O, S, já nos três meses subsequentes houve uma melhora passando a demonstrar uma atividade excelente. As formas radiais, formadas pela interação de moléculas mais complexas (enzimas, carboidratos e frações húmicas), também tornaram-se mais intrincadas nesses três meses, bem como houve melhor integração entre as zonas (Anexo 1F). Os reflexos dessa dinâmica temporal também foram expressivos na zona externa, sendo evidente o aparecimento de dentes e explosões em nuvens indicando maior atividade no metabolismo secundária do solo.

Ao comparar esses resultados com as análises de cinzas e sais dos solos do ambiente de mata é possível notar melhora na fertilidade ao longo dos meses de avaliação. Houve aumento

expressivo da percentagem de saturação por bases (V%) passando de valores próximos de 40% e 38% em julho e setembro, respectivamente, para maiores 73% e 56% em novembro e dezembro, nessa ordem (Anexo 1G). Essas alterações têm reflexos direto na disponibilidade de nutrientes para a biota edáfica,

Outro fator que também se alterou nesse intervalo de tempo foi carbono orgânico total (COT) que teve aumento de cerca de 20% entre os primeiros três meses e os últimos, alterando seus teores de 47 g/kg para 68 g/kg, respectivamente Anexo 1G. É possível que esse incremento de COT no solo da mata tenha relação direta com o fenômeno de caducifoliedade, típico da vegetação local e resultante de alterações edafoclimáticas (SALCEDO; SAMPAIO, 2008). Esses dois fatores destacados, MO e V%, ambos indicam aumento da disponibilidade de nutrientes e podem estar relacionados com as alterações na leitura qualitativa dos cromatogramas dos solos da mata, pois podem alterar diretamente a atividade metabólica primária e secundária da biologia do solo (SILVA et al., 2016).

Ao analisar os cromatogramas dos solos do ambiente de pastagem (Anexo 1B), percebe-se que houve alterações parecidas quando comparado ao solo da mata, pois em julho nota-se que todas as características dos cromatogramas avaliados indicaram deficiência, mas nos últimos meses, sobretudo em novembro e dezembro houve melhoras no metabolismo primário, com a expansão da zona central. Percebe-se também alterações na estrutura química do solo com melhor integração entre a zona interna e as zonas centrais e externa, sintropia entre os minerais e os microrganismos edáficos, bem como um aumento considerável da atividade enzimática observada no aparecimento dos dentes na zona externa.

Ao confrontar a avaliação qualitativa da cromatografia com a análise química de fertilidade dos solos do ambiente de pastagem, é possível estabelecer uma relação entre o aumento dos teores de fósforo (P) que teve incremento significativo no mês de dezembro, sendo esse macroelemento um dos fundamentais para a atividade metabólica do solo (PINHEIRO; BARRETO, 2000) pode ter tido influência direta nos resultados positivos obtidos a partir da cromatografia no solo da pastagem, muito embora, a percentagem de saturação por base (V%) tenha apresentado uma leve queda de fertilidade (Anexo 1G). Outro fato a se destacar é o aumento no teor médio de matéria orgânica (MO) que inclusive pode está ligado ao incremento de fósforo, ambos influenciando a microbiologia edáfica (MARTINAZZO et al., 2007).

É interessante ressaltar, também, a possível interferência das condições edafoclimáticas na dinâmica da biologia edáfica, pois, no período de coleta do mês em questão, houve combinação de aumento de umidade atmosférica e do solo, em consequência das chuvas, em conjunto com o aumento médio da temperatura. Esses fatores climáticos combinados dão condições favoráveis ao

aumento da atividade metabólica do solo, fenômeno esse que pode ser observado nos resultados, anteriormente reportados, da respiração edáfica do período diurno para o mês de dezembro.

Os resultados da análise cromatográfica do ambiente de produção orgânica em sistema de mandala (O) (Anexo 1C) demonstra excesso de entrada de adubação orgânico, indicada pela expansão e coloração esbranquiçada, forte presença de compostos nitrogenados no ambiente, da zona central (ZC), sem apresentar uma integração evidente com a próxima zona. O halo branco acinzentado presente na zona interna (ZI), sobretudo nos três primeiros meses, pode ser resultado da presença dos silicatos liberados pelo excesso de água do ambiente, reflexo de irrigação não planejada em conjunto com o final do período de chuvas da região.

Ao observar a Anexo 1F é perceptível a evolução dos aspectos positivos do cromatograma do ambiente de produção orgânica no mês de dezembro. Com melhoras na coloração, há uma mudança de um marrom mais escurecido para mais claro, evolução dos radiais que reflete na zona externa, passando está a apresentar atividade enzimática, mesmo que incipiente. A complexidade e a regularidade do padrão são consideradas indicadores de alta qualidade (KOKORNACZYK; DINELLI; BETTI, 2012). Nesse período houve algumas mudanças de manejo do sistema com entrada de gramíneas e leguminosas plantadas nos canteiros, além das mudanças nas condições edafoclimáticas já ressaltadas anteriormente.

A análise de cinzas e sais do ambiente de produção orgânica (Tabela 1) indica um solo de boa fertilidade. Valores altos de percentagem de saturação por bases (V%), de matéria orgânica (MO) e médios de capacidade de troca de cátions (CTC) deveriam ser indicativos de solo com alta atividade biológica, no entanto, os resultados apresentados na análise da vida do solo, através da cromatografia, contradiz essa constatação quando indica um solo com baixa atividade biológica e possíveis equívocos de manejo da adubação. Nesse caso o elevado teor de fósforo da análise química pode corroborar com essa afirmativa.

Tabela 7: Teores de Ca, Mg, K, P, MO, carbono orgânico(Corg), soma de bases (SB) e saturação por bases (V), e valores de pH, acidez potencial (H+Al+3) e condutividade elétrica (CE) sob áreas de mata (M), pastagem (P), produção orgânica (O), produção de café sombreado (SC) e sistema agroflorestal (SAF), em diferentes profundidades do solo.

Ambientes	pH	P	K	Na	H+Al	Ca	Mg	SB	CTC	V%	CE	Corg	Ecorg
		mg/dm ³				cmolc/dm ³				%	dS/m	g/Kg	Mg/ha
Mata	4.46 e	15.61 e	55.12 c	0,761 b	3,94 a	1,65 d	1,62 c	3,48 c	7,43 c	49,21 e	0,22 c	33,71 a	91,02 a
Pastagem	5.49 c	29.73 c	38.44 d	0,008 e	0,97 d	0,78 e	1,15 d	2,05 d	3,02 d	70,18 c	0,09 e	9,31 e	32,59 e
Orgânico	6.64 a	83.28 b	105.47 b	0,143 a	0,83 d	4,27 a	2,47 b	7,16 1	8,00 a	89,74 a	0,29 b	25,14 d	66,37 d
Café	4.84 d	19.70 d	35.34 d	0,039 d	2,72 b	1,82 c	1,59 c	3,55 c	6,27 c	62,94 d	0,19 d	29,68 b	81,33 b
SAF	6.00 b	110.34 a	123.11 a	0,050 c	1,88 c	2,90 b	3,30 a	6,55 b	8,38 a	78,77 b	0,45 a	27,80 c	68,95 c

Ao examinar o Anexo 1D com a série de cromatogramas do solo do sistema agroflorestal (SAF) percebe-se que o comportamento da atividade biológica foi diferente dos ambientes anteriormente analisados, mata e pastagem. Nos três últimos meses, nota-se o decréscimo na

qualidade de integração da zona interna com as zonas centrais e externa (Anexo 1F), indicando mudanças na dinâmica dos elementos químicos, em virtude da provável perda de atividade biológica, marcada pela diminuição da complexidade dos radiais, e consequente baixa do metabolismo secundário, observada na zona externa com o desaparecimento das terminações em forma de dentes e nuvens. Kokornaczyk et al. (2016) encontraram correlações positivas entre essas duas zonas e reportou suas influências com a fertilidade do solo. Essa perda de qualidade biológica nos solos do SAF também pode ser identificada com a perda da vivacidade das cores, passando de um marrom escuro vivo para uma cor mais opaca (RESTREPO, PINHEIRO 2011).

Essa possível perda de vitalidade do solo no sistema agroflorestal tem consequências nas mudanças de manejo que o ambiente sofreu. Inicialmente, nos meses de março e abril, o ambiente teve um aporte grande de matéria orgânica e até o mês de agosto vinha sofrendo manejos constante com podas e controle de plantas espontâneas. Após esse período houve abandono do sistema com diminuição da diversidade de espécies de plantas presentes.

