



OSNAR OBEDE DA SILVA ARAGÃO

**INDICADORES MICROBIOLÓGICOS DE QUALIDADE DO
SOLO ESTÃO RELACIONADOS COM MAIORES
PRODUTIVIDADES DO CAFEIEIRO NO CERRADO MINEIRO**

**LAVRAS - MG
2018**

OSNAR OBEDE DA SILVA ARAGÃO

**INDICADORES MICROBIOLÓGICOS DE QUALIDADE DO SOLO ESTÃO
RELACIONADOS COM MAIORES PRODUTIVIDADES DO CAFEIEIRO NO
CERRADO MINEIRO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração: Biologia, Microbiologia e Processos Biológicos do Solo, para a obtenção do título de Mestre.

Professora Dra. Fatima Maria de Souza Moreira

Orientadora

Dra. Silvia Maria de Oliveira Longatti

Coorientadora

**LAVRAS - MG
2018**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo (a) próprio(a) autor(a).**

Aragão, Osnar Obede da Silva.

Indicadores microbiológicos de qualidade do solo estão relacionados com maiores produtividades do cafeeiro no cerrado mineiro / Osnar Obede da Silva Aragão. - 2018.

74 p.

Orientador(a): Fatima Maria de Souza Moreira.

Coorientador(a): Silvia Maria de Oliveira Longatti.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2018.

Bibliografia.

1. Qualidade do solo. 2. Bioindicadores. 3. *Coffea arabica* L. I. Moreira, Fatima Maria de Souza. II. de Oliveira Longatti, Silvia Maria. III. Título.

OSNAR OBEDE DA SILVA ARAGÃO

**INDICADORES MICROBIOLÓGICOS DE QUALIDADE DO SOLO ESTÃO
RELACIONADOS COM MAIORES PRODUTIVIDADES DO CAFEIEIRO NO
CERRADO MINEIRO**

**MICROBIOLOGICAL INDICATORS OF SOIL QUALITY ARE RELATED TO
HIGHEST COFFEE YIELDS IN THE CERRADO REGION OF MINAS GERAIS
STATE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração: Biologia, Microbiologia e Processos Biológicos do Solo, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 13 de julho de 2018.

Dr. Gladyston Rodrigues Carvalho - EPAMIG

Dr. Teotonio Soares de Carvalho - UFLA

Professora Dra. Fatima Maria de Souza Moreira

Orientadora

Dra. Silvia Maria de Oliveira Longatti

Coorientadora

LAVRAS - MG

2018

À mulher da minha vida, minha mãe Maria Mirtes Lopes da Silva, expressão maior do meu amor e carinho, que me deu o alicerce, ótima criação e educação dentro e fora de suas possibilidades.

Ao meu grande pai, João Balieiro de Souza Aragão, exemplo de homem trabalhador, íntegro, simples e honesto, por quem tenho grande amor.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Antes de iniciar os agradecimentos, gostaria de apresentar escusas se por ventura esquecer de citar algum nome de quem direta e / ou indiretamente foi cooperador para que essa etapa de um sonho se tornasse realidade. Dividirei meus agradecimentos em quatro instantes que considero de fundamental importância nessa realização.

Primeiramente gostaria de agradecer ao meu **Deus** por seu carinho, bondade e cuidado, o qual me abençoa continuamente me dando forças, encorajamento e esperança para lidar com os momentos de dificuldades nessa caminhada. Que cuidou de mim com seu braço forte e grande amor.

Gostaria de agradecer a minha Família representada pela minha Mãe, Dona **Maria Mirtes Lopes da Silva** que mesmo estando a quase quatro mil quilômetros, em nenhum momento se esquece de orar por mim, fazendo votos de saúde e continuado êxito, que entende o motivo pelo qual estudo tão longe, e mesmo com lágrimas em seu rosto me apoia em todos os aspectos.

Agradecer meu Pai **João Balieiro de Souza Aragão** por ser meu exemplo de homem honesto, íntegro e muito trabalhador, que de seu jeito muito particular tem me ajudado em todos os aspectos na realização dos meus objetivos, ambos dos quais tenho muito orgulho e admiração por serem o alicerce dos meus princípios como pessoa.

Agradecer as minhas irmãs **Osmaluce Aragão, Osmarina Aragão, Horrana Aragão, Sabina Aragão** e aos meus irmãos **Rodrigo Cantão e Geovane Bruno** por serem integrantes fiéis de uma torcida de incentivadores e apoiadores dos meus sonhos.

Gostaria de agradecer a minha namorada **Paula Godinho Ribeiro** pelo carinho e amor e por compartilhar os momentos de alegria e de luta vividos nessa etapa, me ajudando em tudo que podia e me incentivando no dia a dia.

Agradecer a equipe que contribuiu mais diretamente com esse trabalho: **Silvia Longatti, Polyana Caputo, Diego Araújo, Márcia Rufini, Amanda Azarias, Aline Silva, Raquel Melo, André Souza, Rafael** e todos os **técnicos** dos laboratórios do Departamento.

Agradecer a um amigo, por quem guardo muita admiração e tenho muita consideração **Ederson Jesus**, por todo apoio dado, incluindo desde ajudas financeiras, até os precisos conselhos dados em momentos de incertezas.

Agradecer a todos os **amigos** do setor Microbiologia do solo da Universidade Federal de Lavras-UFLA

Agradecer à (UFLA) e ao Programa de Pós-graduação em Ciência do solo pela oportunidade, acolhimento e apoio, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo auxílio financeiro necessário para a realização desse trabalho.

Agradecer a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) em nome do pesquisador **Gladyston Carvalho** e do gerente do campo experimental de Patrocínio, seu **Jaime** por todo o apoio dispensado.

Agradecer a minha Orientadora Professora **Fatima Moreira** por todo apoio e orientações dadas no decorrer deste trabalho.

RESUMO

Os indicadores microbiológicos podem ser úteis para prever as taxas e a direção das mudanças na qualidade do solo. A avaliação desses indicadores pode orientar os agricultores em sua decisão sobre como gerenciar seus sistemas de produção, resultando em maior qualidade do solo e, conseqüentemente, em melhor produção de culturas. Entre estes, está o sistema de produção de café, que tem grande importância econômica e social no Brasil e no mundo. O café é uma cultura importante no estado de Minas Gerais, o estado com a maior produção do país. O objetivo deste trabalho foi avaliar a relação dos indicadores físico-químicos e microbiológicos do solo com rendimento de diferentes cultivares de café na região do cerrado mineiro, Brasil. O trabalho foi realizado com amostras de solo coletadas na mesorregião do Alto Paranaíba (18 ° 59 '26 "S e 46 ° 58 '9.5" W). As amostras do primeiro estudo foram coletadas no período seco e úmido, e foram obtidas de seis talhões com produtividades diferentes. Dois da cultivar Catuai Vermelho IAC 99, dois da Catuai Vermelho IAC 144 e dois da Rubi MG 1192 , cada cultivar com um talhão de maior e menor produtividade. No segundo estudo foram coletadas amostras de quatro talhões com produtividades diferentes, porém da mesma cultivar. As produtividades das cultivares foram obtidas pela média das safras 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017. O procedimento experimental consistiu na coleta de cinco amostras compostas em cada talhão, estas foram formadas agrupando-se quatro subamostras tomadas a uma profundidade de 0-10 cm na projeção da copa da planta. Os seguintes atributos microbiológicos foram avaliados: Carbono da biomassa microbiana, respiração basal e induzida, quociente metabólico, atividades das enzimas urease, β -glucosidase, arilsulfatase e hidrólise do diacetato de fluoresceína. Os atributos químicos e físicos foram: textura, pH, matéria orgânica e nutrientes. Os dados foram submetidos à análise de variância e, após validação do modelo estatístico, as médias foram agrupadas pelo algoritmo Scott Knott a 5 % de significância. Posteriormente, os valores dos atributos físicos, químicos e biológicos foram avaliados por análises de componentes principais (PCA). Os indicadores microbianos permitiram discriminar, principalmente na época seca, talhões com diferentes níveis de produtividade e foram positivamente relacionados com as maiores produtividades do cafeeiro. As condições climáticas influenciaram as respostas e devem ser consideradas na avaliação e elaboração de índices de qualidade do solo. Os atributos físico-químicos não apresentaram potencial de discriminar diferentes produtividades e estavam muito superiores ao requerido pela cultura.

Palavras chaves: Qualidade do solo. Bioindicadores. *Coffea arabica* L.

ABSTRACT

Microbiological indicators can be useful in predicting rates and direction of changes in soil quality. The evaluation of these indicators can guide farmers in their decision on how to manage their production systems, resulting in higher soil quality and, consequently, better crop production. Among these is the coffee production system, which has great economic and social importance in Brazil and in the world. Coffee is an important crop in the Minas Gerais state, the state with the largest production in the country. The objective of this work was to evaluate the relationship between physical, chemical and microbiological soil indicators with different coffee cultivars yield in the cerrado region of Minas Gerais, Brazil. The work was carried out with soil samples collected in the Alto Paranaíba mesorregion (18 ° 59 '26 "S and 46 ° 58' 9.5" W). The samples from the first study were collected in the dry and wet period, and were obtained from six plots with different productivities. Two cultivars of Catuai Vermelho IAC 99, two from Catuaí Vermelho IAC 144 and two from Rubi MG 1192, each cultivar with one plot of higher and lower productivity. In the second study, samples were collected from four plots with different yields, but from the same cultivar. The cultivars yields were obtained by the average of the 2014/2015, 2015/2016 and 2016/2017 harvests. The experimental procedure consisted of the collection of five composite samples in each plot, these were formed by grouping four sub-samples taken at a depth of 0-10 cm in the crown projection of the plant. The following microbiological attributes were evaluated: microbial biomass carbon, basal and induced respiration, metabolic quotient, activities of the enzymes urease, β -glucosidase, arilsulfatase and hydrolysis of fluorescein diacetate. The chemical and physical attributes were: texture, pH, organic matter and nutrients. The data were submitted to analysis of variance and, after validation of the statistical model, the averages were grouped by the Scott Knott algorithm at 5% of significance. Subsequently, the values of the physical, chemical and biological attributes were evaluated by Principal Component Analysis (PCA). The microbial indicators allowed to discriminate, mainly in the dry season, fields with different levels of productivity and were positively related to the higher productivities of the coffee plant. The climatic conditions influenced the responses and should be considered in the evaluation and elaboration of soil quality indexes. The physical-chemical attributes did not present the potential to discriminate different productivities and were much higher than the one required by the culture.

Keywords: Soil quality. Microbiological indicatrs. *Coffea arabica* L

LISTA DE FIGURAS E ILUSTRAÇÕES

Figura 01: Ilustração do procedimento de coleta das amostras de solo no campo experimental de Patrocínio - MG -----	18
Figura 02: Exemplo de um dessecador com amostras de solo e clorofórmio para incubação -----	21
Figura 03: Frascos usados para incubação contendo amostra de solo e NaOH em copos descartáveis -----	22
Figura 04: Imagem do microdestilador antes e durante o processo de destilação ---	23
Figura 05: Imagem de recipientes com amostras de solo incubadas com solução de fosfato de sódio -----	25
Figura 06: Imagem ilustrativa do processo de filtragem de extrato do solo em papel filtro Whatman nº 42 -----	26
Figura 07: Análise de componentes principais (PCA) em talhões de café com diferentes níveis de produtividade. -----	45
Figura 08: Análise de componentes principais (PCA) em talhões de café da cultivar Catuaí 144 com diferentes níveis de produtividades-----	50
Figura 09: Gráficos de Carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal (RB), quociente metabólico (qCO_2) e teor de matéria orgânica nos talhões períodos seco e úmido nos diferentes talhões de café-----	54
Figura 10: Gráficos de atividade enzimática e hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA) no período seco e úmido-----	58
Figura 11: Matriz de correlação dos atributos microbiológicos no período seco-----	70
Figura 12: Matriz de correlação dos atributos microbiológicos no período úmido----	71

Figura 13: Matriz de correlação dos atributos físicos e químicos no período seco---	72
Figura 14: Matriz de correlação dos atributos físicos e químicos no período úmido-	73
Figura 15: Matriz de correlação dos atributos microbiológicos para mesma cultivar	74
Figura 16: Matriz de correlação dos atributos microbiológicos para mesma cultivar-	75

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1: Produtividade dos talhões selecionados para o primeiro estudo com de diferentes cultivares----- 23
- Tabela 2: Produtividade dos talhões selecionados para o segundo estudo com mesmas cultivares----- 23
- Tabela 3: Características químicas e físicas dos talhões do primeiro estudo avaliados em período seco e úmido no município de Patrocínio-MG----- 40
- Tabela 4: Carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal (RB), e quociente metabólico (qCO_2) em talhões do primeiro estudo----- 43
- Tabela 5: Atividades enzimáticas da β - glucosidade (β - glu) urease e arilsulfatase (Ari) e a hidrólise do diacetato de fluoresceína em talhões do primeiro estudo com diferentes cultivares----- 44
- Tabela 6: Características químicas e físicas dos talhões do segundo estudo com a cultivar Catuaí 144, avaliados em período seco e úmido no município de Patrocínio-MG----- 48
- Tabela 7: Carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal (RB), quociente metabólico (qCO_2) atividades da β -glucosidade (β -glu) urease, Arilsulfatase (Ari) e hidrólise do diacetato de fluoresceína em talhões do segundo estudo com mesmas cultivares----- 49

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E FÓRMULAS QUÍMICAS

Ag_2SO_4 - Sulfato de prata

Aril - Enzima Arilsulfatase

β -glu - Enzima β -glucosidade

CaCl_2 - Cloreto de potássio

CaCO_3 - Carbonato de cálcio

CHCl_3 - Clorofórmio

CO_2 - Dióxido de carbono

CBM - Carbono da biomassa microbiana

DAF - Hidrólise do diacetato de fluoresceína

EPAMIG - Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais

H_2SO_4 - Ácido sulfúrico

H_3PO_4 - Ácido fosfórico

HCl - Ácido Clorídrico

IAC - Instituto Agrônomo de Campinas

$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ - Dicromato de potássio

K_2SO_4 - Sulfato de potássio

KCl - Cloreto de potássio

MO - Matéria orgânica do solo

NaOH - Hidróxido de sódio

NH_3 - Amônia

NH_3 - Amônio

nm - Nanômetro

NPK - Nitrogênio fósforo e potássio

pH - Potencial de hidrogeniônico

PNF - p-nitrofenol

PNG - p-nitrofenil-b-D-glucosideo

PNS - p-nitrofenol sulfato

qCO_2 - Quociente metabólico

rpm - Rotação por minuto

RB - Respiração microbiana basal

SB - Soma de bases

THAM - Tris hidroximetil aminometano

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1 O café e sua importância	19
1.1 <i>C. arábica</i> cv. Catuaí Vermelho	20
1.2 <i>C. arábica</i> cv. Rubi MG 1192	20
1.3 Indicadores biológicos de qualidade do solo	21
1.4 Biomassa microbiana	21
2.6 Respiração microbiana	22
2.7 Quociente metabólico (qCO_2)	23
2.8 Enzimas no contexto da qualidade do solo	23
2.7.1 Urease	25
2.7.2 β-glucosidase	25
2.7.3 Arilsulfatase	26
2.8 Hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA)	26
3 METODOLOGIA	27
3.1 Caracterização da área amostral	27
3.2 Área de estudo e amostragem de solo	27
3.3 Primeiro estudo	28
3.4 Segundo estudo	28
3.5 Carbono da biomassa microbiana	30
3.6 Respiração basal	31
3.7 Obtenção do quociente metabólico	32
3.8 Quantificação da atividade da Urease	33
3.9 Quantificação da atividade da β-Glucosidase	34
3.10 Quantificação da atividade da Arilsulfatase	35
3.11 Determinação da hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA)	36
3.12 Análises estatísticas	37
4 RESULTADOS	37
4.1 atributos físicos e químicos em talhões do primeiro estudo	37
4.2 Carbono da biomassa, respiração microbiana e quociente metabólico em talhões do primeiro estudo	42
4.3 β-glucosidade, uréase, arilsulfatase e hidrolise do diacetato de fluoresceína em talhões do primeiro estudo	43
4.4 Análises de componentes principais do primeiro estudo	44
4.5 Atributos físicos e químicos do segundo estudo	46

4.6 Atributos microbiológicos do segundo estudo.....	48
4.7 Análise de componentes principais para talhões do segundo estudo.....	49
5 DISCUSSÃO	51
5.1 Atividades enzimáticas	54
6 CONCLUSÕES	60
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
ANEXOS	70

1 INTRODUÇÃO

O grande desafio do setor agrícola está em aumentar a produção, devido à tendência de crescimento significativo da população mundial que demanda maior consumo de alimentos. O Brasil é um dos mais importantes produtores de alimentos do mundo com produção de 221,4 milhões de toneladas de grãos em 59,9 milhões de hectares plantados, dos quais 14 milhões estão no Cerrado (IBGE, 2017). O cerrado é uma região com elevada aptidão agrícola, devido à ocorrência de solos com ótimas características físicas, mas que dependem fortemente do uso de fertilizantes para expressão de boas produtividades (REIS et al., 2005). A crescente demanda por esses fertilizantes, associado ao descompasso de sua oferta, ocasiona elevação de preços a níveis cada vez mais inacessíveis aos produtores. Além disso, o uso indiscriminado desses fertilizantes pode resultar em efeitos devastadores à qualidade dos ecossistemas (PEREIRA et al., 2017).

Devido a manejos incompatíveis com as características edáficas locais, tem se observado intensa degradação dos solos agrícolas brasileiros, especialmente os do cerrado. Esse processo provoca uma diminuição do potencial produtivo das áreas pelo impacto na qualidade do solo (SANTOS et al., 2015). Esta tem sido avaliada principalmente por análises físicas e químicas (KARLEN e STOTT, 1994; DORAN PARKIN, 1996) comumente utilizadas por grandes e médios produtores, mas frequentemente inacessíveis e desconhecidas por pequenos produtores. Embora a componente biológica seja negligenciada por todos estes segmentos, a necessidade de se produzir em modelos agrícolas mais sustentáveis tem despertado a consciência para o entendimento mais amplo da complexidade do solo, o que evidencia a importância dessa componente (ALTIERI et al., 2002; MOREIRA e SIQUEIRA, 2006; PAZ-FERREIRO et al., 2016).

Os serviços dos microrganismos do solo são preponderantes para o sucesso da agricultura (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006), pois eles estão diretamente relacionados com a qualidade do solo e representam indicadores sensíveis às mudanças que ocorrem nesse sistema ((DORAN PARKIN, 1996; ZILLI et al., 2003; SER-NACHAVEZ et al., 2013).

Simplesmente elucidar respostas de um componente isolado do solo não é mais suficiente, é necessário entender o recurso solo como um sistema dinâmico vivo que emerge a partir do equilíbrio e interação de seus componentes biológicos, químicos e físicos (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006; PAZ-FERREIRO et al., 2016). Neste contexto, torna-se de fundamental importância a avaliação e o incremento da contribuição dos processos biológicos para a produção agrícola, pastoril e florestal, tanto em termos econômicos, como ambientais.

Em termos práticos, para um atributo ou processo ser considerado indicador de qualidade é necessário que ele apresente intrínseca correlação com funções chaves do solo como, por exemplo, o suprimento e ciclagem de nutrientes, retenção e a condutividade de água, suporte físico para as raízes das plantas e filtragem de substâncias tóxicas (DICK et al., 1996; PAZ-FERREIRO et al., 2016). Além disso, para que um indicador seja considerado bom, ele precisa refletir níveis diferentes de degradação do solo, ser sensível ao maior número possível de agentes e seja de fácil avaliação (ELLIOTT, 1994; GIL-SOTRES et al., 2005). Estas características indicadoras de qualidade do solo têm sido muito estudadas na atualidade, mas ainda não é possível extrapolá-las para todos os tipos de solo, devido à alta complexidade e heterogeneidade desse sistema (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006). Além disso, as condições climáticas que influenciam a vida no solo variam ano após ano, dificultando previsões futuras com elevado grau de confiabilidade (ARSHAD e MARTIN, 2002). Assim, são necessários estudos específicos para cada caso e em tempos distintos.

Nos sistemas de produção com a cultura do café, os esforços da pesquisa têm gerado avanços expressivos em tecnologias. Um exemplo é no âmbito do melhoramento genético, em que se tem buscado variedades cada vez mais resistentes às pragas e doenças, responsivas às práticas de manejo e mais produtivas (CARVALHO et al., 2017). Porém, quando se trata de aspectos relacionados ao solo, a maioria dos trabalhos se limita a estudar os atributos físicos e químicos, com pouca exploração de propriedades biológicas. Esta última, no entanto, é indispensável, pois pode gerar respostas mais rápidas e possibilitar ao produtor um diagnóstico antecipado sobre as condições do solo (GARCÍA-ORENES et al., 2012). Além disso, as análises microbiológicas podem ser ferramentas para prever as taxas e a direção da mudança de qualidade do solo, auxiliando nas tomadas de decisão sobre formas de manejo necessárias à manutenção do equilíbrio desse sistema. Assim, deve considerar que potencial produtivo do solo é uma referência importante para determinar a qualidade desse sistema, e que os atributos biológicos podem permitir a identificação de manejos associados com as maiores produtividades. Esse trabalho tem por objetivo avaliar a relação entre indicadores microbiológicos, físicos e químicos com a produtividade de diferentes cultivares de café na região do cerrado mineiro.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O café e sua importância

O café desempenha um papel importante na economia mundial, mais de 80 países em desenvolvimento dependem da cultura como uma das principais fontes de renda (MOHAMMED e JAMBO, 2015). No Brasil a cafeicultura iniciou-se no Estado do Pará, no ano de 1727 e atualmente é amplamente praticada em outras regiões do país com destaque para os estados de Minas Gerais e São Paulo (MATIELLO, 1991), constituindo-se uma cultura de grande importância nacional. A importância dessa cultura não é avaliada somente pelos aspectos produtivos, mas também pela sua função social, histórica e econômica, uma vez que gera grande número de empregos, mantém o homem no campo e é fundamental para o crescimento econômico do país.

O Brasil é considerado o principal produtor e exportador de café, sendo responsável por 1/3 da produção mundial dessa commodity (FAO, 2015). Na safra de 2017, a produção nacional foi de 45,56 milhões de sacas de 60 kg de café, produzidas em uma área de 2,22 milhões hectares e o Estado de Minas Gerais foi responsável por 56,4% dessa produção, sendo, portanto, o maior produtor nacional (CONAB, 2017). O Cerrado Mineiro é uma das principais regiões produtoras do Estado, com 4,5 milhões de sacas produzidas em 213,8 mil hectares plantados (CONAB, 2017) e a cidade de Patrocínio assumiu desde 2013 a liderança no ranking de municípios com maior produção mundial.

O cafeeiro pertence à família *Rubiaceae* com 630 gêneros. Entre esses, o gênero *Coffea* L. possui cerca de 100 espécies das quais duas são cultivadas comercialmente, a *Coffea arabica* L. responsável por cerca de 70% da produção mundial e *Coffea canephora* P. responsável por 30% (MATIELLO et al., 2002). A espécie *Coffea arabica* L. tem origem na região do Sudoeste da Etiópia, Sudeste do Sudão e Norte do Quênia, com altitude superior a mil metros. Uma das características marcantes da espécie são os frutos que obtêm coloração vermelha ou amarela quando estão maduros (CARVALHO, 1943).

As cultivares de *C. arabica* L. em sua maioria derivam das variedades Typica e Bourbon (ANTHONY et al., 2000). Entre os anos 1930 e 2000, foram lançadas muitas cultivares de café do tipo arábica no país, disseminando essa espécie por muitas regiões

produtoras. Entre essas cultivares está a Catuai Vermelho e amarelo a Cultivar Rubi, descritas detalhadamente a seguir.

1.2 *C. arabica* cv. Catuai Vermelho e Amarelo

As cultivares do grupo Catuai foram obtidas mediante o cruzamento entre as cultivares Caturra Amarelo, linhagem C 476-11, e Mundo Novo, linhagem CP 374-19. Foi a primeira cultivar obtida por hibridação intra-específica entre cafeeiros de *C. arabica* selecionados pelo vigor e potencial produtivo (CARVALHO e FAZUOLI, 1993). Entre as principais linhagens dessa cultivar estão a CH 2077-2-5-99; CH 2077-2-5-144 (Catuai 99 e Catuai 144 respectivamente) objeto desse estudo. Embora sejam linhagens susceptíveis à ferrugem, apresentam elevado vigor e adaptação bastante ampla, o que permite obter boas produções na maioria das regiões cafeeiras onde são utilizadas (CARVALHO et al., 1979; CARVALHO et al., 2010), possuem bebida de excelente qualidade e, devido a seu porte baixo, podem ser plantados de forma mais adensadas facilitando o manejo cultural e a colheita mecanizada (FAZUOLI, 1986). Estudos avaliando o potencial da cv. Catuai apontam para uma boa adaptação a regiões de altitudes elevadas, frias e úmidas, com nível de produtividade variando em entre 38 a 61 sc.ha⁻¹ (CARVALHO et al., 2006; 2010) . Em ensaios com 25 cultivares de café arábica em quatro regiões cafeeiras de Minas Gerais a linhagem Catuai 144 alcançou nível de produtividade de 68,7 sc.ha⁻¹ na região de Patrocínio (CARVALHO et al., 2010). Em outras avaliações do potencial produtivo de cultivares arábica, a Catuai Vermelho IAC 144 apresentou produtividade de 69,6 sc.ha⁻¹ (RODRIGUES et al., 2014).

2.3 *C. arabica* cv. Rubi MG 1192

A cultivar Rubi MG 1192 é proveniente do cruzamento entre as cultivares Catuai e Mundo Novo, realizado nos anos 1960 pelo Instituto Agronômico de Campinas. Foi introduzida em Minas Gerais, pela Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, nos anos 1970. Atualmente a linhagem plantada no estado é a MG 1192, denominada Rubi-MG 1192 (CARVALHO e FAZUOLI, 1993). É classificada com uma cultivar de alto vigor e produtividade e bebida de boa qualidade. As plantas dessa cultivar são de um modo geral baixas, com ramificações secundárias muito abundantes, os frutos maduros são vermelhos escuros e amadurecem mais precocemente e com maior uniformidade que os da cultivar Catuai. É uma cultivar que apresenta ampla adaptação em diversas regiões do estado de Minas

Gerais e por apresentar estabilidade produtiva está sendo muito indicada para plantio no Estado (CARVALHO et al., 2010; AMARAL et al., 2011). Tem sido apontada produtividade com média em torno de 40,95 sc. ha⁻¹ dessa cultivar em trabalhos com progênies de cafeeiro arábica no Estado (CARVALHO et al., 2006; 2010). Outros autores observaram níveis de produtividade variando entre 20,7 e 50,3 sc. ha⁻¹ em função do sistema de manejo e níveis de adubação (NOGUEIRA et al., 2005; AMARAL et al., 2011).

2.4 Indicadores biológicos de qualidade do solo

Os indicadores biológicos mais utilizados para inferir sobre qualidade do solo incluem a biomassa microbiana, respiração microbiana do solo, quociente metabólico e atividades enzimáticas (ANDERSON e DOMSCH 1986; DICK et al.1996; SHAO et al., 2008; MEDEIROS et al., 2015). Apesar da importância desses atributos para a qualidade dos solos, são poucos os trabalhos que abordam essa temática como ferramenta para avaliação de manejo em cafezais. No entanto, nenhum correlaciona esses atributos com a produtividade.

2.5 Biomassa microbiana

No contexto da fertilidade do solo, a biomassa microbiana é fundamental porque se recicla a taxas mais elevadas que a biomassa vegetal, constituindo-se uma fonte de nutriente de grande importância para as plantas. É a fração viva da matéria orgânica do solo e funciona como um reservatório lábil de nutrientes que inclui entre outros o carbono, nitrogênio, fósforo e o enxofre (SRISVASTAVA e SINGH, 1991). Além da importância na manutenção da produtividade dos ecossistemas, a biomassa microbiana é um indicador biológico sensível às mudanças que ocorrem no solo e sua avaliação pode fornecer informações úteis para o entendimento sobre os impactos de diferentes formas de uso desse sistema. Por exemplo, Villani et al., (2017) ao avaliarem a extensão do impacto do cultivo em mudança no solo observaram uma redução de 40 % na biomassa microbiana em áreas de cultivo itinerante com derrubada e queima, mostrando efeito dessa prática nas populações de microrganismos. Por outro lado, os sistemas agrícolas sem revolvimento constante do solo, com rotação de culturas e outras práticas conservacionistas se mostram mais constantes no conteúdo de carbono orgânico da microbiota e, por consequência, são menos susceptíveis às mudanças ambientais (VILLANI et al., 2017). Em sistemas de plantio direto, onde se opta pela manutenção da cobertura vegetal observa-se maior biomassa microbiana pelo maior acúmulo de carbono

orgânico no solo (SANTOS et al., 2015). Isso porque os resíduos vegetais são fonte de energia e nutrientes para a maioria dos microrganismos do solo, de modo que quanto maior sua abundância no sistema, maiores serão as atividades biológicas (POWLSON e BROOKES, 1987; ANGHINONI et al., 2010). A biomassa microbiana e sua atividade sob plantio rotacionado com culturas anuais como soja, milho, trigo e algodão é influenciada em função do tipo de preparo do solo. Balota et al., (1996) observaram um incremento de 103%, 54% e 36% para C, N e P, respectivamente, da biomassa microbiana quando compararam sistema de plantio direto com cultivo convencional, mostrando que esses sistemas afetam a biomassa microbiana. Em avaliação do impacto de diferentes métodos de controle de plantas daninhas na biomassa microbiana na cultura do cafeeiro foi observado baixa sensibilidade desse atributo aos efeitos dos métodos (MELLONI et al., 2008; LISBOA et al., 2012; MELLONI et al., 2013). Por outro lado, em experimentos comparando sistemas de produção, diferentes formas de manejos e seus impactos em indicadores bioquímicos do solo no cerrado brasileiro, foram observados benefícios expressivos à microbiota naqueles sistemas onde havia a presença de gramíneas nas entrelinhas das culturas, que por apresentarem um sistema radicular abundante com elevada taxa de renovação, favorecem a alocação de carbono orgânico aumentando seu estoque no solo (CARNEIRO et al., 2009; MELLONI et al., 2017).

Em uma meta análise a fim de compreender as respostas do carbono da biomassa microbiana a diferentes formas de uso do solo, Kaschuk et al., (2010) confirmaram benefícios à microbiota do sistema de plantio direto, agricultura orgânica permanente, rotação de cultura e pastagens manejadas adequadamente. Por outro lado, estes mesmos autores verificaram perturbação intensa nas comunidades microbianas em sistemas com uso excessivo de agroquímicos, uso do fogo e pastagens sobrecarregadas.

2.6 Respiração microbiana

A respiração microbiana, assim como a biomassa é um indicador muito importante no entendimento das atividades metabólicas do solo, por expressar a liberação de CO₂ pela atividade decompositora, principalmente dos fungos e bactérias (ALVAREZ et al., 1995). Por apresentar estreita correlação com a quantidade de C no solo e com as condições ambientais predominantes, constitui uma ferramenta fundamental no contexto da compreensão da qualidade do solo (SHAO et al., 2008). A respiração por si só, não é suficientemente elucidativa das condições do solo, pois pode ser aumentada pelo crescimento da comunidade microbiana metabolicamente ativa, mas também por condição estressante imposta ao meio.

Por exemplo, Souza et al., (2010) ao avaliar o impacto de diferentes formas de manejo da pastagem sobre a biomassa microbiana e sua atividade em sistema de integração lavoura-pecuária, observaram aumento na respiração microbiana do solo sob condições de estresse hídrico. Evangelista et al., (2013) em avaliação das alterações dos atributos microbiológicos do solo na cultura da cana-de-açúcar sob influência do manejo convencional com e sem queima da palhada, observaram aumento na respiração microbiana pelo estresse provocado pelo uso do fogo. De maneira geral, os ecossistemas equilibrados tendem a apresentar menores taxas de respiração, devido a maior diversidade de materiais orgânicos com diferentes níveis de decomposição (LOPES et al., 2013). No entanto, é necessário relacionar a atividade respiratória com a biomassa microbiana para melhor entendimento do estado de conservação do ecossistema. O que é feito através do quociente metabólico, abordado a seguir.

2.7 Quociente metabólico (qCO_2)

A taxa de respiração específica ou quociente metabólico (qCO_2) é outro indicador importante das reações microbianas do solo, que muitas vezes está relacionado com a eficiência da conversão do carbono microbiano e às perdas ou acúmulo deste no solo (ANDERSON e DOMSCH, 1986). Este indicador é obtido pela razão entre a atividade respiratória e o carbono da biomassa (PIRT, 1975; ANDERSON e DOMSCH, 1993). Sua avaliação merece destaque, pois reflete o padrão de entrada da matéria orgânica no solo e a eficiência do uso dos substratos pelos microrganismos, conseqüentemente corroborando o entendimento das perdas e transformações desta no solo. Nesse contexto, Evangelista et al., (2013) observaram aumento do qCO_2 em condições de perturbação do solo pelo uso do fogo. Melonni et al., (2012) observaram elevação do qCO_2 em métodos onde foram usados herbicidas para controle de plantas daninhas no cafeeiro em relação a outros métodos, caracterizando impacto negativo dessa prática de manejo à microbiota do solo. Outros trabalhos também indicam que, sob condições de estresse, quanto maior o qCO_2 mais estressado está o ambiente (LOPES et al., 2013; TAVARES et al., 2015).

2.8 Enzimas no contexto da qualidade do solo

As enzimas são um grupo especial de proteínas de grande importância nos processos bioquímicos do solo (DICK et al., 1996, WAHSHA et al., 2016). Por serem extremamente sensíveis às alterações impostas ao meio e responderem precocemente às mudanças que ocorrem no solo, são bons indicadores de qualidade e estão, muitas vezes, associadas com as boas produtividades (DICK et al., 1996; MEDEIROS et al., 2015; WAHSHA et al., 2016). Elas encontram-se em baixas concentrações no solo, razão pela qual sua avaliação é realizada pelas atividades que realizam e não por suas quantidades (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006). Por serem sintetizadas principalmente pelos microrganismos do solo, os fatores capazes de afetar esses organismos também poderão afetar a atividade enzimática (MCGILL e COLLE, 1981; MOREIRA e SIQUEIRA, 2006). Elas estão relacionadas à decomposição de resíduos, eficiência do uso dos fertilizantes, interação entre plantas e indicam a presença de poluentes no solo (TATE, 1995; DICK et al., 1996). As enzimas extracelulares são as mais importantes na biodegradação de macromoléculas orgânicas do solo, estas podem estar livres na solução do solo, adsorvidas nos colóides ou imobilizadas em complexos húmicos (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006; SUSEELA et al., 2013). A diversidade enzimática apresenta correlação principalmente com a diversidade do solo e complexidade da matéria orgânica (TABATABAI e DICK, 2002). O solo é um sistema muito diverso, por isso ainda não é possível dizer quantas enzimas existem nele, no entanto, estima-se que existam pelo menos 500 enzimas envolvidas nos ciclos do C, N, P e S (GIANFREDA e RUGGIERO, 2006). Nessa diversidade enzimática os grupos das hidrolases e oxirredutases são os mais importantes na avaliação dos processos de decomposição de materiais orgânicos bem como nas transformações inorgânicas. Mas além dessas classes de enzimas, pode-se destacar as transferases e as liases que, juntamente com as anteriores, realizam as principais catálises que ocorrem no solo (DICK et al., 1996; MOREIRA e SIQUEIRA, 2006). Dentro dessas classes estão as enzimas que promovem o rompimento de ligações químicas, reações de oxirredução e adição ou remoção de grupos químicos, sendo, portanto, a base das biocatálises do solo (DICK et al., 1996; MOREIRA e SIQUEIRA, 2006). Algumas se destacam pela relevância do papel que exercem na manutenção da saúde do solo como a urease (ANDREWS et al., 1989; BYRNES e AMBERGER, 1989), a β -Glucosidase (PATRICK, 1955), a Arilsulfatase (DODGSON et al., 1982) e a hidrólise do diacetato de fluoresceína (SCHNÜRER e ROSSWALL, 1982). Estas merecem explicações mais detalhadas dentro do contexto deste trabalho, pois são parâmetros

fundamentais na orientação de qualidade, uma vez que sua presença e atividades estão relacionadas com funções chaves do solo (DICK et al., 1996; PAZ-FERREIRO et al., 2011), tipo de cobertura vegetal (KOURTEV et al., 2002; SINSABAUGH et al., 2004), propriedades físicas e químicas (PAZ-FERREIRO et al., 2011) e tipo de clima e umidade (PAZ-FERREIRO et al., 2011).