Ao avaliar a análise química de fertilidade os resultados indicam tendência de diminuição da acidez potencial (H^+Al^{+3}) e aumento de percentagem de saturação por base (V%) e fósforo nos meses de novembro e dezembro, o que seria indicativo de aumento de fertilidade. Portanto, para a dinâmica dos solos desse ambiente, ao longo dos meses em que foi avaliado, não é possível fazer uma relação direta entre os resultados da cromatografia e a análise de sais e cinzas.

Com relação ao ambiente de produção de café sombreado, ao se examinar a Anexo 1E e a Anexo 1F, percebe-se que foi o sistema que menos sofreu alterações ao longo do período avaliado, com perda qualitativa apenas quando comparamos o cromatograma de julho com os outros meses. O mês de outubro também se destaca com leve retomada de metabolismo primário, refletido na melhoria dos aspectos da zona central e complexidade dos radiais. Nos demais meses o perfil cromatográfico dos solos permanece bem próximos. Importante ressaltar a presença dos chamados dentes de cavalo, que segundo Restrepo, Pinheiro (2011) é um aspecto não desejado, indicando possíveis problemas no metabolismo secundário do solo analisado.

Já na análise química de fertilidade do solo do sistema de produção de café sombreado, há indicativo de mudanças significativas com aumento da percentagem de saturação por bases (V%) e diminuição sensível da acidez potencial, o que seria um indicativo de aumento da fertilidade do sistema. Porém, não houve reflexos na avaliação da dinâmica biológica observada a partir das análises da cromatografia de solo de Pfeiffer.

Nas condições de desenvolvimento da presente pesquisa, foi possível perceber que há uma forte integração entre todas as categorias cromatográficas que são avaliadas a partir da cromatografia do solo de Pfeiffer, com as características de uma refletindo nas demais de forma

integrada. Outro aspecto de destaque foram as poucas possibilidades de interação entre a análise de sais e cinzas com os resultados da cromatografia. Sobre essa questão Pfeiffer (1984) pontua:

“As cinzas das provas de combustão demonstram somente a soma total dos elementos e de forma alguma informam sua origem, se vinda de uma célula ou tecido que alguma vez esteve vivo.” (PFEIFFER, 1984, pag. 4).

A cromatografia do solo de Pfeiffer é um método qualitativo de análise de solo em que há possibilidade de se acessar a dinâmica biogeoquímica edáfica e sua interação com as membranas catalisadoras da vida que possibilitam as relações ecológicas dentro desse sistema (PINHEIRO, 2015). Dessa forma a cromatografia se mostra não somente como um método complementar à análise de sais e cinzas, comumente realizada para avaliar a fertilidade dos solos, mas como uma ferramenta com outra perspectiva no sentido de focar na dinâmica da vida edáfica, sendo essa diretamente ligada à saúde de um agroecossistema produtivo e dinamicamente sustentável do ponto de vista ambiental.

Análise Multivariada

A análise de correlação canônica, observada na (Figura 5), entre as categorias cromatográficas (cor (C), zona central (ZC), radiais (rad), interações (int) e zona externa (ZE)) e as variáveis geoclimáticas, análise química de fertilidade e respiração edáfica revelaram que algumas dessas variáveis estão proximamente correlacionadas e podem ser agrupadas.

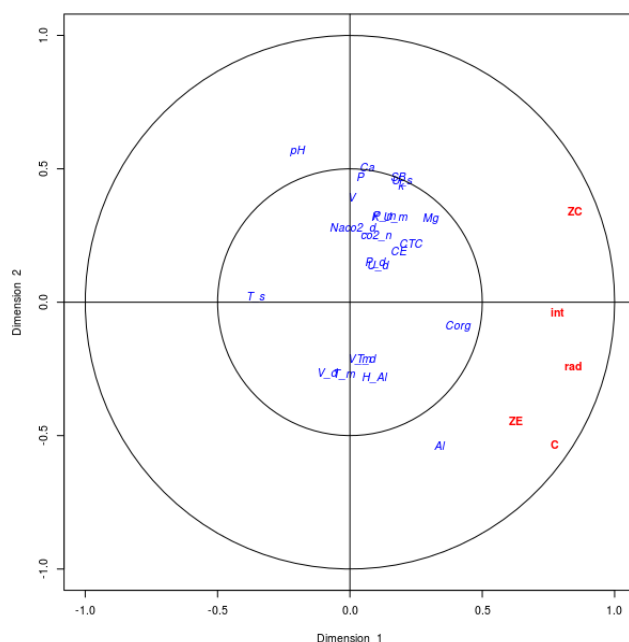


Figura 13: Correlação canônica entre as categorias cromatográficas: cor (C), zona central (ZC), radiais (rad), interações (int) e zona externa (ZE) e as variáveis da análise química de fertilidade do solo. **P** – fósforo; **K** – potássio; **Na** – sódio; **H⁺Al⁺³** – acidez potencial; **Ca** – cálcio; **Mg**: magnésio; **SB**: soma de bases; **V%**: saturação por bases; **CE**: condutividade elétrica; **Corg**: carbono orgânico. **Ecorg**: estoque de carbono orgânico; respiração basal: diurno (**co2_d**) e noturno (**co2_n**); geoambientais. **T_dia**: temperatura da semana do período de coleta de dados da respiração basal; **T_m**: temperatura média; **T_s**: temperatura do solo no período de coleta de dados da respiração basal. **U_d**: umidade relativa da semana do período de coleta de dados da respiração basal; **U_m**: umidade média; **U_s**: umidade relativa no período de coleta de dados da respiração basal. **V_d**: velocidade do vento da semana do período de coleta de dados da respiração basal; **V_m**: velocidade média dos ventos; **P_d**: pluviosidade da semana do período de coleta de dados da respiração basal; **P_m**: pluviosidade média.

O modelo demonstra ser estatisticamente significativo ($P < 0,001$) com os dois primeiros eixos de correlação apresentando valores de 0,85 e 0,81, ambos com significância estatística ($P < 0,001$) para a interação das relações canônicas de primeira ordem. O percentual de poder explicativo dos dois eixos canônicos foi baixo ficando em 41% e 30%, respectivamente.

A relação existente entre o agrupamento das categorias cromatográficas e o restante das variáveis, é observado através das correlações mais negativas com a temperatura do solo e o pH, e positivas com carbono orgânico e alumínio, mais relacionadas ao primeiro eixo canônico. Já com o segundo eixo canônico houve correlação negativa com a respiração basal (diurna (**CO2_d**) e noturna (**CO2_n**), pluviosidade, umidade atmosférica e do solo, temperatura atmosférica, pH, fosforo (P), potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca), magnésio (Mg), soma de bases (SB), capacidade de troca de cations (CTC), saturação por base (V%), carbono orgânico (Corg) e condutividade elétrica (CE). Bem como correlação positiva com temperatura atmosférica, acidez potencial, alumínio e carbono orgânico. No entanto, para a zona central (ZC) essas relações foram inversas,

sendo que essa zona demonstrou maior proximidade com o primeiro grupo dessas variáveis explicativas (Figura 5). Os respectivos valores das cargas canônicas podem ser vistos na Tabela 2.

Tabela 8: Valores de Carga para os dois primeiros eixo de correlação canônica entre as categorias cromatográficas: cor (C), zona central (ZC), radiais (rad), interações (int) e zona externa (ZE) e as variáveis da análise química de fertilidade do solo. **P** – fósforo; **K** – potássio; **Na** – sódio; **H⁺Al⁺³** – acidez potencial; **Ca** – cálcio; **Mg**: magnésio; **SB**: soma de bases; **V%**: saturação por bases; **CE**: condutividade elétrica; **Corg**: carbono orgânico. **Ecorg**: estoque de carbono orgânico; respiração basal: diurno (**co2_d**) e noturno (**co2_n**); geoambientais. **T_dia**: temperatura da semana do período de coleta de dados da respiração basal; **T_m**: temperatura média; **T_s**: temperatura do solo no período de coleta de dados da respiração basal. **U_d**: umidade relativa da semana do período de coleta de dados da respiração basal; **U_m**: umidade média; **U_s**: umidade relativa no período de coleta de dados da respiração basal. **V_d**: velocidade do vento da semana do período de coleta de dados da respiração basal; **V_m**: velocidade média dos ventos; **P_d**: pluviosidade da semana do período de coleta de dados da respiração basal; **P_m**: pluviosidade média.