2.8.1 Urease

As ureases são enzimas fundamentais na hidrólise da ureia adicionada ao solo e sua transformação em NH_3 e CO_2 (ANDREWS et al., 1989; BYRNES e AMBERGER, 1989). O monitoramento da atividade dessa enzima é indispensável, principalmente em solos agrícolas, por apresentar elevada correlação com a oferta de N para plantas em condições de uso de fertilizantes a base de ureia (SHUKLA e VARMA, 2011). Trabalhos relataram um aumento da atividade dessa enzima com a elevação de temperatura (TABATABAI, 1977; YANG et al., 2006). Além disso, a atividade da urease é influenciada por outros fatores como, por exemplo, conteúdo de matéria orgânica, alterações do solo e metais pesados (LONGO e MELO, 2005; YANG et al., 2006) que incluem essa enzima como um importante indicador da qualidade do solo. Lisboa et al. (2012) em avaliação da qualidade do solo em diferentes formas de uso, observaram maior atividade da urease em campos naturais e plantio direto em relação ao sistema convencional. Avaliando a atividade da urease em solo cultivado com feijoeiro comum em função da presença de restos culturais, Lanna et al. (2010) observaram diminuição da atividade da urease em condição de mobilização do solo. Outros autores observaram aumento da atividade dessa enzima em ambientes com pouca perturbação onde se adotaram manejos conservacionistas (ROLDÁN et al., 2005; VAND DEN BOSSHE et al., 2008).

2.8.2 β -glucosidase

A enzima β -glucosidase ocorre na maioria dos solos e desempenha papel muito importante, pois está envolvida na biodegradação de resíduos orgânicos (TABATABAI, 1994; 1997). Atua hidrolisando os oligossacarídeos e a celobiose, resultando em produção de glicose, fonte de energia preponderante para a pedobiota (ESEN, 1993; SINGHANIA et al., 2013). A avaliação da atividade dessa enzima é fundamental, pois ela reflete a atividade biológica e a capacidade do solo em estabilizar a matéria orgânica, podendo ser usada para detectar efeitos de diferentes formas de uso desse sistema (BANDICK e DICK, 1999). Por

exemplo, Santos et al., (2015), ao avaliarem o efeito de diferentes programas de reabilitação observou uma redução média de 81 % na atividade da β -glucosidase das áreas com vegetação em relação àquelas sem cobertura vegetal. Outros autores (ROLDÁN et al., 2005; LISBOA et al., 2012), observaram maior atividade dessa enzima, ao contrastar diferentes formas de uso do solo em sistemas de produção, confirmando seu potencial como discriminadora de formas de manejo do solo e, portanto, boa indicadora de qualidade.

2.8.3 Arilsulfatase

As arilsulfatases são enzimas responsáveis pela hidrólise de ésteres de sulfato no solo (TABATABAI, 1994; KERTESZ e MIRLEAU, 2004). Ocorrem em diferentes tipos de solo e apresentam correlação elevada com a biomassa microbiana (DODGSON et al., 1982). Em condições em que a oferta de enxofre é limitada, essas enzimas são secretadas principalmente por bactérias (MCGILL e COLLE, 1981) e considerando a importância do S na nutrição vegetal, a avaliação da atividade dessa enzima é imprescindível para inferir sobre a disponibilidade desse nutriente no sistema. A atividade da arilsulfatase apresenta correlação direta com o estoque de carbono no solo (HAYNES, 1999). Em estudos sobre o impacto do manejo do solo nas atividades hidrolíticas, foi observado aumento da atividade dessa enzima nos sistemas com pouco revolvimento do solo, principalmente devido à manutenção dos fungos, principais produtores de ésteres de enxofre, substrato para essas enzimas (BANDICK e DICK, 1999; LISBOA et al., 2012).

2.9 Hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA)

A hidrólise do diacetato de fluoresceína pode representar amplamente a atividade enzimática do solo. Este substrato é hidrolisado por diferentes enzimas (SCHNÜRER e ROSWALL, 1982), sendo, portanto um bom indicador da atividade microbiana do solo. Frouz e Nováková (2005) observaram elevada correlação da hidrólise do FDA com a respiração microbiana do solo. A hidrólise do DAF aumenta rapidamente após a reabilitação de áreas degradadas pela adição de carbono no sistema (TRANNIN et al., 2007; CARNEIRO et al., 2008; CHÁVEZ et al., 2011), mostrando a relevância desse processo como indicador da qualidade do solo.

3 METODOLOGIA

3.1 Caracterização da área amostral

O trabalho foi realizado com amostras de solos coletadas no campo experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), localizado na meso região do Alto Paranaíba, município de Patrocínio, no sudeste brasileiro. No plano de coordenadas geográficas, a propriedade está situada na latitude 18° 59' 26" S, longitude 46° 58' 9,5" W e 988 m de altitude. O clima da região segundo a classificação de Köppen é tropical de altitude (Cwb) e a temperatura média anual é 20,7°C. O relevo é classificado como 60% plano, 30% ondulado e 10% montanhoso.

3.2 Área de estudo e amostragem de solo

O campo experimental foi escolhido por ser representativo das práticas de manejo e gestão agrícola predominantes na região que incluem, entre outros, o uso intenso de adubos minerais, controle químico de vegetação espontânea, colheita totalmente mecanizada, ausência de cobertura vegetal nas entre linhas e de sistemas de irrigação, e também por oferecer os requisitos necessários ao objetivo do trabalho que incluiu o maior número de condições homogêneas entre os talhões. Dessa forma, em todos os talhões selecionados as altitudes eram aproximadas, variando entre 988 e 1003 m. Os talhões apresentaram mesmo tipo de solo (latossolo vermelho-amarelo). O manejo de adubação foi igual para todas as áreas e consistiu na aplicação de NPK na fórmula 20-5-20 mais complemento com 80 kg.ha⁻¹ de fósforo na forma de superfosfato simples, realizada nos meses de novembro, janeiro e fevereiro. A correção do solo foi realizada com calcário por ocasião do fim da colheita entre os meses de setembro e novembro. O controle da vegetação espontânea foi feito pela aplicação do herbicida Roundup dt aplicado três vezes por ano. O espaçamento adotado compreendeu uma distância de 4,0 m entre fileiras e 0,7 m entre planta e foi padrão para todas as cultivares. A colheita foi completamente mecanizada, as linhas de plantio não possuíam cobertura vegetal e não houve sistema de irrigação nos talhões.

3.3 Primeiro estudo

Para o primeiro estudo, as coletas foram realizadas no período seco (Agosto de 2017) e no úmido (Janeiro 2018) e os procedimentos adotados para a coleta consistiram na retirada de amostras simples de solo na projeção da copa da planta em profundidade de 0-10 cm (FIGURA 1a). Essa área possui maior ocorrência do sistema radicular efetivo da cultura (ROCHI et al., 2015). No plano de amostragem foram escolhidos seis talhões das cultivares Catuaí Vermelho IAC 99 (Cat 99), Catuaí Vermelho IAC 144 (Cat 144) e Rubi MG 1192 (Rubi). De cada cultivar foram selecionados dois talhões, um com maior e outro com menor produtividade (tabela 1).

3.4 Segundo estudo

Para o segundo estudo foram selecionados talhões de uma mesma cultivar (Catuaí Vermelho IAC 144). Estes foram formados por dois talhões descritos no primeiro estudo e mais dois com níveis diferentes de produtividade, decodificados nesse trabalho como C, K, R e Y em ordem decrescente de produtividade. As amostras foram coletadas por ocasião das chuvas (Janeiro 2018) e foram obtidas na projeção da copa das plantas na profundidade de 0-10 cm.

Para ambos os estudos, o plano de coleta consistiu na divisão do talhão selecionado em quatro áreas, das quais foram coletadas quatro amostras simples para formar uma composta (Figura 1b). Assim, de cada talhão estudado, foram coletadas quatro amostras compostas, que foram acondicionadas em sacos plásticos devidamente identificados e mantidas em câmara fria a 4°C para melhor conservação. As produtividades de todos os talhões foram obtidas das safras 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017 e estão descritas nas tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Produtividade dos talhões selecionados para o primeiro estudo com diferentes cultivares.

Cultivar/Talhão	Altitude	Produtividade por soffra (sc.ha ⁻¹)			Média
		2015/16	2016/17	2017/18	
Cat 99	990	33,33	55,83	27,08	38,74
Cat 99	972	15,62	29,14	9,58	18,11
Cat 144	991	9,18	35,16	16,62	20.3
Cat 144	986	6,25	31,25	7,29	15.0
Rubi	1005	42,41	68,75	40,62	50.6
Rubi	995	20,83	18,75	9,79	16,45

Tabela 2 - Produtividade dos talhões selecionados para o segundo estudo de uma mesma cultivar.

Talhão	Cultivar	Altitude	Produtividade por soffra (sc.ha ⁻¹)			Média
			2015/16	2016/17	2017/18	
C	Catuai 144	991	9,18	35,16	16,62	20.3
K	Catuai 144	992	8,15	34,95	8,22	17,1
R	Catuai 144	986	6,25	31,25	7,29	15.0
Y	Catuai 144	993	8,35	11,54	8,22	9,37

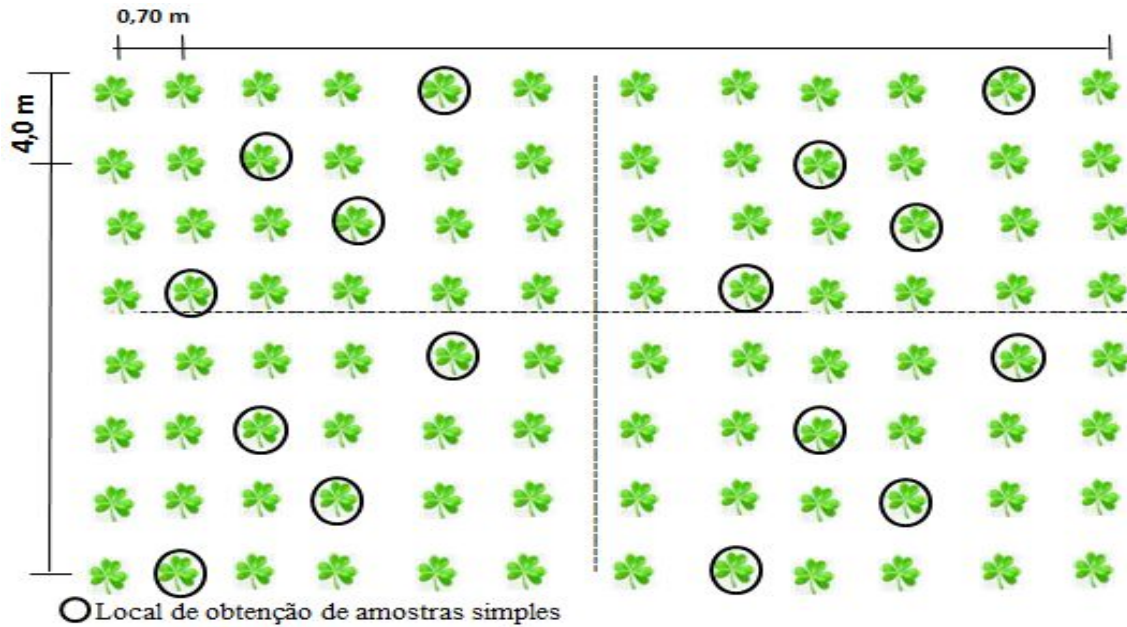
Legenda: Em função da bienalidade do cafeeiro as produtividades dos talhões foram obtidas da média das safras de 2014/15, 2015/16 e 2016/17. (Os valores descritos nas tabelas foram obtidos de planilhas de controle de produtividade cedidas pela gerência da fazenda).

Fonte: Do autor (2018).

Figura 1- Ilustração do procedimento de coleta das amostras de solo e plano amostral de coleta na fazenda da EPAMIG em Patrocínio - MG.



Fonte: Do autor (2018).



Fonte: Do autor (2018).

As análises microbiológicas realizadas incluíram: Carbono da biomassa microbiana, respiração basal e induzida, quociente metabólico (q CO₂), atividades absoluta das enzimas urease, β -glucosidase, arilsulfatase e hidrólise do diacetato de fluoresceína, descritas detalhadamente a seguir.

3.5 Carbono da biomassa microbiana

A determinação do carbono da biomassa microbiana consistiu na exposição da amostra a clorofórmio purificado (CHCl₃) por 24 horas (JENKINSON et al, 1976), pelo método da fumigação e extração (BROOKES et al., 1985; VANCE et al., 1987). Vinte gramas de cada amostra de solo foram pesadas em placa de Petri com seis repetições, três delas foram acondicionadas em dessecador contendo um Becker com 30 ml de clorofórmio com pérolas de vidros (FIGURA 2). O dessecador foi hermeticamente fechado e retirado o ar a vácuo com aproximadamente 600 mm Hg por 5 minutos após o início da ebulição do clorofórmio. Após esse procedimento, as amostras serão incubadas no escuro a 27 °C. Passado o período de incubação, serão novamente efetuados vácuos sucessivos para retirar o excesso do fumigante. As outras três repetições constituirão as amostras não fumigadas que serão incubadas nas mesmas condições e tempo das amostras fumigadas, porém sem a exposição ao clorofórmio.

Para extração, todas as amostras serão transferidas para erlenmeyer de 125 ml, no qual foram adicionados 100 ml de K₂SO₄ (0,5 M). O conjunto foi agitado por 30 minutos e

posteriormente filtrado em papel filtro Whatman nº 42. A determinação do carbono orgânico foi realizada pela digestão de 8 ml do extrato filtrado com 2 ml de $K_2Cr_2O_7$, 10 ml de H_2SO_4 (95%) e 5 ml de H_3PO_4 (85%). Essa mistura será aquecida por tempo de 5 minutos contados a partir do surgimento das primeiras bolhas. Após resfriamento foram acrescentados 10 ml de água destilada. O excesso de $K_2Cr_2O_7$ foi determinado por titulação com sulfato ferroso amoniacal, usando-se a difenilamina como indicador até mudança da cor azul escuro para verde garrafa. No controle foram realizados os mesmos procedimentos com exceção do extrato que será somente o K_2SO_4 .

O Carbono da Biomassa Microbiana em mg de C.g de solo $seco^{-1}dia^{-1}$, foi obtido pela diferença entre os resultados das amostras fumigadas das não fumigadas dividido por um fator de correção 0,3 específico para solos tropicais (FEIGL et al. 1995).

Figura 2 - Dessecador com amostras de solo e clorofórmio para incubação.



Fonte: Do autor (2018).

3.6 Respiração Basal e Induzida

O princípio da estimativa do CO_2 evoluído durante a incubação, consiste na captura deste pelo NaOH e posterior titulação com HCl (ALEF e NANNIPIERI, 1995). Foram pesados 20 g de solo o qual foi umedecido até aproximadamente 55% da capacidade de campo, concomitantemente 20 ml NaOH (0,5 M) serão pipetados para um recipiente separado, o conjunto será incubado por 72 horas em recipiente hermeticamente fechado com

pouca luminosidade (FIGURA 3). O controle foi formado por três recipientes com 20 ml de NaOH incubados pelo mesmo período, mas sem o solo.

Após o período de incubação o solo foi seco em estufa a 65 °C para obtenção de peso seco e no recipiente contendo a solução de NaOH. Foram adicionados cinco ml de solução de BaCl₂.2 H₂O (0,5 M) e cinco gotas do indicador fenolftaleína (0,1%). A titulação foi feita com HCl (0,5 M) até mudança da coloração vermelho para incolor.

O cálculo da taxa de respiração, em mg de CO₂.kg solo⁻¹.dia⁻¹, foi obtida pela diferença entre o volume de HCl usado na titulação do controle e o gasto na amostra, que serão multiplicados pelo fator de correção 1,1 (1 ml de NaOH 0,05 M é igual a 1,1 mg de CO₂), o resultado obtido foi dividido pelo valor da multiplicação entre o peso do solo em kg e o tempo de incubação em dias, conforme equação abaixo.

Equação 1- Determinação da taxa de respiração em mg de CO₂.kg solo⁻¹.dia⁻¹

$$\text{CO}_2 = \frac{(V_0 - V_1) * 1,1}{\text{PS} * t} \quad (1)$$

Figura 3 - Frascos usados para incubação contendo amostra de solo e NaOH em copinhos descartáveis.



Fonte: Do autor (2018).

3.7 Obtenção do quociente metabólico

O quociente metabólico foi calculado pela razão entre a atividade respiratória (respiração basal) e o carbono da biomassa microbiana (ANDERSON e DOMSCH, 1993). E o resultado será dado em mg C-CO₂.mg de C.gde solo seco⁻¹.dia⁻¹.

3.8 Quantificação da atividade da Urease

A quantificação da atividade da urease foi baseada na determinação da amônia liberada após a incubação do solo com uma solução de uréia (TABATABAI e BREMMER, 1972). Foram pesados cinco gramas de solo, no qual serão adicionados dois ml de tolueno, nove ml de solução tampão com pH 9,0 e um ml de solução com ureia (0,2 M). O conjunto será incubado por duas horas a 37°C em estufa incubadora. Completado o período de incubação foram adicionados 35 ml de solução com cloreto de potássio (KCl) e sulfato de prata (Ag_2SO_4) para interromper a reação. E após agitação foi deixado por cinco minutos em temperatura ambiente e completado com KCl e Ag_2SO_4 para 50 ml agitando por alguns minutos. Dessa solução foram pipetados 20 ml, o qual foi levado para o microdestilador, adicionando-se 0,2 gramas de óxido de magnésio. No microdestilador, o destilado foi recolhido em um béquer com solução de ácido bórico, contendo como indicadores o vermelho de metila e o verde de bromocresol (Figura 4), o qual será titulado com solução padronizada de H_2SO_4 (0,005 M). O controle seguiu os mesmos procedimentos acima, no entanto, a ureia foi adicionada somente após a solução de KCl- Ag_2SO_4 .

O resultado da atividade da urease expresso em $\text{mg NH}_4\text{-N g.solo seco}^{-1}.\text{h}^{-1}$ foi obtido pela multiplicação da quantidade de ácido gasto para titulação e a quantidade de KCl- Ag_2SO_4 adicionado esse resultado. O valor encontrado foi dividido pelo resultado da multiplicação do peso seco de um grama de solo e o peso do solo inicial.