	Can1	Can2
C	0,65	-0,43
ZC	0,72	0,27
rad	0,71	-0,19
int	0,66	-0,02
ZE	0,53	-0,36
CO2_d	0,04	0,33
CO2_n	0,11	0,30
k	0,22	0,53
P_d	0,11	0,18
P_m	0,14	0,39
U_d	0,12	0,16
U_m	0,19	0,38
U_s	0,23	0,55
T_d	0,06	-0,26
T_m	0,02	-0,33
T_s	-0,42	0,02
pH	-0,23	0,69
P	0,04	0,57
K	0,10	0,39
Na	-0,05	0,34
H_Al	0,10	-0,34
Al	0,39	-0,66
Ca	0,07	0,62
Mg	0,35	0,38
SB	0,21	0,57
CTC	0,26	0,27
V	0,01	0,48
Corg	0,47	-0,10
CE	0,21	0,23

A análise de redundância ajustada revela que aproximadamente 46% das variâncias padronizadas das variáveis canônicas das categorias cromatográficas foram explicadas pelas variáveis canônicas da análise química de fertilidade, geoclimáticas e respiração edáfica. Dentre essas, como é possível observar na Figura 5, a temperatura do solo, carbono orgânico e alumínio são as variáveis que explicam melhor a variação das categorias cromatográficas, a partir da correlação com o primeiro eixo canônico. Quando se leva em consideração as variáveis ligadas ao segundo eixo canônico é notável que a variação das categorias cor, zona externa e zona central é melhor explicada pelas variáveis umidade do solo, pH, P, Ca e SB e Al.

Com relação ao comportamento intra categorias cromatográficas é possível perceber que nos resultados da correlação canônica elas se agrupam, formando pelo menos três subgrupos: (i) zona central, (ii) integração e radiais e (iii) zona externa e cor, apontando a forte relação existente entre elas. Essa relação também foi demonstrada por Kokornaczyk et al. (2016). Nos resultados anteriormente apresentados, essas relações se expressam em algumas das variações demonstradas pelos resultados da cromatografia dos solos tanto entre os ambientes com diferentes formas de uso, como ao longo dos meses avaliados.

CONCLUSÃO

A avaliação cromatográfica dos solos dos ambientes estudados com diferentes formas de uso demonstra que há diferenças significativas entre esses agroecossistemas, apontando para possíveis impactos negativos da ação antrópica dependendo do tipo de manejo realizado após a retirada da vegetação nativa.

Nos resultados relativos às categorias cromatográficas ligadas à integração entre as zonas e as formas radiais, não houve diferenças significativas para essas duas categorias ao longo dos meses. Essas estão relacionadas à dinâmica dos minerais e moléculas mais complexas, frações húmicas, carboidratos e enzimas, do sistema vivo solo. Possivelmente, o tempo de avaliação não foi suficiente para que essas características sofressem modificações perceptíveis em função das variações geoclimáticas e químicas de fertilidade do solo.

Já a categoria cromatográfica ligada à zona central teve alterações significativas, que se expressa na diferença tanto entre os tratamentos como ao longo dos meses da avaliação. Essa zona do cromatograma está relacionada com o metabolismo primário do solo sendo indicadora das condições de desenvolvimento das atividades fermentativas microbiológicas, decomposição da matéria orgânica, ciclos do carbono, nitrogênio, oxigênio e enxofre, indicando que esse aspecto da dinâmica do ecossistema solo é mais sensível às variações dos fatores geoclimáticas e da análise química de fertilidade ao longo do tempo.

A análise de correlação canônica apontou pouco poder explicativo das variáveis geoclimáticas e análise química de fertilidade com relação às variações das categorias cromatográficas. No entanto, as variáveis carbono orgânico, pH, alumínio, cálcio, fósforo, soma de bases, temperatura do solo e umidade demonstraram relações mais próximas a essas categorias, tendo maior poder explicativos das variações ocorridas ao longo do tempo.

As categorias cromatográficas, quando agrupadas pela análise de correlação canônica, apresentam fortes relações, com zona externa fortemente ligada à cor e à integração entre zonas e às formas radiais.

A escala cromatográfica demonstra ser eficiente para avaliar as principais características da análise qualitativa do cromatograma. Essa facilita uma avaliação coletiva e mais imparcial dos resultados, além de possibilitar a correlação estatística entre essas e os dados dos fatores geoclimáticos, de análise química de fertilidade e respiração edáfica, proporcionando uma análise mais aprofundada dos aspectos e características demonstrados pela cromatografia do solo de Pfeiffer.

Neste experimento, a comparação entre diferentes sistemas de manejo do solo só foi possível em um pequeno número de amostras e, portanto, esses resultados não são decisivos e devem ser repetidos. Aumentar o número de repetições pode ampliar o potencial de diferenciação do método.

REFERÊNCIAS

ABAD, F. J. S.. Evaluación cualitativa mediante cromatografía, de la fertilidad de cinco suelos con diferentes manejos orgánicos y convencionales. 2014. 175 f. TCC (Graduação) - Curso de Carrera de Ingeniería Agronómica, Ciencias Agropecuarias, Universidad de Cuenca, Cuenca-equador, 2014.

AQUINO, A. M. Fauna do solo e sua regulação funcional do agroecossistema. In: AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L. (Ed.). Processos Biológicos no Sistema Solo-Planta: ferramentas para uma agricultura sustentável. Embrapa Agrobiologia. Brasília-DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. p. 47-75.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Application of ecophysiological quotients (qCO₂ and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 22, n. 02, p. 251-255, 1990.

ANDERSON, M. J.; ILLIS, T. J. W. Canonical Analysis Of Principal Coordinates: A Useful Method Of Constrained Ordination For Ecology. *Ecology*, Auckland, v. 84, n. 2, p.511-525, jan. 2003.

ARAÚJO, A.s.f.; MONTEIRO, R.t.r.; ABARKELI, R.b.. Effect of glyphosate on the microbial activity of two Brazilian soils. *Chemosphere*, [s.l.], v. 52, n. 5, p.799-804, ago. 2003. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0045-6535\(03\)00266-2](http://dx.doi.org/10.1016/s0045-6535(03)00266-2).

ARAÚJO, A. S. F. de; MONTEIRO, R. T. R.. Indicadores biológicos de qualidade do solo. *Bioscience Journal*. Uberlândia, p. 66-75. set. 2007.

ARAUJO, K. D. et al. Avaliação da atividade microbiana baseada na produção de C-CO₂ em uma área de caatinga no cariri paraibano. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 21, n. 3, p. 221-230, 2008.

ARAUJO, K. D.. Análise da vegetação e organismos edáficos em áreas de caatinga sob pastejo e aspectos socioeconômicos e ambientais de São João do Cariri - PB. 2010. 166 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós- Graduação em Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010.

ARAUJO, Kallianna Dantas et al. Cinética de evolução de dióxido de carbono em área de caatinga em São João do Cariri-PB. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 5, n. 35, p.1099-1106, 2011.

ASEYBOLD, C.; HERRICK, J. E.; BREJDA, J. J.. SOIL RESILIENCE: A FUNDAMENTAL COMPONENT OF SOIL QUALITY. *Soil Science*, New Brunswick, v. 164, n. 4, p.224-234, abr. 1999.

BILIBIO, William Diniz; CORRÊA, Gilberto Fernandes; BORGES, Elias Nascentes. Atributos físicos e químicos de um latossolo, sob diferentes sistemas de cultivo. *Ciência e Agrotecnologia*, [s.l.], v. 34, n. 4, p.817-822, ago. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-70542010000400004>.

BRASIL. Amintas Brandão Jr.. Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia - Imazon. Emissões do setor de mudança de uso da terra: período 1990 - 2015. Brasília: Seeg, 2017. 43 p.

CHABOUSSOU, Francis. Plantas Doentes pelo uso de pesticidas. São Paulo: Expressão Popular, 2006. 320 p.

COMISIÓN DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS. Hacia una estrategia temática para la protección del suelo. Bruselas: Comisión de Las Comunidades Europeas, 2012. 40 p.

D'ANDRÉA, A. F. et al. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no sul do estado de Goiás. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, [s.l.], v. 26, n. 4, p.913-923, dez. 2002. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832002000400008>.

DINIZ, L. T. et al. Alterações microbianas e químicas de um gleissolo sob macaubeiras nativas em função da variação sazonal e espacial. *Biosci. J.*, Uberlândia, v. 3, n. 30, p.750-762, jun. 2014.

DORAN, John W.; PARKIN, Timothy B.. Quantitative Indicators of Soil Quality: a minimum data set. *Soil Science Society Of America*, Madison, v. 49, n. 1, p.25-37, jan. 1996.