Figura 4 - Microdestilador antes e durante a destilação.



Fonte: Do autor (2018).

3.9 Quantificação da atividade da β -Glucosidase

A determinação da atividade da β -Glucosidase é baseada na determinação colorimétrica do p-nitrofenil-b-D-glucosídeo (DICK et al., 1996). O p-nitrofenol liberado foi determinado por espectrofotômetro.

O procedimento consiste na adição de um grama de solo em erlenmeyer de 50 ml, no qual foram adicionados 0,25 ml de tolueno, um ml de solução tampão universal (MUB) a pH 6,0 e um ml de solução p-nitrofenil-b-D-glucosídeo (PNG). O frasco foi fechado e agitado por alguns segundos e incubado por um hora a 37 °C. Após esse período foi adicionado um ml de CaCl_2 e quatro ml da solução de tris hidroximetil aminometano (THAM) a pH 12, essas duas soluções são importantes para eficiência na extração de p-nitrofenol (PNF) do solo, após a adição, o conjunto foi agitado por alguns segundos e filtrado em papel filtro Whatman nº 42. O extrato filtrado adquiriu uma coloração amarelada e a leitura foi realizada no espectrofotômetro.

O cálculo do conteúdo de PNF foi obtido pela equação da reta gerada a partir do gráfico onde foram plotados valores da solução padrão contendo 10, 20, 30, 40 e 50 mg de

PNF. Essa solução foi feita pipetando-se um ml de solução contendo PNF em um balão volumétrico de 100 ml o qual foi completado com água destilada.

Equação 2 - Determinação do p-nitrofenol em mg.g de solo seco⁻¹.h⁻¹. Onde C corresponde à concentração obtida pela curva; V é o volume total da suspensão do solo; dwt é o peso seco de um grama de solo e SW corresponde ao peso úmido de um g do solo usado.

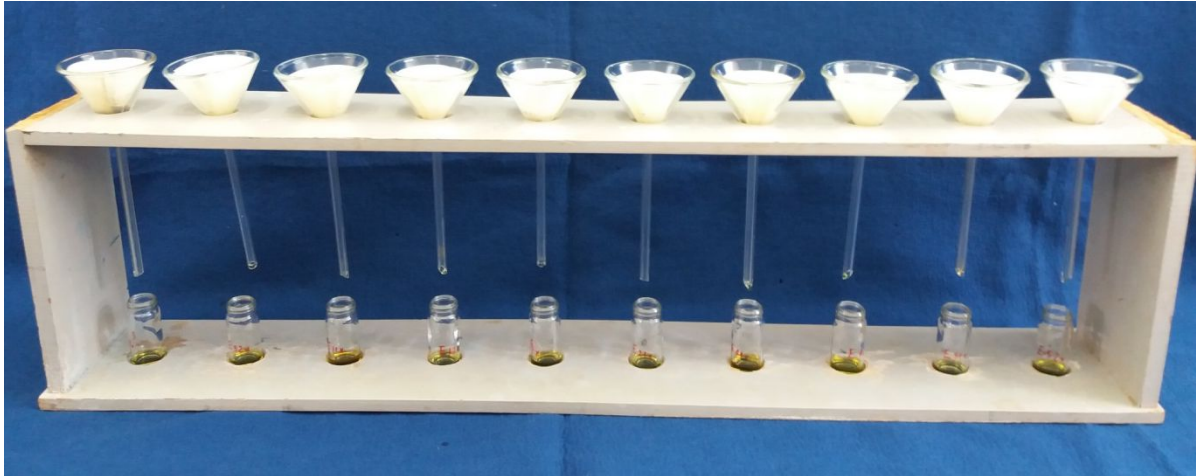
$$\text{p-nitrofenol} = \frac{C * V}{dwt * SW * t} \quad (2)$$

3.10 Quantificação da atividade da Arilsulfatase

A determinação da atividade da arilsulfatase é baseada no método descrito por Dick et al., (1996) que consiste na utilização do p-nitrofenil sulfato como substrato que, após hidrolizado, libera sulfato e p-nitrofenol quantificados por espectrofotometria.

Foi pesado um grama de solo em tubo falcon de 50 ml, no qual foram adicionados 0,25 ml de tolueno, quatro ml da solução tampão de acetato e um ml da solução de p-nitrofenol (PNF). Depois de tampado, os tubos foram agitados por alguns segundos e incubados por uma hora a 37°C. Após esse período, a reação foi interrompida pela adição de um ml de CaCl₂ (0,5 M) e quatro ml de NaOH (0,5 M) nos tubos, os quais foram agitados por alguns segundos para posterior filtragem da suspensão do solo em papel filtro Whatman nº 42 (Figura 5). A intensidade da cor amarela do filtrado deverá ser lida em espectrofotômetro no comprimento de onda de 410 nm. Para as amostras controles foram adotados os mesmos procedimentos acima, exceto para adição do substrato p-nitrofenol sulfato (PNS) que foi colocado somente após a adição do CaCl₂ e do NaOH imediatamente antes da filtragem do solo em suspensão. O cálculo da concentração do p-nitrofenol foi obtido pela referência do gráfico de calibração preparado a partir de um padrão conforme descrito para a β-glucosidade.

Figura 5 - Processo de filtragem de extrato do solo em papel filtro Whatman nº 42



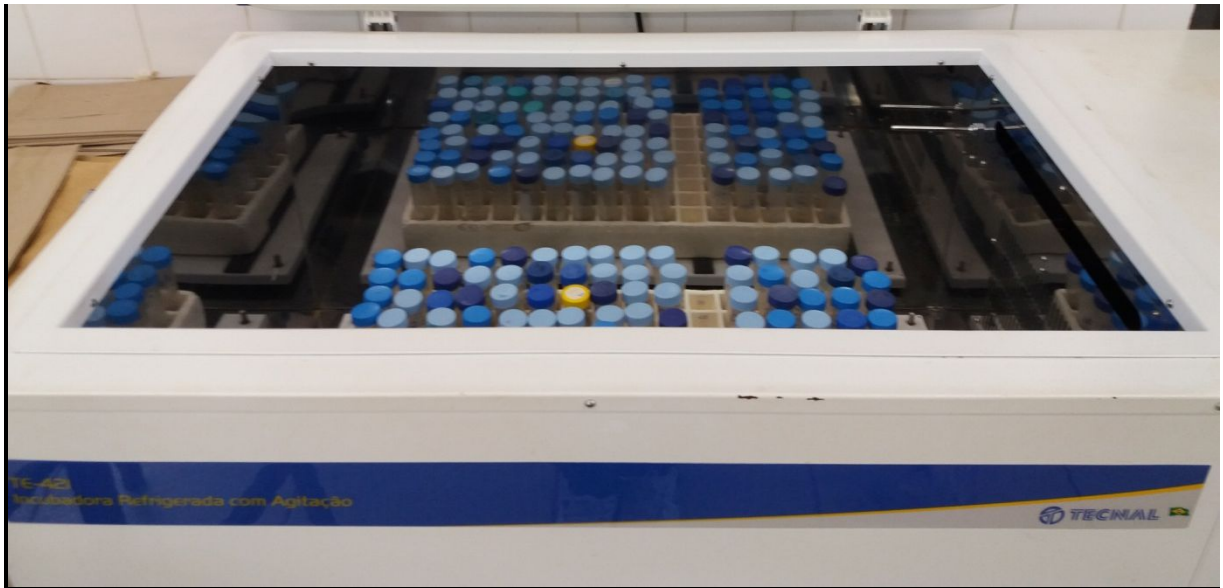
Fonte: Do autor (2018).

3.11 Determinação da hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA)

A determinação é baseada na hidrólise do diacetato de fluoresceína por células microbianas que liberam a fluoresceína que é quantificada por espectrofotômetro (DIACK, 1997). O procedimento analítico consistiu na pesagem de dois g de solo úmido em um tubo com capacidade mínima de 50 ml no qual foi adicionado 40 ml da solução tampão de fosfato de sódio a pH 7,0 com diacetato de fluoresceína. Após adição, o tubo foi tampado e incubado em rotação a 35 °C por 24 horas (Figura 6). Passado o período de incubação foram adicionados dois ml de acetona para interromper a reação e o conjunto foi centrifugado por cinco minutos a 3840 rpm. Posteriormente, o sobrenadante foi filtrado com papel filtro Whatman nº 42 para leitura no espectrofotômetro. Para as repetições controle foram adotados os mesmos procedimentos acima exceto a adição do substrato (diacetato de fluoresceína).

O cálculo da concentração de fluoresceína foi feito a partir da equação da reta gerada pela plotagem no gráfico dos resultados obtidos com a solução controle nas concentrações. 0, 100, 200, 300, 400 e 500 mg de fluoresceína. A solução controle foi obtida pela diluição de cinco ml de solução padrão de fluoresceína sódica em 50 ml de acetona, dessa solução foram pipetados 0, 1, 2, 3, 4, e 5 ml em Becker separados de 50 ml onde foram adicionados 20 ml de solução tampão de fosfato de sódio ajustando-se o volume para 40 ml. O conjunto foi lido em espectrofotômetro e os resultados produziram o gráfico.

Figura 6 - Tubos falcons com amostras de solo incubadas com solução de fosfato de sódio.



Fonte: Do autor (2018).

3.12 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância e, após validação do modelo estatístico, as médias foram agrupadas pelo algoritmo Scott Knott a 5 % de significância no programa R 3.3.1. Posteriormente, os valores obtidos para atributos físicos, químicos e microbiológicos, foram utilizados para análise de componentes principais (PCA) no programa Past 3.0.

4 RESULTADOS

4.5 Atributos físicos e químicos em talhões do primeiro estudo

Nas duas coletas os valores de pH estão dentro da faixa ideal para a cultura. Variaram entre 5.6 e 6.3 e não diferiram entre si (TABELA 3). Consequentemente a saturação e teor de alumínio na profundidade avaliada estiveram abaixo do máximo tolerável ($0.4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). O índice de saturação por bases (V %) não diferiu entre os talhões no período seco. No entanto há diferença na classificação quanto à exigência da cultura. Por exemplo, para os talhões das cultivares cat 99, cat 144 e Rubi mais produtivos os valores estavam dentro da classe considerada média para a cultura (40-60 %). Nos talhões menos produtivos os valores foram

considerados bons (60.1-80 %). Na coleta realizada no período úmido somente o talhão de maior produtividade da cultivar Rubi diferiu com inferioridade em relação aos demais que não diferiram entre si. Não obstante, os talhões apresentaram resultados dentro de faixas consideradas mediana à boa para a cultura. A capacidade de troca catiônica efetiva (t) apresentou diferença somente do talhão mais produtivo da cultivar Cat 99 em relação aos demais que não diferiram entre si. Porém todos os talhões apresentaram valores considerados bons ($4,61- 8.0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) ou muito bons $>8.0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para a cultura. Para soma de base (SB) no período seco, os valores seguem a mesma tendência da CTC efetiva e estiveram em teor, considerados excelentes ($>6.0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Porém no período úmido já são observados diferenças especialmente de Cat 99 e Cat 144 mais produtivos em relação aos demais. Não houve diferença para matéria orgânica entre os talhões na época seca, no entanto, em números absolutos, dois entre os talhões mais produtivos (Cat 99 e Rubi) apresentaram os maiores valores (5,1 e 6.0 dag. kg^{-1} respectivamente), enquanto que para os demais talhões os valores estão próximos ao limite inferior da classe considerada boa (4.01 dag kg^{-1}). No período úmido o talhão mais produtivo da cultivar Rubi foi superior ao de menor produtividade, o mais produtivo de Cat 144 foi superior ao menos produtivo e para a cultivar Cat 99 não houve diferença entre os talhões.

Para os micronutrientes (Zn, Mn, Cu), conforme demonstrado na tabela 3, não houve diferença entre os talhões em ambos os períodos de avaliação. Entretanto, considerando a exigência da cultura, o teor de Zn está, em média, quatro vezes maior que o superior considerado adequado em todos os talhões ($6,0 \text{ mg.dm}^{-3}$, teor em Mehlich-1). Para o Mn, há também altos teores, em média, três vezes superior à faixa adequada ($10,01-15 \text{ mg.dm}^{-3}$). O mesmo procede para o Cu, com valores superiores ao considerado ideal para a cultura ($1,3 \text{ mg.dm}^{-3}$) (MESQUITA et al., 2016).

Para o P o talhão mais produtivo de Cat 99 diferiu com superioridade em relação aos demais em ambos os períodos (TABELA 3) e o teor está 13 vezes superior à faixa considerada ótima para a cultura. Os demais talhões, embora não tenham diferido entre si, não se enquadram nas mesmas classes de fertilidade. Por exemplo, o talhão menos produtivo de Cat 99 embora apresente menores teores que o talhão mais produtivo dessa cultivar, está acima do considerado ótimo ($13,5 \text{ mg.dm}^{-3}$). Os talhões da cultivar Rubi apresentam teores três vezes superiores ao adequado e os da cultivar cat 144 embora sejam menores, são duas vezes superiores ao valor mínimo considerado ótimo para a exigência nutricional da cultura.

O nível de K considerado bom para o cafeeiro varia entre 120 e 200 mg.dm^{-3} , acima de 200 mg.dm^{-3} é considerado muito bom. E dos seis talhões avaliados quatro (Cat 99 e Rubi de

maior e menor produtividade) apresentam teores de K acima de 200 mg.dm^{-3} , com destaque para o talhão mais produtivo da cultivar cat 99 com $388,3 \text{ mg.dm}^{-3}$ (TABELA 3). Os talhões com menores teores de K foram os dois da cultivar cat 144 com 150 e 198 mg.dm^{-3} , porém, considerados bons para o cafeeiro. No período úmido somente os talhões da cultivar Rubi estão acima do teor adequado, com superioridade do talhão mais produtivo em relação ao menos produtivo. Os demais talhões não diferem entre si e incluem-se na faixa considerada boa.

Para o enxofre classificado segundo o teor de P remanescente, não houve diferença em ambos os períodos e todos os talhões apresentaram teores superiores ao considerado ótimo para cultura (14 mg.dm^{-3}). O Ca, cuja disponibilidade está acima da exigência mínima da cultura, não apresentou diferença no período seco, porém no úmido a relação com a produtividade foi positiva em quatro dos seis talhões avaliados. Os talhões mais produtivos da Cat 144 e Cat 99 foram superiores aos menos produtivos das mesmas cultivares. O Mg diferiu somente no período úmido (TABELA 3), porém as diferenças não apresentam relação positiva com a produtividade.

Os teores de argila nos talhões das cultivares cat 144 e Rubi foram similares entre si com valores entre $46,0 - 47,5 \text{ dag. kg}^{-1}$, os quais diferiram com superioridade em relação aos da cultivar cat 99 (TABELA 3). Para silte somente o talhão mais produtivo da cultivar Cat 99 diferiu com superioridade em relação aos demais que não diferiram entre si. Os teores de areia compreenderam valores entre $15,0 - 19,7 \text{ dag kg}^{-1}$ e não diferiram entre si. Na segunda coleta os valores de argila, silte e areia são similares ao seco e não guardam nenhuma relação direta com a produtividade do cafeeiro.

Tabela 3 - Características químicas e físicas dos talhões do primeiro estudo coletados no período seco e úmido. (continua).

	Período Seco						
	Cat 99	Cat 99	Cat 144	Cat 144	Rubi	Rubi	CV%
pH⁽¹⁾ (H ₂ O)	6	6,3	5,7	5,6	5,7	5,8	7
P⁽²⁾ (mg dm ⁻³)	176 a	89,8 b	25,8 b	30,9 b	48,2 b	39,8 b	89
K⁽²⁾ (mg dm ⁻³)	388.3 ^a	243,2 b	198,5 b	150,8 b	260,4 b	202,7 b	37
Ca²⁺⁽³⁾ (cmol _c dm ⁻³)	7,7	5,7	4,3	4,5	5,2	5,2	37
Mg²⁺⁽³⁾ (cmol _c dm ⁻³)	3,7	2,7	1,2	1,9	2	1,8	50
S (mg dm ⁻³)	20,5	15	10	18,5	24,5	17,5	48
Zn⁺² (mg dm ⁻³)	24,8	15,2	14,8	24,2	24,9	17,6	29
Mn (mg dm ⁻³)	26,8	23,3	17	14,3	19,7	25,2	47
Cu (mg dm ⁻³)	50,9	34	35,2	21,5	29,7	49,1	27
SB (cmol _c dm ⁻³)	12,4	9,1	6	6,8	7,9	7,6	38
t (cmol _c dm ⁻³)	13,0 a	8,7 b	7,7 b	7,5 b	8,0 b	7,2 b	33
T (cmol _c dm ⁻³)	12,5	9,1	6,2	6,9	7,9	7,6	37
Al³⁺⁽³⁾ (mg dm ⁻³)	0,06	0,05	0,12	0,09	0,08	0,08	34
V (%)	71,6	71,7	50,4	52,8	59,2	60,1	26
M (%)	0,6	0,5	3,9	2,2	0,8	1,1	32
MO (dag kg ⁻¹)	5,8	4,1	4,5	4	5	4,2	20
Argila (dag kg ⁻¹)	35,2 b	41,7 b	47 a	47,5 a	47,2 a	47,5 a	11
Silte (dag kg ⁻¹)	47,2 a	38,5 b	36,5 b	34,7 b	37,7 b	38 b	12
Areia (dag kg ⁻¹)	17,5	19,7	16,5	17,7	15	16	13
	Período Úmido						
	Cat 99	Cat 99	Cat 144	Cat 144	Rubi	Rubi	CV%
pH⁽¹⁾ (H ₂ O)	6,2 a	6,0 a	6,0 a	5,5 b	5 b	5,7 a	8,7
P⁽²⁾ (mg dm ⁻³)	86,2 a	31,5 b	22,2 b	18,5 b	20,7 b	39,7 b	32
K⁽²⁾ (mg dm ⁻³)	155,5 b	162,5 b	153,2 b	158 b	311 a	214 b	6,8
Ca²⁺⁽³⁾ (cmol _c dm ⁻³)	8,7 a	6,2 b	8,7 a	5,7 b	3,0 c	5,7 b	26
Mg²⁺⁽³⁾ (cmol _c dm ⁻³)	2,0 a	2,2 a	1,7 a	1,7 a	1,0 b	1,0 b	36
S (mg dm ⁻³)	16,5	16	27	32,5	38,7	46,7	14
Zn⁺² (mg dm ⁻³)	22,7	15	19,5	17,5	15	16,7	23
Mn (mg dm ⁻³)	36,5	23,7	35,7	39,7	39,5	53,7	8,6
Cu (mg dm ⁻³)	20	20,2	14,7	8,2	16	12,7	60
SB (cmol _c dm ⁻³)	11,0 a	8,7 a	11,2 a	7,5 b	5,0 b	6,7 b	21
t (cmol _c dm ⁻³)	11,0 a	8,7 b	11,2 a	7,5 b	5,2 b	7,0 b	21
T (cmol _c dm ⁻³)	13,7 a	11,5 b	14,5 a	12,2 b	11,0 b	11,0 b	13
Al³⁺⁽³⁾ (mg dm ⁻³)	0	0	0	0	0	0	33

V (%)	77,7 a	72,5 a	77,2 a	64,2 a	44,7 b	61,0 a	15
M (%)	0,7 b	0,7 b	0,5 b	1,5 b	6,5 a	2,2 b	33
MO (dag kg⁻¹)	5,2 b	4,7 b	6,2 a	5,0 b	4,0 c	3,7 c	12
Argila (dag kg⁻¹)	42,7 b	40,7 b	40,5 b	48,2 a	44,5 b	49,5 a	8
Silte (dag kg⁻¹)	40,5 a	40,2 a	40,5 a	37,2 b	42,7 a	32,7 b	10
Areia (dag kg⁻¹)	16,5 a	18,5 a	19,0 a	14,0 b	12,7 b	16,7 a	9

(Conclusão)

Legenda: ⁽¹⁾pH em H₂O, KCl e CaCl₂ (1:2,5); ⁽²⁾P e K: Mehlich 1; ⁽³⁾Ca, Mg e Al: KCl -1mol/L; SB: Soma de bases trocáveis, t: capacidade de troca catiônica efetiva; T: capacidade de troca catiônica a pH 7,0: extraído pelo acetato de Ca 0,5 mol L⁻¹; V: índice de saturação de bases; m: índices de saturação de alumínio; MO: matéria orgânica. Valores médios obtidos a partir de quatro repetições em cada talhão.

Fonte: Do autor (2018).

4.6 Carbono da biomassa, respiração microbiana e quociente metabólico em talhões do primeiro estudo com diferentes cultivares.

Para carbono da biomassa microbiana (CBM) na coleta realizada no período seco, todos os talhões com as maiores produtividades diferiram com superioridade em relação àqueles com as menores produtividades. O talhão da cultivar Cat 99 com nível de produtividade de $38,74 \text{ sc.ha}^{-1}$ apresentou valor de CBM 24,4 % superior ao do talhão com menor produtividade ($18,11 \text{ sc.ha}^{-1}$). Para a cultivar Cat 144, o talhão com produtividade $20,3 \text{ sc.ha}^{-1}$, apresentou valores 79,6 % superiores aqueles obtidos no talhão de menor produtividade (15 sc.ha^{-1}). A mesma tendência foi observada na cultivar Rubi em que o talhão mais produtivo ($50,6 \text{ sc.ha}^{-1}$) apresentou 89,8 % de superioridade quando comparado ao talhão com a menor produtividade ($16,45 \text{ sc.ha}^{-1}$). Para a coleta realizada por ocasião das chuvas, quatro em seis talhões apresentaram relação positiva de CBM com a produtividade. Por exemplo, para as cultivares Cat 99 e Rubi os talhões com as maiores produtividades apresentaram superioridade de 107,2 e 568,6% em relação aos menos produtivos respectivamente. Para a cultivar Cat 144, não foi observada diferença entre os talhões para essas condições climáticas.

Para o atributo respiração basal (RB) no período seco, o talhão mais produtivo da cultivar Cat 99 diferiu com superioridade de 117,3 % em relação ao de menor produtividade. Não houve diferença entre os talhões da cultivar Cat 144. Mas o talhão mais produtivo da cultivar Rubi diferiu com valores 85,6 % superiores aos do talhão de menor produtividade ($18,11 \text{ sc.ha}^{-1}$). No período úmido, a respiração diferiu somente entre os talhões da cultivar Cat 144, porém com superioridade para o talhão de menor produtividade.

Para o quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) que relaciona a respiração e a biomassa microbiana, os maiores valores foram observados nos talhões menos produtivos das cultivares Cat 99 e Rubi. No período úmido, quatro entre os seis talhões avaliados apresentaram $q\text{CO}_2$ maior para os talhões de menor produtividade. O talhão menos produtivo da cultivar Cat 144 apresentou 212 % a mais que o mais produtivo, o mesmo segue para os talhões da cultivar Rubi (TABELA 4).

Tabela 4 - Carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal (RB), e quociente metabólico (qCO_2) em talhões do primeiro estudo.

Cultivar/talhão	Período seco			Período úmido		
	CBM	RB	qCO_2	CBM	RB	qCO_2
Cat 99	574,5 a	1553.1 a	2.69 b	201.25 a	259,2 a	0,75 a
Cat 99	284,2 b	714.5 b	4.87 a	97.75 b	108,7 a	0,50 a
Cat 144	510.5 a	829.7 b	4.44 a	356.2 a	154,5 b	0,40 b
Cat 144	284.2 b	758.7 b	2.55 b	290.0 a	215,7 a	1,25 a
Rubi	355.6 a	560,7 b	1.55 b	683.7 a	259,0 a	0,25 b
Rubi	187.3 b	1041,0 a	4.79 a	102.2 b	302,7 a	3,25 a
CV %	32	29	43	4,9	13	80

Fonte: Do autor (2018).

4.7 β -glucosidade, uréase, arilsulfatase e hidrolise do diacetado de fluoresceína em talhões do primeiro estudo.

Para a atividade da enzima β -glucosidase a relação com a produtividade foi positiva em todos os talhões nas coletas realizadas no período seco. O talhão da cultivar Cat 99 com nível produtivo de 38,74 sc.ha⁻¹, apresentou aumento de 426 % de atividade quando comparado ao talhão menos produtivo (18,11 sc.ha⁻¹). A mesma tendência de resposta foi observada entre os talhões da cultivar Cat 144 com superioridade de 29,7 % do talhão mais produtivo em relação ao menos produtivo. E para a cultivar Rubi o talhão com produtividade de 50.6 sc.ha⁻¹ foi 95,6 % superior em atividade da β -glucosidase em relação ao menos produtivo (16,45 sc.ha⁻¹). No período úmido, somente o talhão mais produtivo da cultivar Cat 99 diferiu em relação ao menos produtivo com 102,8 % a mais em atividade dessa enzima. Os demais talhões não diferiram entre si nessas condições climáticas (TABELA 5).

Para a urease no período seco, maiores atividades enzimáticas foram observadas em quatro dos seis talhões avaliados. Os talhões mais produtivos das cultivares Cat 99 e Cat 144 apresentaram atividade enzimática 70 e 107,8 % superiores ao menos produtivos respectivamente. No período úmido, os talhões de Cat 99, Cat 144 e Rubi com as maiores produtividades diferiram com superioridade de 34 e 36 e 54% respectivamente em relação aos talhões menos produtivos (TABELA 5).

A atividade da arilsulfatase não foi um bom discriminador das maiores produtividades em quatro dos seis talhões estudados no período seco, a exceção foi para a cultivar Cat 144, na qual o talhão mais produtivo apresentou maiores atividades dessa enzima. Porém no período úmido a maioria dos talhões mais produtivos tiveram os maiores atividades enzimática. Por exemplo, o talhão mais produtivo da Cat 99 apresentou valores 136% maiores

em relação ao talhão menos produtivo. A tendência se mantém entre os talhões da cultivar Cat 144 com 141% do mais produtivo. E os talhões da cultivar Rubi não diferiram entre si (TABELA 5).

Para a hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA) que expressa a atividade global enzimática do solo. A tendência de superioridade dos talhões mais produtivos aos menos produtivos só foi observada na cultivar Cat 144, na qual o talhão mais produtivo apresentou 90 % de superioridade em relação ao de menor produtividade. Porém diferenças claras foram observadas entre todos os talhões no período úmido (TABELA 5). O talhão com produtividade de 38,74 sc.ha⁻¹ da Cat 99 foi 20 % superior ao menos produtivo (18,11 sc.ha⁻¹), o mais produtivo da Cat 144 (20,3 sc.ha⁻¹) foi 9 % superior ao menos produtivo (15 sc.ha⁻¹) e o mais produtivo da cultivar Rubi (50,6 sc.ha⁻¹) foi superior em 60 % ao menos produtivo (16,45 sc.ha⁻¹).

Tabela 5 - Atividades enzimáticas da β - glucosidade (β - glu) urease e arilsulfatase (Aril) e a hidrólise do diacetato de fuoresceína do primeiro estudo com diferentes cultivares.

Cultivar- Talhão	Período seco				Período úmido			
	β - glu	Urease	Aril	FDA	β - glu	Urease	Aril	FDA
Cat99	1619.6 a	29.1 a	44.5 b	1182.2 b	92,7 a	31,2 a	97,0 a	275,7 a
Cat99	307.7 b	17.5 b	45.0 b	850.2 b	45,7 b	23,2 b	41,0 b	230,5 b
Cat144	366.8 a	13.8 b	55.9 a	1165.1 a	78,7 a	28,2 a	108,5 a	257,2 a
Cat144	282.8 b	10.3 b	33.5 b	611.6 b	60,5 a	20,7 b	45,0 b	237,0 b
Rubi	652.7 a	23.7 a	19.6 b	675.1 b	47,5 a	15,7 a	53,0 a	261,7 a
Rubi	333.6 b	11.4 b	69.2 a	623.1 b	41,5 a	10,2 b	56,7 a	165,7 b
CV %	31	39	22	24	22	19	3,7	5,5

Legenda: O código "cat" refere-se a cultivar Catuaí.

Fonte: Do autor (2018).

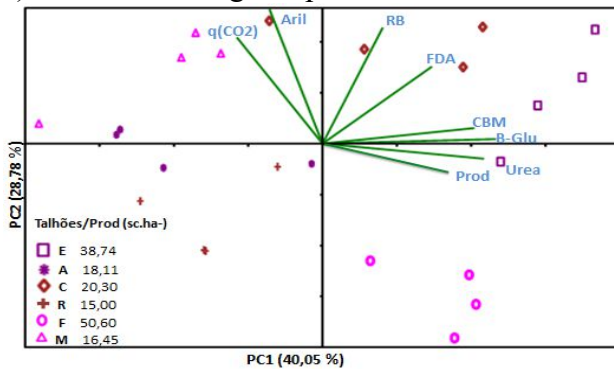
4.8 Análises de componentes principais para o primeiro estudo

Os atributos físico-químicos no período seco e úmido foram 68,24 e 54,83 % explicados pela análise de componentes principais (Figura 8b e 8c). No período seco, com exceção de H+Al, B e argila, todos os atributos avaliados apresentaram correlação positiva com a produtividade. Os maiores coeficientes de correlação foram para o K (0,88), soma de base e CTC efetiva (0,77), P e Zn (0,73), Mg (0,71) e matéria orgânica, Cu e Ca (0,61). No período úmido somente o P e o Cu apresentaram correlação significativa com a produtividade com coeficiente de correlação 0,72 e 0,73 respectivamente.

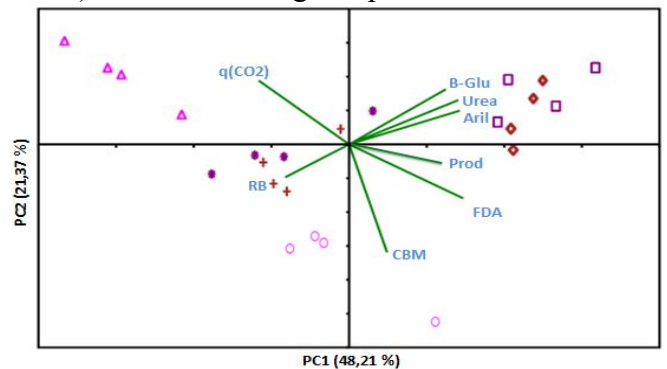
Os resultados da análise de componentes principais para os atributos microbiológicos explicou 69,28 % (PC1 e PC2) a variância dos dados para a estação seca e 69,58 % (PC1 e PC2) para a estação chuvosa (FIGURA 7a e 7b). No período seco os atributos β -glucosidade, urease, carbono da biomassa microbiana (CBM) e hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA) foram os que melhor separam os talhões mais produtivos, com maiores valores desses atributos para os talhões mais produtivos das cultivares Cat 144 e talhão Cat 99. O qCO_2 e a atividade da Arilsulfatase separaram os talhões menos produtivos e apresentaram correlação inversa com a produtividade. Entre esses atributos, a β -glucosidade e urease foram os que melhor se correlacionaram com a produtividade, com coeficientes de correlação de 0,81 e 0,69 respectivamente. No período úmido, com exceção da respiração microbiana e qCO_2 todos os atributos microbiológicos avaliados apresentaram correlação positiva com a produtividade, contudo o nível de significância foi menor em relação ao período seco (FIGURA 7a e 12).

Figura 7 - Análise de componentes principais (PCA) em talhões de café com diferentes níveis de produtividade.

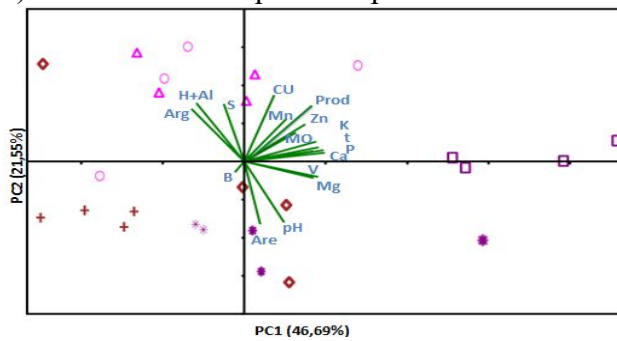
a) Atributos biológicos período seco



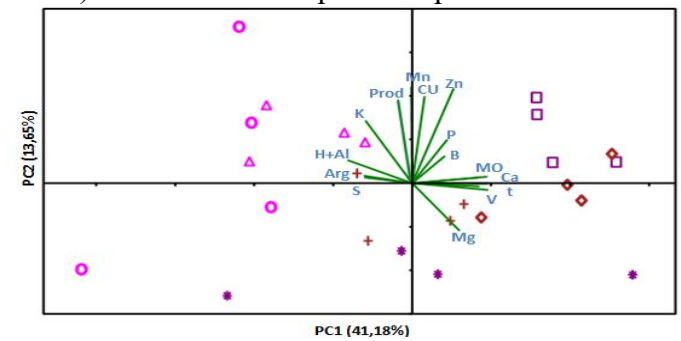
b) Atributos biológicos período úmido



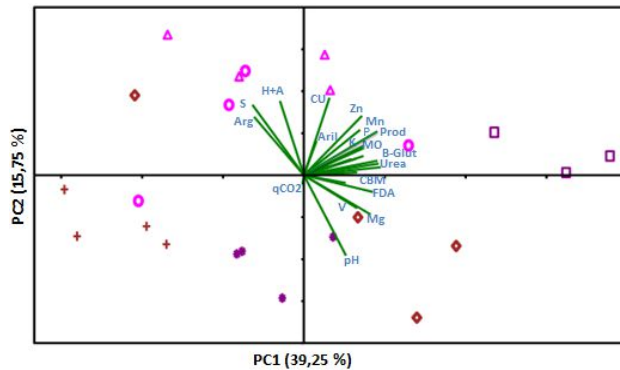
c) Atributos físico-químicos período seco



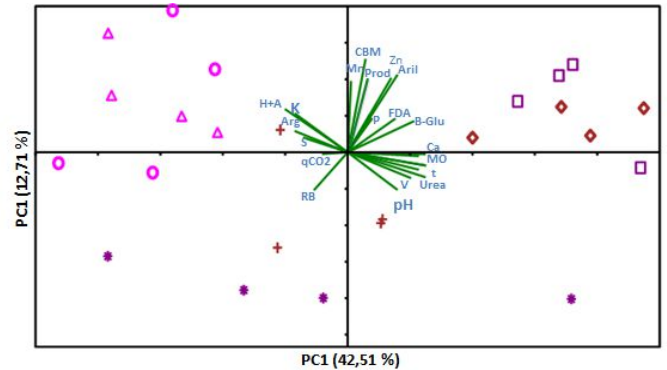
d) Atributos físico-químicos período úmido



e) Atributos físico-químicos e biológicos / seco



f) Atributos físico-químicos e biológicos / úmido



Legenda: A coloração violeta identifica os talhões da cultivar Catuaí 99, o marrom identifica os talhões da cultivar Catuaí 144 e a cor rosa identifica os talhões da cultivar Rubi. Carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal (BR), quociente metabólico (qCO_2), β -glucosidade (β -glu), urease (Urea), Arilsulfatase (Aril) e hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA). A decodificação para os atributos físico-químico é: Materia orgânica (MO), capacidade de troca catiônica efetiva (t), índice de saturação de base (V%), argila (arg) e areia (arei).

Fonte: Do autor (2018).

4.9 Atributos físicos e químicos para segundo estudo

Nas coletas realizadas em talhões da mesma cultivar, os valores de pH estavam dentro da faixa considerada ideal para a cultura (5,5 – 6,0) e não diferem entre si. De igual modo para o Al^{3+} , não diferença entre os talhões e com níveis inferiores ao considerado prejudicial para o cafeeiro ($0.4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Para o índice de saturação por bases (V %) o talhão C e o R, diferiram com superioridade em relação ao K e Y que não diferiram entre si (TABELA 6). Para esse atributo, os valores de K e Y são considerados medianos, enquanto os valores observados em C e R encontram-se entre a faixa boa para a cultura (60.1-80 %). Para a capacidade de troca catiônica efetiva (t) o talhão C foi superior aos demais os quais não diferiram entre si, para esse talhão o valor observado é superior a $8,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e portanto, é considerado excelente, contudo, os valores dos demais talhões embora sejam inferiores são considerados bons, pois estão entre $4,6 - 8,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (RIBEIRO et al., 1999; MESQUITA et al., 2016). Para soma de base (SB), embora haja diferença entre os talhões com superioridade para o C, todos os talhões estudados apresentam valores superiores a $6,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, portanto, considerados excelentes. Os teores de matéria orgânica diferiram com maiores valores observados no talhão C, o R apresentou valores intermediários, e os talhões K e Y os menores valores e não diferiram entre si. Essas diferenças se mantêm nos níveis de classificação para matéria orgânica para a cultura, com valores de K e Y no limite máximo

superior da classe considerada média (2,01 – 4,0 dag kg⁻¹) e os valores observados nos talhões C e R são classificados como bons pelo manual de recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais 5ª Aproximação (RIBEIRO et al., 1999; MESQUITA et al., 2016).