DORAN, John W.; ZEISS, Michael R.. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology*, Lincoln, v. 15, n. 1, p.3-11, jun. 2000.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Manual de métodos de análise de solo / Centro Nacional de Pesquisa de Solos. – 2. ed. rev. atual. – Rio de Janeiro, 1997. 212p. : il. (EMBRAPA-CNPS. Documentos ; 1)

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2 ed. Rio de Janeiro, 2006. 212 p.

FEIGL, B.J.; STEUDLER, P.A.; CERRI, C.C. Effects of pasture introduction on soil CO₂ emissions during the dry season in the state of Rondônia, Brazil. *Biogeochemistry*, v.31, p. 1-14, 1995.

FERNANDEZ, M.T.H. et al. Enzimas que actúan em la matéria orgánica del suelo. In: FIGUEREDO, M.V.B. et al. Microorganismos e agrobiodiversidade: o novo desafio para a agricultura. Guaíba: Agrolivros, 2008. p. 351-375.

FIERER, Noah et al. Controls on microbial CO₂ production: a comparison of surface and subsurface soil horizons. *Global Change Biology*, [s.l.], v. 9, n. 9, p.1322-1332, set. 2003. Wiley-Blackwell. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2486.2003.00663.x>.

FIERER, Noah et al. Litter quality and the temperature sensitivity of decomposition. *Ecology*, [s.l.], v. 86, n. 2, p.320-326, fev. 2005. Wiley-Blackwell. <http://dx.doi.org/10.1890/04-1254>.

FOX, John; WEISBERG, Sanford. Time-Series Regression and Generalized Least Squares in R. London: W, 2010. 10 p. (An R Companion to Applied Regression).

GAMA-RODRIGUES, Emmanuela Forestieri da et al. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, [s.l.], v. 29, n. 6, p.893-901, dez. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832005000600007>.

GARCÍA OLMEDO, F. El Ingenio y el hambre: De la revolución agrícola a la transgénica. Crítica, Barcelona, 2009. ISBN 978-84-7423-884-6.

GEISSELER, Daniel; HORWATH, William R.; SCOW, Kate M.. Soil moisture and plant residue addition interact in their effect on extracellular enzyme activity. *Pedobiologia*, [s.l.], v. 54, n. 2, p.71-78, mar. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pedobi.2010.10.001>

GRISI, Breno Machado. Métodos químicos de medição da respiração edáfica: alguns aspectos técnicos. *Ciência e Cultura*, São Paulo, v. 30, n. 1, p.82-88, abr. 1977.

GUNDALE, Michael J. et al. Restoration treatments in a Montana ponderosa pine forest: Effects on soil physical, chemical and biological properties. *Forest Ecology And Management*, [s.l.], v. 213, n. 1-3, p.25-38, jul. 2005. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2005.03.015>.

HOWARD, S.A. (1873-1947). Um testamento agrícola / Sir Albert Howard: Tradução Prof. Eli Lino de Jesus. São Paulo: Expressão Popular, 2007. 360 p.

JANZEN, D. H. Florestas tropicais secas: o mais ameaçado dos ecossistemas tropicais. In: WILSON, E. O. (Ed.) Biodiversidade. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1997. p. 166-176.

KARLEN, D. L. et al. Soil Quality: A Concept, Definition, and Framework for Evaluation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Lincoln, v. 61, n. 1, p.4-10, jan. 1997.

KIRSCHBAUM, Miko U.f.. The temperature dependence of soil organic matter decomposition, and the effect of global warming on soil organic C storage. *Soil Biology And Biochemistry*, [s.l.], v. 27, n. 6, p.753-760, jun. 1995. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0038-0717\(94\)00242-s](http://dx.doi.org/10.1016/0038-0717(94)00242-s).

KOKORNACZYK, Maria Olga et al. Analysis of soils by means of Pfeiffer's circular chromatography test and comparison to chemical analysis results. *Biological Agriculture & Horticulture*, [s.l.], v. 33, n. 3, p.143-157, 3 ago. 2016. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/01448765.2016.1214889>.

KOKORNACZYK, M. O.; DINELLI, G.; BETTI, L.. Approximate bilateral symmetry in evaporation-induced polycrystalline structures from droplets of wheat grain leakages and fluctuating asymmetry as quality indicator. *Naturwissenschaften*, [s.l.], v. 100, n. 1, p.111-115, 24 nov. 2012. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s00114-012-0999-9>.

LEPSCH, Igor F.. 19 lições de pedologia. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 456 p.

LIMA, Herdjanira Veras de et al. Indicadores de qualidade do solo em sistemas de cultivo orgânico e convencional no semi-árido cearense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, [s.l.], v. 31, n. 5, p.1085-1098, out. 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832007000500024>.

LIRA, A.C. S. de. Comparação entre um povoamento de Eucalipto sob diferentes práticas de manejo e vegetação natural de cerradão, através da respiração, infiltração de água e mesofauna do solo. 1999. 70f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.: ESALQ,

MACHADO, Luiz Carlos Pinheiro; MACHADO FILHO, Luiz Carlos Pinheiro. *A Dialética da Agroecologia: contribuição para um mundo com alimentos sem veneno*. São Paulo: Expressão Popular, 2014. 360 p.

MARINARI, Sara et al. Chemical and biological indicators of soil quality in organic and conventional farming systems in Central Italy. *Ecological Indicators*, [s.l.], v. 6, n. 4, p.701-711, nov. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2005.08.029>.

MARKERT, Bernd; OEHLMANN, Jörg; ROTH, Mechthild. General Aspects of Heavy Metal Monitoring by Plants and Animals. *Acs Symposium Series*, [s.l.], p.19-29, 5 maio 1997. American Chemical Society. <http://dx.doi.org/10.1021/bk-1997-0654.ch002>.

MARTINAZZO, Rosane et al. Fósforo microbiano do solo sob sistema plantio direto em resposta à adição de fosfato solúvel. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, Belo Horizonte, v. 31, n. 1, p.563-570, 2007.

MELERO, Sebastiana et al. Chemical and biochemical properties in a silty loam soil under conventional and organic management. *Soil And Tillage Research*, [s.l.], v. 90, n. 1-2, p.162-170, nov. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2005.08.016>.

MIELNICZUK, J. et al. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURI, N. et al. *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v. 03. p. 209-248.

MOREIRA, Adônis; MALAVOLTA, Eurípedes. Dinâmica da matéria orgânica e da biomassa microbiana em solo submetido a diferentes sistemas de man. *Pesquisa Agropecuaria*, Brasília, v. 39, n. 11, p.1103-1110, nov. 2004.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J. O. *Microbiologia e bioquímica do solo*. 2a ed.; Universidade Federal de Lavras – MG: UFLA, 2006. 729 p.

MORITA, T.; ASSUNPÇÃO, R. M. V. *Manual de soluções, reagentes e solventes*. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1972. 629 p.

PIMENTEL, Márcio Sampaio et al. Seasonal response of edaphic bioindicators using green manure in Brazilian semi-arid conditions. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, v. 42, n. 4, p.829-836, out. 2011.

PFEIFFER, Ehrenfried e. *Chromatography Applied to Quality Testing*. Alemanha: Biodynamic Literatura, 1984.

PINHEIRO, Sebastião. *Cartilha da saúde do solo e inocuidade dos alimentos: cromatografia de Pfeiffer*. Rio Grande do Sul: Sales, 2011.

PINHEIRO, Sebastião. *Saúde do Solo: Biopoder camponês versus agronegócio*. Rio Grande do Sul: Salles Editora, 2015. 224 p.

PINHEIRO, Sebastião; BARRETO, Solon Barroso. O Fósforo na Agricultura. In: PINHEIRO, Sebastião; BARRETO, Solon Barroso. *MB-4: A agricultura sustentável, trofobiose e biofertilizantes*. 6. ed. Santa Catarina: Fundação Juquira Candiru, 2000. Cap. 8. p. 7-275.

POGGIANI, F.; LIMA, W de P.; BALLONI, E.A.; NICOLELLO, N. Respiração edáfica em plantações de coníferas e folhosas exóticas em área de cerrado de Estado de São Paulo. *IPEF*, Piracicaba, v.14, p. 129-148, 1977.

RIBEIRO, Manoel do Bonfim Dias. *A potencialidade do Semi-Árido Brasileiro: O Rio São Francisco transposição e revitalização - uma análise*. Brasília: Gráfica e Editora Qualidade, 2007.

RIVERA, Jairo Restrepo; PINHEIRO, Sebastião. *Cromatografía: imágenes de vida y destrucción del suelo*. Cali: Feriva, 2011. 252 p.

ROSS, D. J.; TATE, K. R.; N, P. C. D. N e W T O. Elevated CO₂ and temperature effects on soil carbon and nitrogen cycling in ryegrass/white clover turves of an Endoaquept soil. *Plant And Soi*, Netherland, v. 1, n. 176, p.37-49, abr. 1995.