Em relação aos micronutrientes, o Mn apresentou correlação positiva com maiores valores para os talhões mais produtivos, porém sem uma tendência clara e crescente (TABELA 6), por exemplo, o talhão K embora não apresente a maior produtividade apresentou maior concentração de Mn, porém estatisticamente não há diferença entre os talhões mais produtivos. A mesma tendência segue para o Zn com maiores valores para o talhão C e R, porém entre K e Y a correlação é inversa, com maiores valores para o talhão Y de menor produtividade. Os valores de Cu não diferiram entre si. Para todos esses nutrientes, os valores são muito superiores àqueles considerados ideais para a cultura (RIBEIRO et al., 1999; MESQUITA et al., 2016).

O P nessa análise, não apresentou correlação positiva com a produtividade do cafeeiro. Os talhões C, K e R, embora sejam mais produtivos, apresentaram menores teores desse nutriente. O talhão Y com a menor produtividade apresentou valores cerca de 30 vezes superiores aos demais que não diferiram entre si. Os talhões C, K e R, embora tenham menores teores que Y estão entre 1,6 a 5,5 vezes superiores ao ótimo necessário para manutenção de lavouras cafeeiras (RIBEIRO et al., 1999; MESQUITA et al., 2016). Para o potássio os resultados são similares ao P (Tabela 6), pois os menores teores foram observados nos talhões de maiores produtividades. Contudo, todos os talhões apresentam teores considerados de bons a excelentes para a cultura.

Os níveis de enxofre não apresentaram relação positiva com a produtividade, pois embora o talhão K de segunda maior produtividade tenha apresentado altos teores ele se iguala estatisticamente ao talhão Y menos produtivo. Os talhões C e R não diferiram entre si. Porém em relação às exigências da cultura todos os talhões apresentam valores superiores ao mínimo considerado muito bom (14,2 mg.dm⁻³). Os teores de Ca e Mg não diferiram entre os talhões, contudo os maiores teores foram observados nos talhões mais produtivos. Não houve diferença entre os teores de argila e silte, mas para areia o talhão C diferiu com superioridade aos demais talhões que não diferiram entre si (Tabela 6).

Tabela 6 - Características químicas e físicas dos talhões da cultivar Catuaí 144, avaliados em período úmido no município de Patrocínio-MG.

Atributos Químicos									
Talhões	pH	P ⁽²⁾	K ⁽²⁾	Ca ²⁺⁽³⁾	Mg ²⁺⁽³⁾	Zn ⁺²	Mn	Cu	S
		-----mg dm ⁻³ -----		-----cmol _c dm ⁻³ -----		-----mg dm ⁻³ -----			
K	5,5	75,5 b	231,0 b	4,2 c	1,7	8,7 c	58,5 a	7,5	47,5 a
Y	5,7	403 a	343,0 a	4,0 c	1,5	14,5 b	15,7 b	12,1	39,1 a
R	5,7	19,2 b	183,5 b	6,0 b	1,7	17,5 a	40,7 a	8,2	17,5 b
C	6	22,2 b	153,2 b	8,7 a	1,7	19,5 a	35,7 a	14,7	27,1 b
CV %	7	36	28	19	39	15	40	40	29

Atributos Químicos							Atributos Físicos			
Talhões	SB	T	T	Al ³⁺⁽³⁾	V	m	MO	Argila	Silte	Areia
		----- cmol _c dm ⁻³ -----			-----%---		dag kg ⁻¹	----- dag kg ⁻¹ -----		
K	6,5 b	11,2 b	6,5 b	0,10	57,2 b	1,7	4,0 c	49,1	37,1	13,5 b
Y	6,2 b	11,0 b	6,5 b	0,10	56,7 b	2,1	4,0 c	47,7	37,5	14,1 b
R	7,7 b	12,0 b	6,7 b	0,09	67,5 a	1,2	5,0 b	45,1	40,5	15,2 b
C	11,2 a	14,5 a	11,2 a	0,06	77,2 a	0,5	6,2 a	40,5	41,1	19,1 a
CV %	13	8	12	30	12	60	5	5	7	7

Legenda: ⁽¹⁾pH em H₂O, KCl e CaCl₂ (1:2,5); ⁽²⁾P e K: Mehlich 1; ⁽³⁾Ca, Mg e Al: KCl -1mol/L; SB: Soma de bases trocáveis, t: capacidade de troca catiônica efetiva; T: capacidade de troca catiônica a pH 7,0; extraído pelo acetato de Ca 0,5 mol L⁻¹; V: índice de saturação de bases; m: índices de saturação de alumínio; MO: matéria orgânica. Valores médios obtidos a partir de quatro repetições em cada talhão.

Fonte: Do autor (2018).

4.10 Atributos microbiológicos do segundo estudo

Para os atributos microbiológicos, a tendência de superioridade não se evidencia sempre dos talhões mais produtivos para os menos produtivos. Contudo, a maioria desses atributos foram positivamente relacionados com as maiores produtividades. A arilsulfatase, por exemplo, apresentou relação clara com a produtividade (TABELA 7). O talhão C com a maior produtividade (20,32 sc.ha⁻¹) diferiu com 72 % de superioridade em relação ao talhão K (17,01 sc.ha⁻¹), este por sua vez foi superior em 40 % ao R (14,92 sc.ha⁻¹) que não diferiu do Y.

Para a atividade da urease segue-se a mesma tendência, com maiores atividades enzimáticas para os talhões de maior produtividade (C e K). Estes talhões apresentaram na média, 33 % a mais de atividade em relação ao talhão R com produtividade intermediária. Este último diferiu com 42 % de superioridade quando comparado com o talhão Y de menor

produtividade. A β -glucosidade apresentou relação positiva com a produtividade e os maiores valores de atividade dessa enzima foram observados no talhão mais produtivos. A hidrólise do diacetato de fluoresceína não apresentou relação positiva com a produtividade, pois embora o talhão C tenha diferido com superioridade de K e R, não diferiu do Y de menor produtividade.

O carbono da biomassa microbiana diferiu somente para o talhão K com segunda maior produtividade. Os demais talhões não diferiram entre si. A respiração basal foi negativamente correlacionada com a produtividade, pois os talhões menos produtivos foram os que apresentaram maiores taxas de respiração (TABELA 7). A mesma tendência segue para o qCO_2 em que os talhões menos produtivos (R e Y) diferiram com superioridade em relação aos mais produtivos (C e K).

Tabela 7 - Carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal (RB), quociente metabólico (qCO_2) atividades da β -glucosidade (β -glu) urease, Arilsulfatase (Aril) e hidrólise do diacetato de fuoresceína em talhões com mesma cultivar.

Cultivar-Talhão	CBM	RB	qCO_2	B-glu	Urease	Aril	FDA
Catuaí 144-C	356,34 b	59,07 b	0,19 b	78,55 a	28,08 a	108,62 a	257,15 a
Catuaí 144-K	518,94 a	64,58 b	0,13 b	45,51 c	26,88 a	62,99 b	164,08 c
Catuaí 144-R	289,94 b	302,84 a	1,22 a	60,57 b	20,65 b	45,05 c	236,93 b
Catuaí 144-Y	292,61 b	325,06 a	0,94 a	37,91 c	14,52 c	32,97 c	277,81 a
CV %	15	27	34	15	16	18	7

Fonte: Do autor (2018).

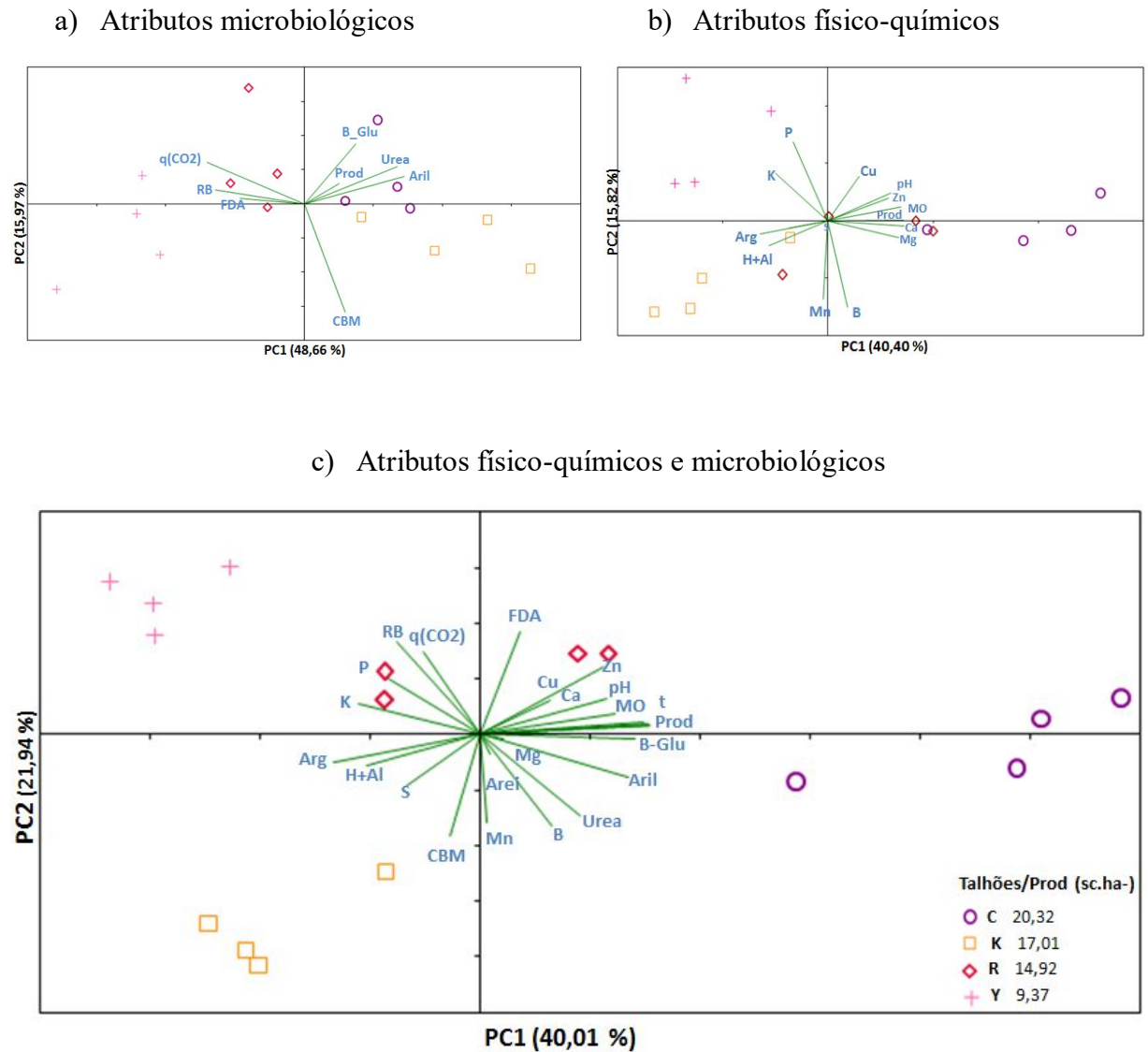
4.11 Análise de componentes principais para talhões do segundo estudo

Os resultados da PCA para os atributos físicos e químicos em talhões de mesmas cultivares explicaram 56,22 % à variância dos dados (FIGURA 8b). Nessa avaliação a matéria orgânica, pH, Ca, Mg, Cu e Zn foram os atributos que melhor separam o talhão C de maior produtividade. Os resultados da figura 8c reforçam os observados nas figuras 8a e 8b com destaque para o P e K, cujos maiores valores foram observados no talhão Y de menor produtividade, indicando correlação negativa desses nutrientes com a produtividade, nas condições avaliadas.

Os atributos microbiológicos foram 64,63 % (PC1 46,66 % e PC2 15,97 %) explicados pela PCA (FIGURA 8a). A β -glucosidade, urease, arilsulfatase e carbono da biomassa microbiana, foram os atributos que melhor separaram os talhões com maiores produtividades (C 20,3 e K 17,1 $sc.ha^{-1}$). Estes atributos se correlacionaram positivamente com a

produtividade e apresentaram maiores valores para os talhões C e K. Os atributos $q\text{CO}_2$, respiração basal e hidrólise do diacetato de fluoresceína apresentaram maiores valores para os talhões menos produtivos (R e Y) e se correlacionaram negativamente com a produtividade (FIGURA 8a e 15).

Figura 8 - Análise de componentes principais (PCA) em talhões de café da cultivar Catuaí 144 com diferentes níveis de produtividades.



Legenda: Carbono da biomassa microbiana (CBM),respiração basal (BR), quociente metabólico ($q\text{CO}_2$), β -glucosidade (β -glu), urease (Urea), Arilsulfatase (Aril) e hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA). A decodificação para os atributos físicos é: Materia orgânica (MO), capacidade de troca catiônica efetiva (t), argila (arg) e areia (arei).

Fonte: Do autor (2018).

5 DISCUSSÃO

A produtividade é um componente que possui estreita correlação com a qualidade do solo. Os solos manejados sob as primícias de modelos conservacionistas propiciam condições que resultam em altas produtividades. É oportuno destacar que a produtividade não depende somente dos componentes associados ao solo, mas também é resultado de um conjunto de fatores que incluem: Clima, material genético, disponibilidade de água, manejos gerais, etc. Essa pesquisa preconizou isolar esses componentes, a fim de garantir que as respostas sejam condicionadas a fatores inerentes ao solo. No solo, os condicionadores de boas produtividades não influenciam isoladamente nas respostas, mas agem conjuntamente a partir de um equilíbrio entre componentes físicos químicos e biológicos que determinam a capacidade produtiva do solo (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006; PAZ-FERREIRO et al., 2016). Os esforços da pesquisa concentram-se em identificar parâmetros específicos para estimar a qualidade do solo. Porém, selecionar estes parâmetros é uma tarefa difícil, pois são inúmeras as propriedades relacionadas ao bom funcionamento desse sistema (GIL- SOTRES et al, 2005). A impossibilidade de considerar todas essas propriedades implica em escolhas. Nessa perspectiva o uso conjunto de propriedades ganha destaque, especialmente quando o intuito é relacionar com a produtividade. Em uma meta análise compilando os trabalhos publicados entre 1990 e 2003 referentes a qualidade do solo, Gil- Sotres et al, (2005) observaram que 40 % destes trabalhos usaram parâmetros bioquímicos gerais como carbono da biomassa microbiana, respiração e hidrólise do diacetato de fluoresceína como indicadores de qualidade.

Considerando todos os papéis que a biomassa microbiana exerce no solo é imprescindível seu uso como indicador de qualidade. Nesse trabalho, os maiores resultados de carbono da biomassa microbiana (CBM) apresentaram relação direta com as maiores produtividades do cafeeiro (FIGURA 7a e 7b). O comportamento claro de superioridade em CBM dos talhões mais produtivos em relação aos menos produtivos reforça a importância desse atributo como indicador de qualidade do solo. Os valores de CBM nos talhões mais produtivos (463, 355 e 510 mg de C.g de solo seco⁻¹) mostrados na tabela 4, se equiparam ou são superiores a valores encontrados em agricultura orgânica e em formas conservacionistas de uso do solo. Como por exemplo, sistemas orgânicos de produção de café arábica em São Paulo (AZEVEDO JUNIOR et al., 2017) e sistemas de rotação de cultura no cerrado (CARNEIRO et al., 2015). Esses valores indicam provável estado de equilíbrio na qualidade