SALCEDO, Ignacio H.; SAMPAIO, Everardo V S B. Matéria Orgânica no Bioma Caatinga. In: A SANTOS, Gabriel de et al. *Fundamentos da Matéria Orgânica o Solo: Ecossistemas Tropicais e Subtropicais*. 2. ed. Santa Catarina: Metropoli, 2008. Cap. 22. p. 1-635.

SAMPAIO, Deusiane Batista; ARAËJO, Ademir Sérgio Ferreira de; SANTOS, Valdinar Bezerra dos. Avaliação de indicadores biológicos de qualidade do solo sob sistemas de cultivo convencional e orgânico de frutas. *Ciência e Agrotecnologia*, [s.l.], v. 32, n. 2, p.353-359, abr. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-70542008000200001>.

SANTOS, Valdinar B. dos et al. Biomassa, atividade microbiana e teores de carbono e nitrogênio totais de um planossolo sob diferentes sistemas de manejo. *R. Bras. Agrociência*, Pelotas, v. 10, n. 3, p.333-338, abr. 2004.

SCHLENTNER, Robert E.; VAN CLEVE, Keith. Relationships between CO₂ evolution from soil, substrate temperature, and substrate moisture in four mature forest types in interior Alaska. *Canadian Journal Of Forest Research*, [s.l.], v. 15, n. 1, p.97-106, fev. 1985. Canadian Science Publishing. <http://dx.doi.org/10.1139/x85-018>.

SILVA, Versides Sebastião de Moraes *et al.* Manejo de florestas nativas: planejamento, implantação e monitoramento. Cuiabá: Universidade Federal de Mato Grosso, 2006. 114 p.

SILVA, Antonio Sousa et al. Propriedades físicas e químicas em diferentes usos do solo no Brejo Paraibano. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, [s.l.], v. 37, n. 4, p.1064-1072, ago. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832013000400023>.

SILVA, Gerônimo Ferreira da et al. *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. Caatinga, Mossoro, v. 28, n. 3, p.25-35, nov. 2015.

SILVA, Gerônimo Ferreira da et al. Indicadores de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso na mesorregião do Agreste paraibano. *Revista Caatinga*, [s.l.], v. 28, n. 3, p.25-35, set. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252015v28n303rc>.

SILVA, Eldir Bandeira et al. Levantamento da fertilidade dos solos da região Centro Sul do Ceará. *Tecnol. & Ciên. Agropec.*, João Pessoa, v. 10, n. 2, p.55-61, abr. 2016.

SINGH, J. S.; GUPTA, S. R. .. Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems. *The Botanical Review*, Colorado, v. 43, n. 4, p.449-528, dez. 1977.

TATE, K.R.; ROSS, D.J. Elevated CO₂ moisture effects on soil carbon storage and cycling in temperate grassland. *Glob. Change Biol*, v.3, p. 225-235, 1997

TRUMBORE, S. E.; CHADWICK, O. A.; AMUNDSON, R.. Rapid Exchange Between Soil Carbon and Atmospheric Carbon Dioxide Driven by Temperature Change. *Science*, [s.l.], v. 272, n. 5260, p.393-396, 19 abr. 1996. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <http://dx.doi.org/10.1126/science.272.5260.393>.

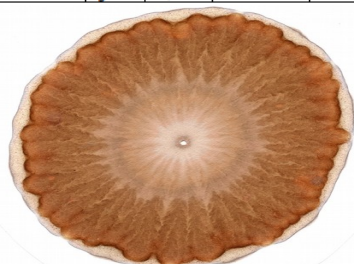
TSAI, S.M., CARDOSO, E.J.B.N., NEVES, M.C.P. Microbiologia do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: Campinas, 1992. 360p.

WALKER, T.w.; SYERS, J.k.. The fate of phosphorus during pedogenesis. *Geoderma*, [s.l.], v. 15, n. 1, p.1-19, jan. 1976. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0016-7061\(76\)90066-5](http://dx.doi.org/10.1016/0016-7061(76)90066-5).

YUSTE, J. Curiel et al. Microbial soil respiration and its dependency on carbon inputs, soil temperature and moisture. *Global Change Biology*, [s.l.], v. 13, n. 9, p.2018-2035, set. 2007. Wiley-Blackwell. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01415.x>.

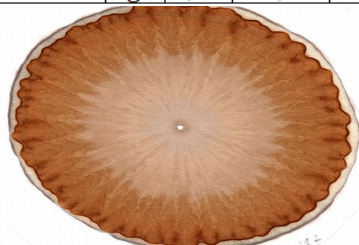
ANEXOS

Ambiente	m	pH	P	K	Na	H_Al	Al	Ca	Mg	SB	CTC	V	MO	Corg	CE
Mata	jul	4,53	19	56,67	0,09	5,17	0,28	1,30	1,97	3,50	8,67	40,38	47,06	27,30	0,19



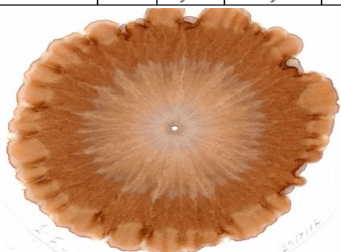
- ZC - SUFICIENTE atividade microbiana nos Ciclos do C, N, O e S.
- ZI - SUFICIENTE estrutura física e química do solo.
- ZE - DEFICIENTE metabolismo enzimático, proteico e hormonal

Ambiente	m	pH	P	K	Na	H_Al	Al	Ca	Mg	SB	CTC	V	MO	Corg	CE
Mata	ago	4,24	18,71	0,10	0,09	5,45	0,45	1,43	1,30	2,92	8,37	34,95	47,47	27,53	0,20



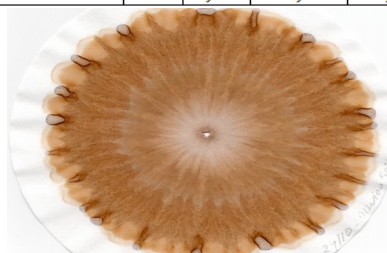
- ZC- SUFICIENTE atividade microbiana nos Ciclos do C, N, O e S.
- ZI- SUFICIENTE estruturas físicas e químicas no solo.
- ZE- DEFICIENTE metabolismo enzimático, proteico e hormonal

Ambiente	m	pH	P	K	Na	H_Al	Al	Ca	Mg	SB	CTC	V	MO	Corg	CE
Mata	set	4,44	18,26	0,09	0,09	5,23	0,33	2,20	0,90	3,27	8,50	38,40	48,15	27,93	0,16



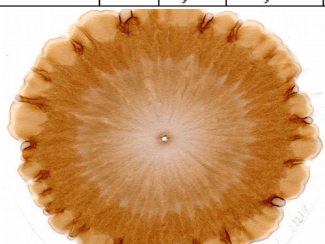
- ZC- SUFICIENTE atividade microbiana nos Ciclos do C, N, O e S.
- ZI- SUFICIENTE estruturas físicas e químicas no solo.
- ZE- SUFICIENTE metabolismo enzimático, proteico e hormonal .

Ambiente	m	pH	P	K	Na	H_Al	Al	Ca	Mg	SB	CTC	V	MO	Corg	CE
Mata	out	4,59	12,67	0,16	0,07	3,19	0,52	1,57	1,63	3,43	6,62	51,98	68,60	39,79	0,21



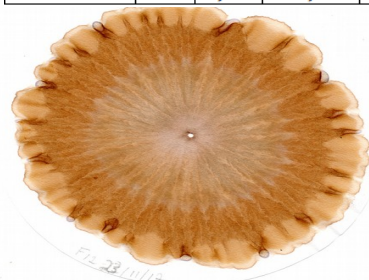
- ZC- EXCELENTE atividade microbiana nos Ciclos do C, N, O e S.
- ZI- EXCELENTE estruturas físicas e químicas no solo.
- ZE- EXCELENTE metabolismo enzimático, proteico e hormonal

Ambiente	m	pH	P	K	Na	H_Al	Al	Ca	Mg	SB	CTC	V	MO	Corg	CE
Mata	nov	4,50	9,57	0,16	0,04	1,32	0,43	1,73	1,70	3,64	4,96	73,30	68,48	39,72	0,27



- ZC- EXCELENTE atividade microbiana nos Ciclos do C, N, O e S.
- ZI- SUFICIENTE estruturas físicas e químicas no solo.
- ZE- SUFICIENTE metabolismo enzimático, proteico e hormonal .

Ambiente	m	pH	P	K	Na	H_Al	Al	Ca	Mg	SB	CTC	V	MO	Corg	CE
Mata	dez	4,50	15,85	0,19	0,07	3,30	0,37	1,67	2,23	4,17	7,47	56,29	68,96	40	0,30



- ZC- SUFICIENTE atividade microbiana nos Ciclos do C, N, O e S.
- ZI- EXCELENTE estruturas físicas e químicas no solo.
- ZE- EXCELENTE metabolismo enzimático, proteico e hormonal

Anexo 1A: Quadro comparativo com a sequencia dos cromatogramas do solo do ambiente de mata (M), por mês, com suas respectivas análises química de fertilidade e classificação qualitativa da análise visual: ZC – zona central, ZI – zona interna, ZE – zona externa

Ambiente	m	pH	P	K	Na	H_Al	Al	Ca	Mg	SB	CTC	V	MO	Corg	CE
Pastagem	jul	5,26	16,16	20	0	0,27	0	0,60	0,80	1,45	1,73	84,08	11,65	6,75	0,08



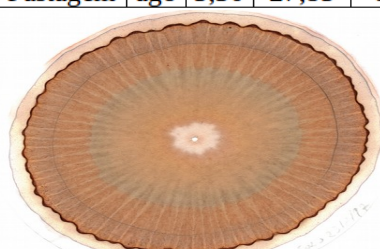
- ZC- DEFICIENTE atividade microbiana e ciclos do C, N, O e S
- ZI- DEFICIENTE estrutura física e química do solo.
- ZE- DEFICIENTE metabolismo enzimático, proteico e hormonal

Ambiente	m	pH	P	K	Na	H_Al	Al	Ca	Mg	SB	CTC	V	MO	Corg	CE
Pastagem	ago	5,30	27,85	0,05	0	0,66	0	0,83	1,20	2,08	2,75	77,14	14,30	8,30	0,08



- ZC- SUFICIENTE atividade microbiana nos Ciclos do C, N, O e S.
- ZI- DEFICIENTE estruturas físicas e químicas no solo.
- ZE- DEFICIENTE metabolismo enzimático, proteico e hormonal

Ambiente	m	pH	P	K	Na	H_Al	Al	Ca	Mg	SB	CTC	V	MO	Corg	CE
Pastagem	ago	5,30	27,85	0,05	0	0,66	0	0,83	1,20	2,08	2,75	77,14	14,30	8,30	0,08



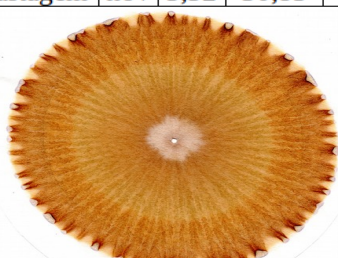
- ZC- SUFICIENTE atividade microbiana nos Ciclos do C, N, O e S.
- ZI- DEFICIENTE estruturas físicas e químicas no solo.
- ZE- DEFICIENTE metabolismo enzimático, proteico e hormonal

Ambiente	m	pH	P	K	Na	H_Al	Al	Ca	Mg	SB	CTC	V	MO	Corg	CE
Pastagem	out	5,50	17,59	0,10	0,02	1,76	0,05	0,73	1,57	2,42	4,18	57,20	19,61	11,37	0,08



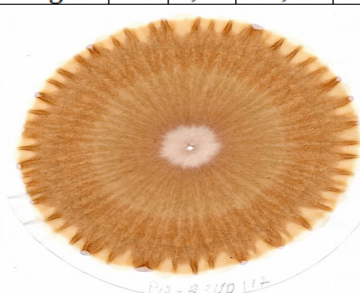
- ZC- SUFICIENTE atividade microbiana nos Ciclos do C, N, O e S.
- ZI- SUFICIENTE estruturas físicas e químicas no solo.
- ZE- DEFICIENTE metabolismo enzimático, proteico e hormonal

Ambiente	m	pH	P	K	Na	H_Al	Al	Ca	Mg	SB	CTC	V	MO	Corg	CE
Pastagem	nov	5,52	30,83	0,10	0,01	0,72	0,05	0,70	1,23	2,05	2,76	74,82	20,51	11,90	0,08



- ZC- SUFICIENTE atividade microbiana nos Ciclos do C, N, O e S.
- ZI- SUFICIENTE estruturas físicas e químicas no solo.
- ZE- SUFICIENTE metabolismo enzimático, proteico e hormonal .

Ambiente	m	pH	P	K	Na	H_Al	Al	Ca	Mg	SB	CTC	V	MO	Corg	CE
Pastagem	dez	5,90	55,31	0,23	0,02	1,32	0	1,10	0,90	2,25	3,57	63,02	17,45	10,12	0,20



- ZC- SUFICIENTE atividade microbiana nos Ciclos do C, N, O e S.
- ZI- SUFICIENTE estruturas físicas e químicas no solo.
- ZE- SUFICIENTE metabolismo enzimático, proteico e hormonal .

Anexo 1B: Quadro comparativo com a sequência dos cromatogramas do solo do ambiente de pastagem (P), por mês, com suas respectivas análises químicas de fertilidade e classificação qualitativa da análise visual: ZC – zona central, ZI – zona interna, ZE – zona externa

Ambiente	m	pH	P	K	Na	H_Al	Al	Ca	Mg	SB	CTC	V	MO	Corg	CE
Orgânico	jul	6,18	104,48	50	0,09	0,66	0	4,17	2,20	6,58	7,24	90,85	38,28	22,20	0,20



- ZC- SUFICIENTE atividade microbiana nos Ciclos do C, N, O e S.
- ZI- SUFICIENTE estrutura física e química do solo.
- ZE- DEFICIENTE metabolismo enzimático, proteico e hormonal

Ambiente	m	pH	P	K	Na	H_Al	Al	Ca	Mg	SB	CTC	V	MO	Corg	CE
Orgânico	ago	6,35	67,67	0,15	0,09	0,49	0	5	2,37	7,61	8,10	93,93	37,22	21,59	0,22



- ZC- EXCELENTE atividade microbiana nos Ciclos do C, N, O e S.
- ZI- SUFICIENTE estruturas físicas e químicas no solo.
- ZE- DEFICIENTE metabolismo enzimático, proteico e hormonal

Ambiente	m	pH	P	K	Na	H_Al	Al	Ca	Mg	SB	CTC	V	MO	Corg	CE
Orgânico	set	6,59	69,04	0,32	0,13	1,54	0	4,03	2,17	6,65	8,19	81,33	38,62	22,40	0,34



- ZC- EXCELENTE atividade microbiana nos Ciclos do C, N, O e S.
- ZI- SUFICIENTE estruturas físicas e químicas no solo.
- ZE- DEFICIENTE metabolismo enzimático, proteico e hormonal

Ambiente	m	pH	P	K	Na	H_Al	Al	Ca	Mg	SB	CTC	V	MO	Corg	CE
Orgânico	out	6,96	76,35	0,33	0,19	0,88	0	4,50	2,53	7,56	8,44	89,70	67,40	39,10	0,35



- ZC- EXCELENTE atividade microbiana nos Ciclos do C, N, O e S.
- ZI- SUFICIENTE estruturas físicas e químicas no solo.
- ZE- DEFICIENTE metabolismo enzimático, proteico e hormonal

Ambiente	m	pH	P	K	Na	H_Al	Al	Ca	Mg	SB	CTC	V	MO	Corg	CE
Orgânico	nov	6,90	96,26	0,35	0,15	0,88	0	4,20	2,70	7,41	8,28	89,42	40,54	23,51	0,35



- ZC- SUFICIENTE atividade microbiana nos Ciclos do C, N, O e S.
- ZI- SUFICIENTE estruturas físicas e químicas no solo.
- ZE- DEFICIENTE metabolismo enzimático, proteico e hormonal

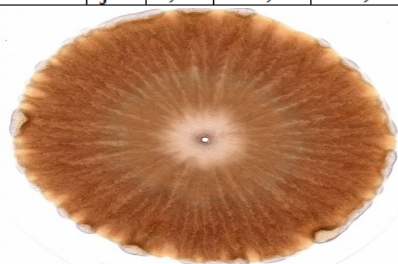
Ambiente	m	pH	P	K	Na	H_Al	Al	Ca	Mg	SB	CTC	V	MO	Corg	CE
Orgânico	dez	6,91	85,90	0,34	0,21	0,55	0	3,77	2,90	7,21	7,76	93,23	38,02	22,05	0,33



- ZC- SUFICIENTE atividade microbiana nos Ciclos do C, N, O e S.
- ZI- SUFICIENTE estruturas físicas e químicas no solo.
- ZE- SUFICIENTE metabolismo enzimático, proteico e hormonal .