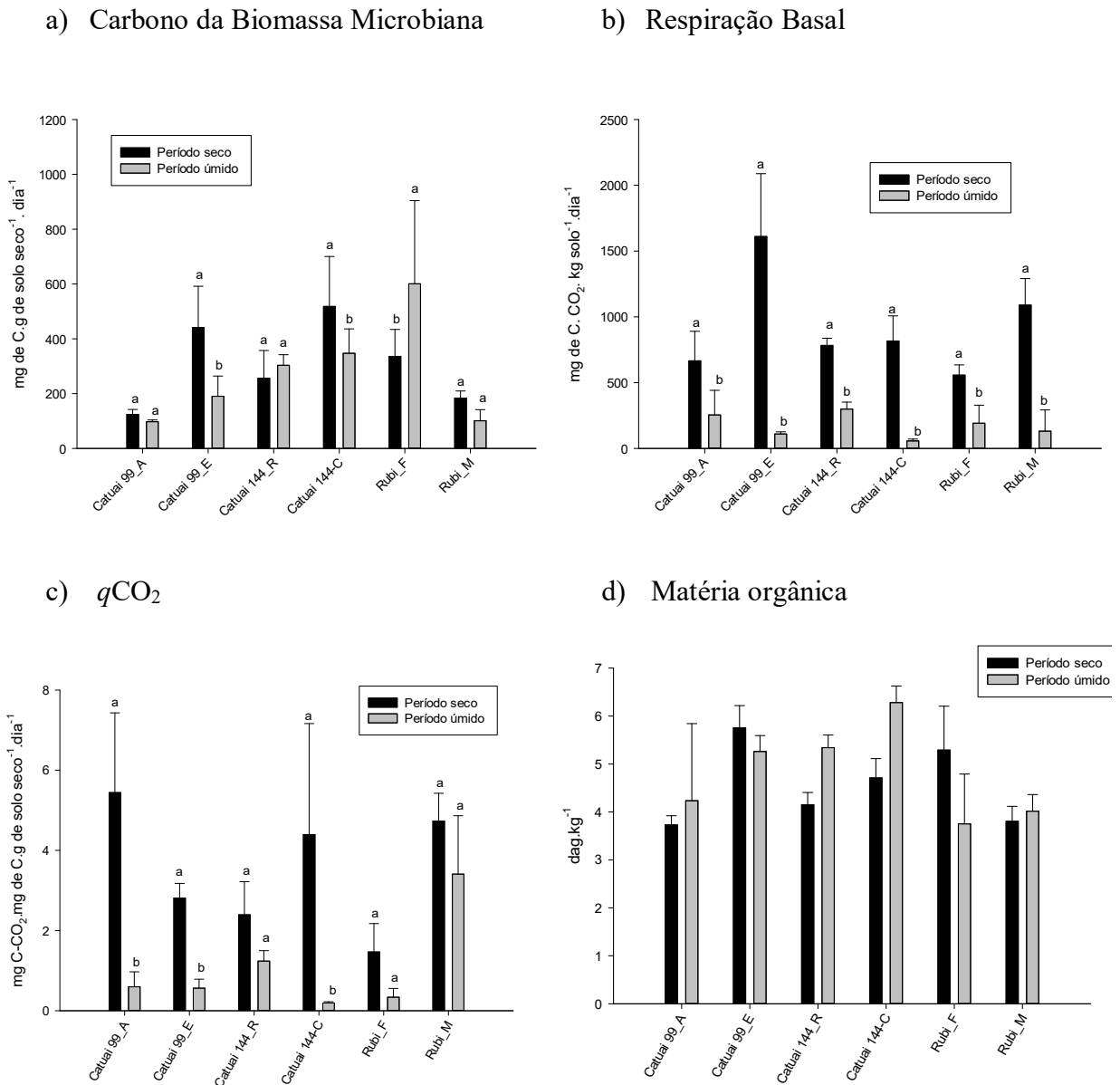
do solo desses talhões. Para esse atributo, os valores mostram relação positiva do CBM com a produtividade, contudo não se pode afirmar que as maiores produtividades foram em função dos maiores valores de CBM. Mas os resultados admitem inferir que o CBM permite discriminar os talhões mais produtivos (TABELA 4). Essa discriminação foi mais clara quando as análises foram feitas no período seco, condição onde foram observados os maiores valores de biomassa microbiana (FIGURA 7). A superioridade dos valores do período seco, confrontam os de outros autores que observaram maiores valores no período úmido (PAULUCIO et al., 2017; VILLANI et al., 2017; SILVA et al., 2018), porém valores maiores de CBM no período seco para solos cultivados com cana-de-açúcar foram referidos por Silva et al., (2012). Na avaliação feita no período úmido, as diferenças se mantêm, porém com menor magnitude entre os valores absolutos, indicando que para esse atributo, coletas feitas em períodos chuvosos podem não apresentar diferenças claras entre unidades experimentais (MARTINS et al., 2015). Já foi relatado por Silva et al., (2012) em trabalho comparativo de sistemas intactos, sistemas em recuperação e sistemas agrícolas cultivados com cana-de-açúcar que a biomassa microbiana em períodos chuvosos não se mostra eficiente em discriminar respostas, isso porque ela sofre poucas alterações nesse período. No entanto, em cerca de 1500 trabalhos publicados durante 13 anos foi observado que 41 % dos autores consideraram o CBM o atributo bioquímico geral mais confiável e que apresentou maiores relações com a qualidade do solo (GIL- SOTRES et al, 2005). Também foi relatado por Lammel et al., (2015) e Azevedo Junior et al., (2017) que o CBM foi um bom discriminador de diferentes sistemas de cultivo em cafeeiro com valores maiores para os sistemas de cultivo orgânico, ratificando os resultados observados nesse trabalho.

A respiração basal (RB) é um atributo bioquímico geral frequentemente utilizado como indicador de qualidade do solo por indicar o nível de atividade da comunidade microbiana. Contudo, é necessária atenção nas conclusões relativas a este atributo, pois pode ser influenciado tanto por mudanças na comunidade microbiana em resposta à adição de fontes de carbono, como também por condições estressantes impostas ao meio. Neste trabalho a respiração não se mostrou um bom discriminador e nem apresentou um padrão de correlação com a produtividade em ambos os períodos avaliados. No período seco, o talhão de maior produtividade da cultivar Cat 99 apresentou maior taxa respiratória (Figura 9b) e sendo um talhão de alta produtividade, é possível que as plantas desse talhão estivessem sob melhores condições nutricionais e de manejo. E ao produzirem e liberarem maior quantidade de compostos orgânicos via sistema radicular podem ter promovido aumento da comunidade e

consequente aumento na respiração microbiana. Este resultado é melhor observado na análise de componentes principais (FIGURA 7 a) em que a RB se mostra positivamente relacionada com esse talhão. Ademais, esse talhão continha maiores quantidades de resíduos vegetais nas entre linhas da cultura e consequente maior teor de matéria orgânica (TABELA 4). Estes provavelmente, ao entrarem em contato com a biomassa microbiana ativa, promoveram aumento na taxa de respiração por decorrência da atividade decompositora. Entretanto, no talhão M com a menor produtividade foram também observados altos valores de respiração basal (TABELA 4), nesse caso provavelmente o aumento da respiração se deu em função de desequilíbrio no ambiente, aumentando a atividade microbiana por condições estressantes. Estes efeitos parecem mais claros quando se observam os valores de qCO_2 para esses talhões. O talhão mais produtivo da cultivar Cat 99, por exemplo, apresentou menores valores de qCO_2 (FIGURA 9c) indicando estado de equilíbrio desse ambiente. Enquanto que para o talhão menos produtivo da Cat 144 os maiores valores indicam que a respiração não foi aumentada pelo aumento da comunidade microbiana.

O qCO_2 é a razão entre a atividade respiratória e o carbono da biomassa microbiana (PIRT, 1975; ANDERSON e DOMSCH, 1993). Por corroborar ao entendimento da eficiência do uso da matéria orgânica pelos microrganismos, constitui um indicador importante da qualidade do solo. Portanto, maiores valores de qCO_2 indicam que uma menor biomassa está respirando mais. Isso ocorre devido a necessidade dos microrganismos decompor fontes de carbono mais recalcitrantes disponíveis no solo para produção de energia (EVANGELISTA et al., 2013; PEREIRA et al., 2013). Na avaliação realizada no período seco, o qCO_2 se mostrou um bom discriminador de produtividade (FIGURA 9c), pois os menores valores estiveram sempre associados aos talhões mais produtivo. Este fato já foi relatado, porém para a cultura do arroz (GODOY et al., 2015), indicando que o aumento da respiração se deu em função do crescimento da comunidade microbiana do solo. Essa tendência se repete no período úmido, contudo sem diferenças significativas. Exceto para a cultivar Rubi na qual o talhão menos produtivo, apresentou maiores valores de qCO_2 , reforçando os resultados observados para o CBM. Essa tendência de aumento do qCO_2 em ambientes sob condições de estresse ecológico já foi bastante referida na literatura, inclusive em sistemas de produção de café (MELONNI et al., 2012; EVANGELISTA et al., 2013; LOPES et al., 2013; TAVARES et al., 2015; LAMMEL et al., 2015).

Figura 9 - Carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal (RB), quociente metabólico (qCO_2) e teor de matéria orgânica nos talhões períodos seco e úmido em diferentes talhões de café.



Fonte: Do autor (2018).

5.5 Atividades enzimáticas

As enzimas do solo atuam direta ou indiretamente no ciclo biogeoquímico dos nutrientes, principalmente naqueles mais associados às matrizes orgânicas como C, P, N e S. Assim, regulam suas disponibilidades e influenciam o crescimento vegetal e a produtividade (MEDEIROS et al., 2015; WAHSHA et al., 2016). Além disso, a sensibilidade às mudanças do ambiente confere a elas a capacidade de boas discriminadoras de diferentes formas de uso do solo. Essa capacidade foi recentemente relatada por Silva et al., (2018) em diferentes fitofisionomias e Azevedo Junior et al., (2017) em diferentes sistemas de produção de café. Neste trabalho, a atividade absoluta da β -glucosidase apresentou correlação positiva e significativa com a produtividade do cafeeiro, com coeficiente de correlação igual a 0,81. (Figura 9 a, b, e, f). No período úmido, as diferenças só foram significativas em dois entre os seis talhões avaliados. Porém, as diferenças entre todos os talhões mais produtivos em relação aos menos produtivos, no período seco, mostram influência da época de coleta nas respostas. De modo que, diferenças mais claras podem ser observadas em avaliações realizadas em períodos secos. Ademais, nós alertamos para maiores cuidados na determinação de índices de qualidade do solo, pois as condições climáticas poderão sub ou superestimar valores de atributos em mesmas áreas. Por exemplo, no período seco, nossos resultados mostraram atividade da β - glucosidase 2,4 a 10 vezes superior ao limite mínimo considerado adequada para o mesmo tipo de solo ($115 \text{ mg p-nitrophenol.kg}^{-1}.\text{solo h}^{-1}$) quando determinado em função do rendimento cumulativo (LOPES et al., 2012). Essa atividade, também foi 1,8 a 10 vezes superiores ao limite mínimo adequado ($150 \text{ mg p-nitrophenol. kg}^{-1}.\text{solo h}^{-1}$) determinado pelo conteúdo de carbono orgânico do solo (LOPES et al., 2012). Portanto, na determinação de índices, é necessário padronizar os períodos de coleta ou obter os valores a partir das médias dos períodos secos e úmidos.

Em meta análise com indicadores de qualidade do solo, a atividade da β - glucosidase foi considerada o indicador e discriminador mais confiável por 16 % dos autores para diferenciar diferentes formas de uso do solo (GIL- SOTRES et al, 2005). Contudo, não foram encontrados estudos correlacionando a atividade da β - glucosidase com a produtividade.

A urease é uma enzima de grande importância à agricultura. Por atuar na hidrólise e transformação da ureia no solo, tem papel fundamental na liberação do N para as plantas (ANDREWS et al., 1989; SHUKLA e VARMA, 2011). Embora a atividade absoluta dessa enzima seja considerada o indicador mais confiável por somente 11 % dos autores em meta análise (GIL- SOTRES et al, 2005). Nesse trabalho ela permitiu discriminar os talhões mais produtivos em ambas as condições climáticas avaliadas (TABELA 5). Os valores foram

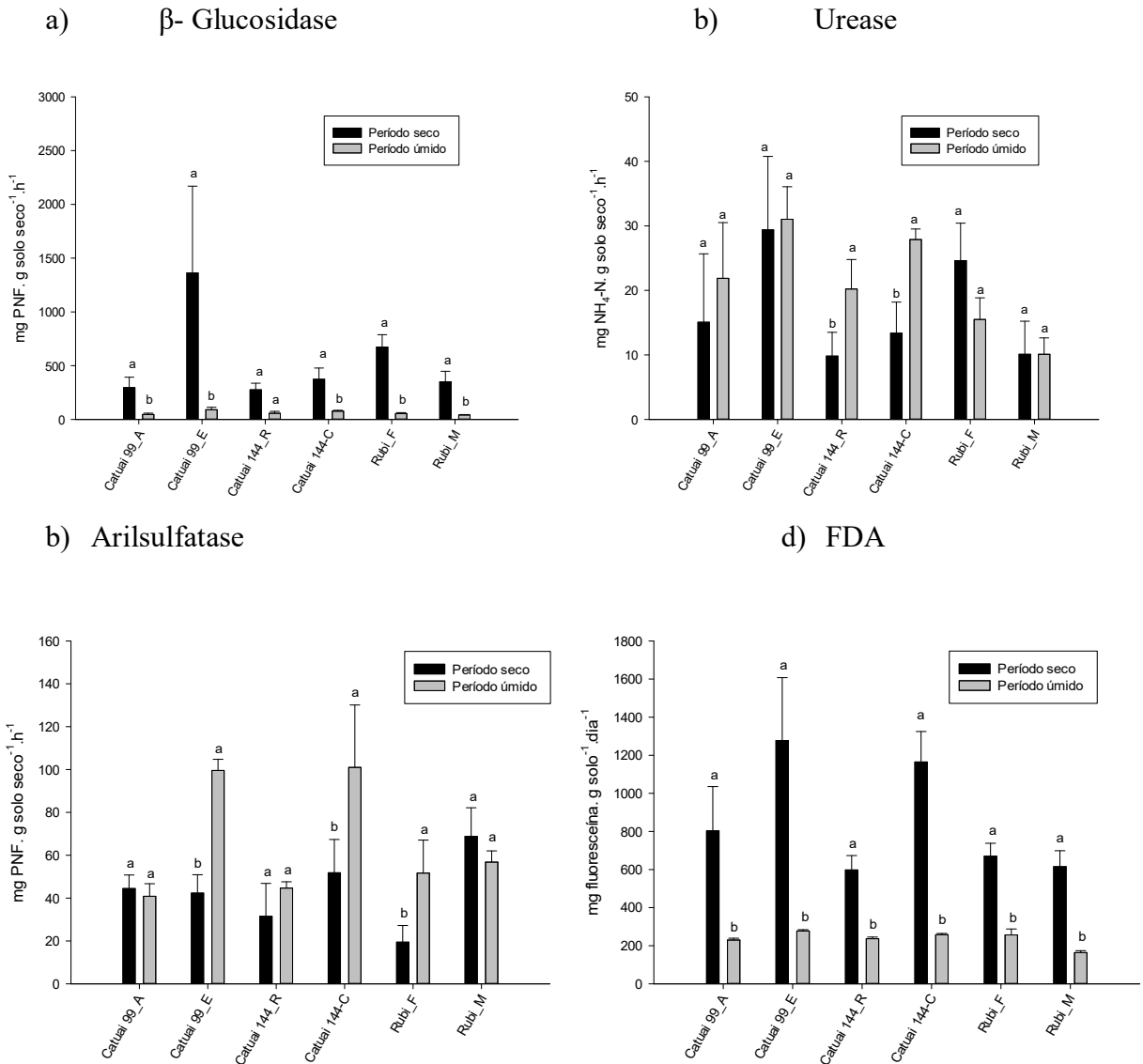
sempre maiores para os talhões mais produtivos mostrando relação positiva da urease com a produtividade. Esse fato é confirmado nas análises feitas no segundo estudo (TABELA 7), com superioridade dos talhões mais produtivos em relação aos menos produtivos. As diferenças claras no nível de atividade dessa enzima entre os talhões, mostra sua capacidade de discriminar as melhores produtividades do cafeeiro. Considerando que a qualidade do solo possui relação direta com a produtividade, esses resultados enaltecem o uso da urease como indicador de qualidade do solo, principalmente em áreas agrícolas. Porém, em se tratando de atividade enzimática, inferir que uma enzima reflete o estado de equilíbrio do solo é conceitualmente errado (NANNIPIERI et al., 1990; 1994), pois as reações no solo são complexas e envolvem mais de um processo (GIL- SOTRES et al, 2005; MOREIRA e SIQUEIRA, 2006), indicando à necessidade de avaliação de uma quantidade razoável de atributos. A capacidade da urease em discriminar formas de uso do solo já foi relatada na literatura (LONGO e MELO, 2005; ROLDÁN et al.,2005; YANG et al., 2006; VAND DEN BOSSHE et al., 2008; LANNA et al., 2010 LISBOA et al., 2012 e SILVA et al., 2018). Porém, nenhum desses autores correlacionaram ou usaram a atividade da urease como discriminadora de produtividade. Para essa enzima, o período de coleta não apresenta implicações, pois os valores são similares em ambos os períodos avaliados.

A atividade da enzima Arilsulfatase influencia no estado nutricional das plantas, principalmente pela disponibilização de S pela hidrólise de ésteres de sulfato no solo (TABATABAI, 1994; BANDICK e DICK, 1999 e KERTESZ e MIRLEAU, 2004). De acordo com Lopes et al. 2012 valores entre 36 e 90 mg p-nitrophenol kg⁻¹ soil h⁻¹ são considerados moderados e maiores que 90 mg p-nitrophenol kg⁻¹ soil h⁻¹ são considerados adequados como estimadores de qualidade do solo. Em nosso trabalho, somente os talhão mais produtivos de Cat 99 e Cat 144, no período chuvoso, apresentaram valores maiores que 90 mg p-nitrophenol kg⁻¹ soil h⁻¹. Considerando que o enxofre da análise química apresentou relação inversa com os talhões mais produtivos há possibilidade desse nutriente está sendo disponibilizado gradativamente via hidrólise de ésteres de sulfato por essa enzima. No período seco os valores abaixo de 90 mg p-nitrophenol kg⁻¹ soil h⁻¹ e a ausência de correlação de atividade com produtividade mostra a grande influência do período de coleta e da cultivar nos resultados para essa enzima, o que pode induzir conclusões pouco precisas. Isso porque os resultados obtidos na coleta feita em talhões de mesma cultivar e por ocasião das chuvas (TABELA 7 FIGURAS 8a e 10c) mostram relação positiva da atividade da arilsulfatase com a produtividade. Contudo, a ausência de um padrão repetido de relação implica em

impossibilidade de inferir que a atividade absoluta da arilsulfatase esteja associada com as maiores produtividades. Indicando necessidade de mais estudos, afim de melhor elucidar as respostas desse atributo na qualidade dos solos agrícolas.

A capacidade de hidrólise do diacetato de fluoresceína pelas enzimas é um atributo bioquímico geral de grande importância, pois pode representar a atividade global enzimática do solo. (SCHNÜRER e ROSWALL, 1982). Por oferecer referência sobre atividade de muitas enzimas, atende uma importante primícia para um bom indicador de qualidade. Nesse trabalho os valores observados no período seco apresentaram relação positiva com quatro dos seis talhões avaliados. No período úmido a relação ocorre em todos os talhões, indicando que diferenças podem ser observadas independentes da época de avaliação. Contudo, para elaboração de índices de qualidade do solo com esse atributo, as condições climáticas predominantes devem ser consideradas, pois valores muito superiores foram encontrados no período seco em relação ao chuvoso. A superioridade do período seco ao chuvoso tem relação direta com a biomassa microbiana e deve-se provavelmente às condições de saturação do solo causada pelas quantidade de chuvas e às temperaturas predominantes, pois embora houvesse disponibilidade de água as temperaturas mínimas chegaram a 12°C na época de coleta, inibindo a atividade microbiana no solo (ANDERSSON e NILSSON, 2001). Na literatura foram reportados aumentos da hidrólise do diacetato de fluoresceína pela mudança do uso do solo e adição de fontes de carbono (TRANNIN et al., 2007; CARNEIRO et al., 2008; CHÁVEZ et al., 2011), reforçando a possibilidade de uso desse indicador em associação com outros para monitoramento da qualidade do solo.

Figura 10 - Gráficos de atividade enzimática e hidrólise do ciacetato de fluoresceína (FDA) no período seco e úmido.



Fonte: Do autor (2018).