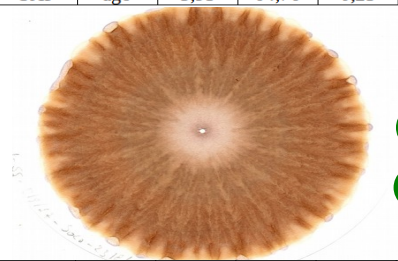
Anexo 1C: Quadro comparativo com a sequencia dos cromatogramas do solo do ambiente de produção organica (O), por mês, com suas respectivas análises química de fertilidade e classificação qualitativa da análise visual: ZC – zona central, ZI – zona interna, ZE – zona externa

Ambiente	m	pH	P	K	Na	H_Al	Al	Ca	Mg	SB	CTC	V	MO	Corg	CE
SAF	jul	6,00	118,37	106,67	0,04	1,43	0,05	2,63	3,13	6,08	7,51	81,23	37,83	21,95	0,29



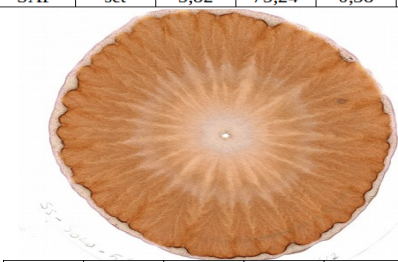
- ZC- EXCELENTE atividades microbianas nos Ciclos do C, N, O e S.
- ZI- EXCELENTE estrutura física e química do solo.
- ZE- SUFICIENTE metabolismo enzimático, proteico e hormonal

Ambiente	m	pH	P	K	Na	H_Al	Al	Ca	Mg	SB	CTC	V	MO	Corg	CE
SAF	ago	5,93	64,76	0,23	0,04	1,87	0,05	3,33	4,27	7,87	9,74	80,90	38,52	22,34	0,31



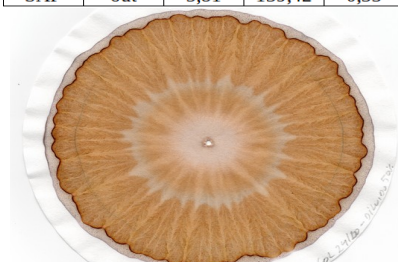
- ZC- EXCELENTE atividade microbiana nos Ciclos do C, N, O e S..
- ZI- EXCELENTE estruturas físicas e químicas no solo.
- ZE-EXCELENTE metabolismo enzimático, proteico e hormonal

Ambiente	m	pH	P	K	Na	H_Al	Al	Ca	Mg	SB	CTC	V	MO	Corg	CE
SAF	set	5,82	75,24	0,38	0,04	2,59	0,05	2,37	2,50	5,18	7,49	69,71	37,77	21,91	0,52



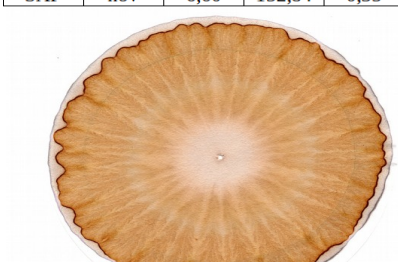
- ZC- EXCELENTE atividade microbiana nos Ciclos do C, N, O e S.
- ZI- SUFICIENTE estruturas físicas e químicas no solo.
- ZE- DEFICIENTE metabolismo enzimático, proteico e hormonal

Ambiente	m	pH	P	K	Na	H_Al	Al	Ca	Mg	SB	CTC	V	MO	Corg	CE
SAF	out	5,81	139,42	0,33	0,06	3,30	0,05	2,17	2,67	5,23	8,53	61,60	39,28	22,78	0,47



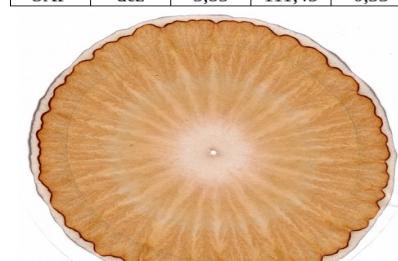
- ZC- EXCELENTE atividade microbiana nos Ciclos do C, N, O e S.
- ZI- SUFICIENTE estruturas físicas e químicas no solo.
- ZE- DEFICIENTE metabolismo enzimático, proteico e hormonal

Ambiente	m	pH	P	K	Na	H_Al	Al	Ca	Mg	SB	CTC	V	MO	Corg	CE
SAF	nov	6,60	152,84	0,35	0,06	1,82	0	4,20	4,80	9,41	11,22	83,89	67,64	39,23	0,63



- ZC- EXCELENTE atividade microbiana nos Ciclos do C, N, O e S.
- ZI- SUFICIENTE estruturas físicas e químicas no solo.
- ZE- DEFICIENTE metabolismo enzimático, proteico e hormonal

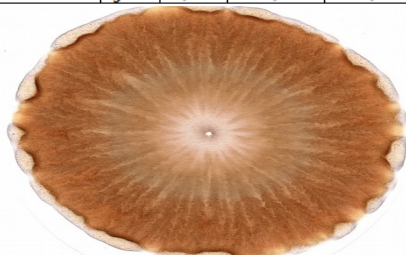
Ambiente	m	pH	P	K	Na	H_Al	Al	Ca	Mg	SB	CTC	V	MO	Corg	CE
SAF	dez	5,85	111,45	0,33	0,06	0,28	0	2,70	2,47	5,56	5,83	95,32	66,56	38,61	0,48



- ZC- EXCELENTE atividade microbiana nos Ciclos do C, N, O e S.
- ZI- SUFICIENTE estruturas físicas e químicas no solo.
- ZE- DEFICIENTE metabolismo enzimático, proteico e hormonal

Anexo 1D: Quadro comparativo com a sequencia dos cromatogramas do solo do ambiente de sistema agroflorestal (SAF), por mês, com suas respectivas análises química de fertilidade e classificação qualitativa da análise visual: ZC – zona central, ZI – zona interna, ZE – zona externa

Ambiente	m	pH	P	K	Na	H_Al	Al	Ca	Mg	SB	CTC	V	MO	Corg	CE
Café	jul	4,86	22,14	33,33	0,04	4,51	0,10	1,97	1,30	3,40	7,91	42,99	41,92	24,31	0,14



- ZC- EXCELENTE atividades microbianas nos Ciclos do C, N, O e S.
- ZI- EXCELENTE estrutura física e química do solo.
- ZE- SUFICIENTE metabolismo enzimático, proteico e hormonal

Ambiente	m	pH	P	K	Na	H_Al	Al	Ca	Mg	SB	CTC	V	MO	Corg	CE
Café	ago	4,65	18,01	0,05	0,04	4,57	0,17	2,03	1,70	3,82	8,39	45,56	48,56	28,17	0,16



- ZC- SUFICIENTE atividade microbiana nos Ciclos do C, N, O e S.
- ZI- SUFICIENTE estruturas físicas e químicas no solo.
- ZE- SUFICIENTE metabolismo enzimático, proteico e hormonal .

Ambiente	m	pH	P	K	Na	H_Al	Al	Ca	Mg	SB	CTC	V	MO	Corg	CE
Café	set	4,79	23,99	0,03	0,04	4,57	0,17	1,63	1,23	2,94	7,50	39,19	40,59	23,55	0,10



- ZC- SUFICIENTE atividade microbiana nos Ciclos do C, N, O e S.
- ZI- DEFICIENTE estruturas físicas e químicas no solo.
- ZE- SUFICIENTE metabolismo enzimático, proteico e hormonal .

Ambiente	m	pH	P	K	Na	H_Al	Al	Ca	Mg	SB	CTC	V	MO	Corg	CE
Café	out	4,92	12,63	0,10	0,04	1,27	0,20	1,63	1,80	3,58	4,85	74,29	67,40	39,10	0,17



- ZC- EXCELENTE atividade microbiana nos Ciclos do C, N, O e S.
- ZI- SUFICIENTE estruturas físicas e químicas no solo.
- ZE- DEFICIENTE metabolismo enzimático, proteico e hormonal

Ambiente	m	pH	P	K	Na	H_Al	Al	Ca	Mg	SB	CTC	V	MO	Corg	CE
Café	nov	5,07	14,28	0,18	0,04	1,27	0,10	2	2,10	4,32	5,58	80,31	68,84	39,93	0,35



- ZC- SUFICIENTE atividade microbiana nos Ciclos do C, N, O e S.
- ZI- SUFICIENTE estruturas físicas e químicas no solo.
- ZE- DEFICIENTE metabolismo enzimático, proteico e hormonal

Ambiente	m	pH	P	K	Na	H_Al	Al	Ca	Mg	SB	CTC	V	MO	Corg	CE
Café	dez	4,77	27,18	0,10	0,03	0,16	0,20	1,70	1,43	3,26	3,43	95,32	39,76	23,06	0,27



- ZC- EXCELENTE atividade microbiana nos Ciclos do C, N, O e S.
- ZI- SUFICIENTE estruturas físicas e químicas no solo.
- ZE- SUFICIENTE metabolismo enzimático, proteico e hormonal .

Anexo 1E: Quadro comparativo com a sequencia dos cromatogramas do solo do ambiente de sistema de produção de café sombreado (SC), por mês, com suas respectivas análises química de fertilidade e classificação qualitativa da análise visual: ZC – zona central, ZI – zona interna, ZE – zona externa



Anexo 1F: Análise de regressão logística das categorias cromatográficas em função do ambientes com diferentes formas de uso e dos meses de avaliação. Categorias: 1 = ausência; 2 = baixa; 3 = baixa-média; 4 = média-alta; 5= alta. C = cor, ZC = zona central, Int = interação entre zonas, Rad = formações radiais, ZE = zona externa.

Ambientes	Mes	pH	P	K	H+Al	Ca	Mg	SB	CTC	V	MO	CE	Corg
			mg/dm3				cmolc/dm3			%	g/Kg	dS/m	g/Kg
Mata		4,52 eC	18,61 cB	56,66 bE	5,17 aB	1,3 bB	1,96 bcBC	3,49 bCD	8,67 aB	40,38 bB	47,06 aD	0,18 bcC	27,29 aB
Pastagem		5,26 cC	16,16 cB	20,00 dE	0,27 bB	0,6 cB	0,80 dBC	1,45 cCD	1,72 dB	84,07 aB	11,64 dD	0,07 dC	6,70 dB
Orgânico	jul	6,18 aC	104,48 bB	50,00 bE	0,66 bB	4,16 aB	2,20 bBC	6,57 aCD	7,24 cB	90,85 aB	38,27 cD	0,19 bC	22,20 bB
Café		4,86 dC	22,14 cB	33,33 cE	4,51 aB	1,96 cB	1,30 cdBC	3,39 bCD	7,90 abB	42,99 bB	41,92 bD	0,14 cC	24,31 cB
SAF		5,99 bC	118,37 aB	106,66 aE	1,43 bB	2,63 bB	3,13 aBC	6,08 aCD	7,51 abB	81,23 aB	37,83 cD	0,29 aC	21,94 cB
Mata		4,24 eD	18,71 cE	40,00 cF	5,44 aAB	1,43 bA	1,30 cAB	2,92 cB	8,36 bA	34,95 cB	47,47 aC	0,20 bcC	27,53 aE
Pastagem		5,30 cD	27,85 bE	20,00 cF	0,66 cAB	0,83 cA	1,20 cAB	2,08 dB	2,74 cA	77,13 bB	14,30 cC	0,08 dC	8,29 cE
Orgânico	ago	6,34 aD	67,67 aE	6,00 bF	0,49 cAB	5,00 aA	2,36 bAB	7,60 aB	8,10 bA	93,92 aB	37,22 bC	0,21 bC	21,59 bE
Café		4,64 dD	18,01 cE	20,00dE	4,57 aAB	2,03 cA	1,7bcAB	3,82 bB	8,39 bA	45,56 cB	48,56 aC	0,15 cC	28,16 aE
SAF		5,93 bD	64,75 aE	90,00 aE	1,87 bAB	3,33 bA	4,26 aAB	7,87 aB	9,74 aA	80,90 abB	38,51 bC	0,30 aC	22,34 bE
Mata		4,43 eC	18,25 cD	33,33 cD	5,22 aA	2,2 bB	0,90 cC	3,27 cD	8,49 aAB	38,39 cC	48,15 aD	0,16 cB	27,93 aD
Pastagem		5,50 cC	30,64 bD	20,00 dD	1,10 cA	0,76 bB	1,23 cC	2,05 dD	3,15 bAB	64,85 bC	12,80 dD	0,06 dB	7,43 dD
Orgânico	set	6,59 aC	69,03 aD	123,33 bD	1,45 bcA	4,03 aB	2,16 aC	6,64 aD	8,18 aAB	81,33 aC	38,61 cD	0,34 bB	22,4 cD
Café		4,79 dC	23,99 bcD	10,00 eD	4,56 aA	1,63 cB	1,23 cC	2,93 cD	7,50 aAB	39,18 cC	40,59 bD	0,10 dB	23,54 bD
SAF		5,82 bC	75,23 aD	146,66 aD	2,58 bA	2,36 bB	2,50 aC	5,18 bD	7,49 aAB	69,71 abC	37,76 cD	0,52 aB	21,9 cD
Mata		4,58 eB	12,66 cC	64,09 dC	3,19 aB	1,56 cB	1,63 cB	3,43 cC	6,62 bB	51,98 cB	68,60 aB	0,20 cB	39,79 aC
Pastagem		5,50 cB	17,59 cC	39,26 cC	1,76 bB	0,73 bB	1,56 cB	2,42 dC	4,17 cB	57,20 cC	19,61 cB	0,07 dB	11,37 cC
Orgânico	out	6,69 aB	76,35 bC	130,26 aC	0,88 bB	4,50 aB	2,53 abB	7,55 aC	8,43 aB	89,69 aC	67,40 aB	0,35 bB	39,09 aC
Café		4,92 dB	12,63 cC	40,43 cC	1,26 bB	1,63 cB	1,80 bcB	3,58 cC	4,84 cB	74,28 bC	67,40 aB	0,17 cB	39,09 aC
SAF		5,81 bB	139,42 aC	129,48 aC	3,30 aB	2,16 bB	2,66 aB	5,22 bC	8,52 aB	61,60 bcC	39,28 bB	0,47 aB	22,78 bC
Mata		4,50 eA	9,5 dA	61,62 bB	1,32 aC	1,73 cA	1,70 cDA	3,63 cA	4,95 cB	73,30cA	68,48 aA	0,26 cA	39,72 aA
Pastagem		5,52 cA	30,83 cA	40,56 cB	0,71 aC	0,70 bA	1,23 dA	2,04 dA	2,76 bB	74,82 abA	20,51 cA	0,08 dA	11,89 cA
Orgânico	nov	6,90 aA	96,25 bA	137,80 aB	0,88 aC	4,2 aA	2,70 bA	7,40 bA	8,28 bB	89,42 aA	40,54 bA	0,35 bA	23,51 bA
Café		5,06 dA	14,27 dA	69,16bB	1,26 aC	2,00 cA	2,10 bcA	4,32 cA	5,58 cB	80,31 abA	68,84 aA	0,34 bA	39,93 aA
SAF		6,60 bA	152,84 aA	137,46 aB	1,82 aC	4,20 aA	4,80 aA	9,40 aA	11,21 aB	83,88 abA	67,64 aA	0,63 aA	39,23 aA
Mata		4,49 dB	15,85 cAB	75,01 cA	3,30 aC	1,66 cB	2,23 abBC	4,17 cC	7,47 aC	56,29 bA	68,96 aB	0,30 bcA	40,00 aAB
Pastagem		5,90 bB	55,31 cAB	90,87 bA	1,32 bC	1,10 dB	0,90 cBC	2,25 eC	3,57 cC	63,02 bA	17,45 eB	0,20 dA	10,12 eAB
Orgânico	dez	6,91 aB	85,90 bAB	131,43 aA	0,55 bC	3,76 bB	2,90 aBC	7,21 aC	7,76 aC	93,23 aA	38,02 dB	0,33 bA	22,05 dAB
Café		4,77 cB	27,17 dAB	39,13 dA	0,16 bC	1,70 cB	1,43 bcBC	3,26 dC	3,42 cC	95,32 aA	39,76 cB	0,27 cA	23,06 cAB
SAF		5,84 bB	111,45 aAB	130,39 aA	0,27 bC	2,70 bB	2,46 aBC	5,55 bC	5,83 bC	93,23 aA	66,56 bB	0,48 aA	38,61 bAB

Anexo 1G: Teores de Ca, Mg, K, P, MO, carbono orgânico(Corg),soma de bases (SB) e saturação por bases (V), e valores de pH, acidez potencial (H^+Al^{+3}) e condutividade elétrica (CE) sob áreas de mata (M), pastagem (P), produção orgânica (O), produção de café sombreado (SC) e sistema agroflorestal (SAF), em diferentes profundidades do solo