Entre os atributos físico-químicos do solo, a matéria orgânica foi capaz de separar os talhões com maiores produtividades. Os maiores teores nesses talhões permitem estabelecer relação positiva entre teores de matéria orgânica, atributos bioquímicos e produtividade. Já foram relatadas na literatura relações positivas entre microrganismos do solo e conteúdo de matéria orgânica (AZEVEDO JUNIOR et al., 2017; VILLANI et al., 2017; SILVA et al., 2018). Contudo, os sistemas de produção com uso ostensivo de técnicas e tecnologias convencionais, visando altas produtividades implicam, geralmente, em redução do teor de matéria orgânica do solo, principalmente em condições tropicais (COGO et al., 2013). Portanto, conciliar o aumento da produtividade com a melhor qualidade do solo é um dos grandes desafios da agricultura moderna. Nossos resultados indicam que os atributos

microbiológicos podem ser ferramentas úteis para avaliação da qualidade do solo e sua influência na produtividade das culturas. Associado a tendência dos resultados da matéria orgânica do solo, está a capacidade de troca catiônica efetiva (CTC) que embora não tenha mostrado capacidade de discriminar significativamente as maiores produtividades, apresenta relação positiva com a maioria dos talhões mais produtivos (FIGURA 7a, 7b e 8b). Não é incomum observar relação positiva da matéria orgânica com a CTC do solo (THOMAS et al., 2007), visto que o maior teor de matéria orgânica, pode resultar em benefícios às condições físico-químicas do solo e conseqüentemente à produção agrícola. Além disso, os compostos orgânicos complexam o Al tóxico e aumentam a mobilidade, no perfil do solo, dos produtos originados da dissolução do calcário aplicado em superfície (PAVINATO et al., 2008). Os resultados observados para Ca na tabela 6 mostram esse cenário, pois nas análises realizadas no segundo estudo o Ca se correlacionou positivamente com a maioria dos talhões mais produtivos.

Entre as demais variáveis físicas e químicas analisadas, a soma de bases, pH, V %, Mn, Cu, Zn, Mg, P e K apresentaram relação positiva com a produtividade do cafeeiro. Contudo, nos talhões de mesmas cultivares (segundo estudo) o P e K, necessários para a expressão de boas produtividades, foram negativamente correlacionados com os talhões mais produtivos. Provavelmente essa correlação inversa não interferiu nas respostas produtivas dos talhões, pois todos apresentaram nível de P e K superior ao necessário requerido pela cultura em fase de manutenção. Entretanto, essa superioridade foi alarmante entre os nutrientes, por exemplo, o P estava de 2 a 30 vezes superior ao considerado ideal para a cultura. De modo que, baseando-se nas análises químicas não foi possível explicar as diferentes produtividades entre os talhões. Além disso, os resultados mostram que mesmo os mais baixos valores encontrados são suficientes para expressão de boas produtividades, alertando para perdas econômicas e impactos ambientais pelo uso excessivo de adubos.

6 CONCLUSÕES

a) Entre os atributos físico-químicos, o teor matéria orgânica, CTC, soma de base, V% e macro e micronutrientes foram positivamente relacionados com as maiores produtividades.

b) Os maiores valores dos tributos microbiológicos foram positivamente relacionados com as maiores produtividade. Portanto, podem ser ferramentas úteis para avaliação da qualidade do solo e sua influência na produtividade das culturas.

c) A respiração microbiana basal não relação com a produtividade do café, porém sua avaliação é necessária, pois permite calcular o qCO_2 que se mostrou um bom indicador do estado de equilíbrio ecológico do solo.

d) A atividade da β -glucosidade e urease apresentaram maior capacidade de discriminação do potencial produtivo do solo nas condições avaliadas e variam com as condições climáticas predominantes, com melhor magnitude de respostas em épocas secas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEF, K. Estimation of soil respiration. In: Methods in applied soil microbiology and biochemistry. ALEF, K.; E NANNIPIERI, P. (Ed.), London, **Academic Press**, .p.214-219, 1995.
- ALTIERI, M. A. Agroecología: principios y estrategias para diseñar sistemas agrarios sustentables. In: SARANDÓN, S. J. (Ed.). Agroecología: el camino hacia una agricultura sustentable. Buenos Aires: **Ediciones Científicas Americanas**. p. 49-56, 2002.
- ALVAREZ, R.; DOAZ, R. A.; BARBERO, N.; SANTANATOGLIA, O. J.; BLOTTA, L. Soil organic carbon, microbial biomass and CO₂-C production from there tillage systems. **Soil e Tillage Reserch**, v. 33, n .4, p. 17-28, 1995.
- AMARAL, J.F.T.; MARTINEZ, H.E.P.; LAVIOLA, B.G.; TOMAZ, M.A.; FERNANDES FILHO, E.I.; CRUZ, C.D. Produtividade e eficiência de uso de nutrientes por cultivares de cafeeiro. **Coffee Science**, v.6, p.65-74, 2011.
- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Carbon assimilation and microbial activity in soil. **Zeitschrift für Panzenernaehrungund Bodenkunde** v. 149, p. 457-468, 1986.
- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biol. Biochem.**, v. 25, p. 393-395, 1993.
- ANDERSSON, S.; NILSSON S.I. Influence of pH and temperature on microbial activity, substrate availability of soil-solution bacteria and leaching of dissolved organic carbon in a mor humus. **Soil Biol. Biochem.** v. 33, p. 1181-1191, 2001.
- ANDREWS, R. K.; BLAKELEY, R. L.; ZERNER B. Urease: a Ni (II) metalloenzyme. In: Lancaster JR (ed) **The bioinorganic chemistry of nickel**. VCH, New York, p. 14-66, 1989.
- ANGHINONI, I.; VENSKE, C. S. L.; CARVALHO, P. C. F.; POSSELT, A. M. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuaria em plantio direto, submetido a intensidade de pastejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 34, n. 1, p. 79-88, 2010.
- ANTHONY, F.; BERTRAND, B.; QUIROS, O.; WILCHES, A.; LASHERMES, P.; BERTHAUD, J.; CHARRIER, A. Genetic diversity of wild coffee (*Coffea arabica* L.) using molecular markers. **Euphytica**, p.1-13, 2000.
- ARSHAD, M. A.; MARTIN, S. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment** v. 88, p. 153-160, 2002.
- AZEVEDO JUNIOR, R.R.; SANTOS, J.B.; BARETTA, D.; RAMOS, A.C.; CARDOSO, E.J.B.N. Chemical and microbiological soil properties in organic and conventional management systems of *Coffea arabica* L. **J. Plant Nutr.**, v. 40, p. 2076-2086, 2017.

BALOTA, E. L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; DICK, R. P. Microbial biomass in soils under different tillage in crop rotation systems. **Biology Fertility Soils**, v.38, p. 15-20, 1996.

BANDICK, A. K.; DICK, R. P. field management effects on soil enzyme activities. **soil biol. biochem.**, v. 31, p. 1471-1479, 1999.

BROOKES, P. C.; LANDMAN, A.; PRUDEN, G.; JENKINSON, D. S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 17, n.6, p. 837-842, 1985.

BYRNES B. H, AMBERGER A. Fate of broadcast urea in a flooded soil when treated with N-(nbutyl) thiophosphoric triamide, a urease inhibitor. **Fertil. Res.**, v 18, p. 22-231, 1989.

CARNEIRO, M. A. C.; ASSIS, P. C. R.; MELO, L. B. C.; PEREIRA, H. S.; PAULINO, H. B.; NETO, A. N. da S. Atributos bioquímicos em dois solos de Cerrado sob diferentes sistemas de manejo e uso. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 38, p. 276-283, 2009.

CARVALHO, A. Distribuição geográfica e classificação bôtanica do gênero *Coffea* com referência especial à espécie Arabica. **Separata dos Boletins da Superintendência dos Serviços do Café**, n. 226-230, São Paulo, 1946.

CARVALHO, A. M.; CARDOSO, D. A.; CARVALHO, G. R.; CARVALHO, V. L.; PEREIRA, A. A.; FERREIRA, A. D.; CARNEIRO, L. F. Comportamento de cultivares de cafeeiro sob a incidência das doenças da ferrugem e cercosporiose em dois ambientes de cultivo. **Coffee Science**. Lavras, MG. v. 12, n.1, p. 100-107, 2017.

CARVALHO, A.; FAZUOLI, L. C. Café. In: FURLANI, A. M. C.; VIÉGAS, G. P. (Eds.). O melhoramento de plantas no Instituto Agrônomo. Campinas: **Instituto Agrônomo**, 1993. p.29-76.

CARVALHO, A.; MÔNACO, L. C.; FAZUOLI, L. C. Melhoramento do cafeeiro. XL. Estudo de progênies e híbridos de café Catuaí. **Bragantia, Campinas**, v.38, n.22, p.203-216, 1979.

Carvalho, A.M, Mendes, A. N. G.; Carvalho, G. R.; Botelho, C. E. Correlação entre crescimento e produtividade de cultivares de café em diferentes regiões de Minas Gerais, **Brasil. Pesq. Agropec. Bras.** 45: 269-275, 2010.

CARVALHO, C.H.M. de; COLOMBO, A.; SCALCO, M.S.; MORAIS, A.R. de. Evolução do crescimento do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) irrigado e não irrigado em duas densidades de plantio. **Ciência e Agrotecnologia**, v.30, p.243-250, 2006.

CHAVEZ, L. F.; ESCOBAR, L. F.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F. e MEURER, E. J. Diversidade metabólica e atividade microbiana no solo em sistema de integração lavoura pecuária sob intensidades de pastejo. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 46, p.1254-1261, 2011.

COGO, F.D.; ARAUJO-JUNIOR, C.F.; ZINN, Y.L.; DIAS JUNIOR, M.S.; ALCÂNTARA, E.N., GUIMARÃES, P.T.G.. Estoques de carbono orgânico do solo em cafezais sob diferentes sistemas de controle de plantas invasoras. (In Portuguese, with English abstract) **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, p. 1089-1098, 2013.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento**. 2017. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/boletim-cafe-maio, 2017>.

DIACK, M. Relationships between soil biological and chemical characteristics and surface soil structural properties for use in soil quality. Purdue: **Purdue University**, p. 220, 1997. (Tese de Doutorado).

DICK, R. P.; BREAKWELL, D. P. ; TURCO, R. F. Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators. In: DORAN, J.W.; JONES, A. J., eds. *Methods for assessing soil quality*. **Madison, Soil Science Society of America**, p. 247-272, 1996.

DICK, R. P.; BREAKWELL, D. P.; TURCO, R. F. Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J., (eds) *Methods of assessing soil quality*. **Soil Science Society of America**, Madison, WI, p. 247 -271, 1996.

DICK, W. A.; CHENG, L, WANG, P. Soil acid and alkaline phosphatase activity as pH adjustment indicators. **Soil Biol Biochem**, v. 32, p. 1915-1919, 2000.

DODGSON, K. S.; WHITE, G, FITZGERALD, J. W. Sulphatase enzyme of microbial origin. **Afr J Biotechnol**, v. I. CRC, FL, p. 156-159, 1982.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Eds.), *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*, Madison, WI. **Soil Sci. Soc. Am.**, V. 35, p. 3-21, 1994. (special publication).

EIVAZI, F.; TABATABAI, M. A. Phosphates in soils. **Soil Biol Biochem** v. 9, p. 167-172. 1977.

ELLIOTT, E.T.. The potential use of soil biotic activity as an indicator of productivity, in: PANKHURST, C.E.; DOUBE, B.M.; GUPTA, V.V.S.R.; GRACE, P.R. (Eds.), **Soil Biota: Management in Sustainable Farming Systems**. CSIRO, Melbourne, p. 250–256, 1994.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Manual de métodos de análises de solo. **2 ed. rev. atual**. Rio de Janeiro, p. 1997- 212, 2009.

ESEN, A. B-glucosidases: overview. In: ESEN, A. (ed) *b-glucosidases and molecular biology*. **American Chemical Society**, Washington, DC, p. 9-17, 1993.

EVANGELISTA, C. R.; PARTELLI, F.L.; FERREIRA, E. P. B.; PIRES, F. R. Atributos microbiológicos do solo na cultura da cana-de-açúcar sob manejo orgânico e convencional. **Semina: Ci. Agra**. v. 34, p.1549-1562, 2013.

FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Statistical Databases. Agriculture. 2015. Disponível em: <http://www.fao.org/family-farming / detail / en / c / 462345 />.

FAZUOLI, L. C. Genética e melhoramento do cafeeiro. In: RENA, A. B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. *Cultura do cafeeiro*. Piracicaba: **Potafós**, p. 87-113, 1986.

FROUZ, J.; NOVÁKOVÁ, A. Development of soil microbial properties in top soil layer during spontaneous succession in heaps after brown coal mining in relation to soil microstructure development, **Geoderma**, v. 129, p. 54-64, 2005.

GARCÍA-ORENES, F.; ROLDÁN, A.; MATAIX-SOLERA, J.; CERDÀ, A.; CAMPOY, M.; ARCENEGUI, V.; CARAVACA, F. Soil structural stability and erosion rates influenced by agricultural management practices in a semi-arid Mediterranean agro-ecosystem. **Soil Use and Management**, v. 28, p. 571-579, 2012.

GIANFREDA, L.; RUGGIERO, P. Enzyme activities in soil. In Soil biology, nucleic acids and proteins in soil, NANNIPIERI, P.; SMALLA, K. (eds). **springer-verlag**: Berlin Heidelberg, v. 8, 2006.

GODOY, S.G.; STONE L.F.; FERREIRA, E.P.B.; COBUCCI T.; LACERDA M.C.. Correlação entre produtividade do arroz no sistema semeadura direta e atributos do solo. **Rev. Bras. Eng. Agr. Amb.** v. 19(2), p. 119-125, 2015.

HAYNES, R. J., Size and activity of the soil microbial biomass under grass and arable management. **biol. fert. soils.**, v. 30, p. 210-216, 1999.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**: Levantamento sistemático da produção agrícola, 2017. Disponível em: [ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao Agricola/Levantamento_Sistemático_da_Producao_Agricola_\[mensal\]/Fasciculo/lspa, 2017, 01.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistemático_da_Producao_Agricola_[mensal]/Fasciculo/lspa, 2017, 01.pdf)

JENKINSON, D. S.. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. IV. The decomposition of fumigated organisms in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 8, n.1, p. 203-208, 1976.

KARLEN; STOTT; KARLEN, D. L., STOTT, D. E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A.; (Eds.), *Defining Soil Quality for A Sustainable Environment*, Madison, WI. **Soil Sci. Soc. Am.** v. 35, p. 53-72, 1994. (special publication)

KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA M. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. **Soil Biol Biochem** v. 42, p.1–13, 2010.

KERTESZ, M. A.; MIRLEAU, P.; The role of soil microbes in plant sulphur nutrition. **J Exp Bot**, 2004.

KOURTEV, P. S.; EHRENFELD, J. G.; HUANG, W. Exotic plant species alter microbial structure and function in the soil. **Ecology**, v. 85, p. 315-266, 2002.

LAMMEL, D.R.; AZEVEDO, L.C.B.; PAULA, A.M., ARMAS, R.D.; BARETTA, D.; CARDOSO, E.J.B.N. Microbiological and faunal soil attributes of coffee cultivation under different management systems in Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 75, p. 894-905, 2015.

LANNA, A. C.; SILVEIRA, P. M. D. A.; SILVA, M. B. D. A.; FERRARESI, T. M.; KLIEMANN, H. J. Atividade de urease no solo com feijoeiro influenciada pela cobertura

vegetal e sistemas de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p.1933-1939, 2010.

LEE, S. S.; LIM, J. E.; EL-AZEEM, S. A. M. A., CHOI, B., OH, S. E., MOON, D. H.; OK, Y. S. Heavy metal immobilization in soil near abandoned mines using eggshell waste and rapeseed residue. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 20, p. 1719-1726, 2013.

LISBOA, B. B.; VARGAS, L. K.; SILVEIRA, A. O.; MARTINS, A. F.; SELBACH. Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 1, p. 45-55, <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000100004>, 2012.

LONGO, R. M.; MELO, W. J., Atividade da uréase em Latossolos sob influência da cobertura vegetal e da época de amostragem. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 29: p.645-650, 2005.

LOPES A. A. C, SOUSA D. M. G.; CHAER G, REIS JÚNIOR F. B.; GOEDERT W. J.; MENDES IC. Interpretation of microbial soil indicators as a function of crop yield and organic carbon. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 25, p. 461-472, 2013.

LOPES, A. A. DE C.; SOUSA, D. M. G. DE; CHAER, G. M.; REIS JUNIOR, F. B. DOS; GOEDERT, W. J.; MENDES, I. DE C. Interpretation of microbial soil indicators as a function of crop yield and organic carbon. **Soil Science Society of America Journal**, v.77, p.461-472, 2013. [http:// dx.doi.org/10.2136/sssaj2012.0191](http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2012.0191).

MARTINS, B. H.; ARAUJO-JUNIOR, C. F.; MIYAZAWA, M.; VIEIRA, K. M.; MILORI, D. M. B. P. Soil organic matter quality and weed diversity in coffee plantation area submitted to weed control and cover crops management. **Soil & Tillage Research**, v. 153(1), p. 169-174, 2015.

MATIELLO, J.B. et al. Cultura de café no Brasil – Novo manual de recomendações. Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ – **Fundação PROCAFÉ**, p. 387, 2002.

MATIELLO, J.B. O café: Do cultivo ao consumo. São Paulo: **Globo**, p.320, 1991.

MCGILL, W. B.; COLLE, C. V. Comparative aspects of cycling of organic C, N, S and P through soilorganic matter. **Geoderma** v. 26, p. 267-286, 1981.

MELLONI, R.; BELLEZE, G.; PINTO, A. M. S.; ALCÂNTARA, E. N. Impacto do controle de plantas espontâneas sobre propágulos de FMA's e micorrização de cafeeiro. **Coffee Science, Lavras**, v. 12, n. 2, p. 207 - 215, abr./jun. 2017.

MELLONI, R.; BELLEZE, G.; PINTO, A. M. S.; ALCÂNTARA, E. N. Métodos de controle de plantas daninhas e seus impactos na qualidade microbiana de solo sob cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.37, p.66-75, 2013.

MELLONI, R.; MELLONI, E. G. P.; ALVARENGA, M. I. N.; VIEIRA, F. B. Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no sul de Minas Gerais. **R. Bras. Ci. Solo**,v. 32, p. 2461-2470, 2008.

MESQUITA, C. M. Manual do café: manejo de cafezais em produção. Belo Horizonte, EMATER-MG, p 72, 2016.

MOHAMMED, A.; JAMBO, A. Importance and Characterization of Coffee Berry Disease (*Colletotrichum kahawae*) in Borena and Guji Zones, Southern Ethiopia. **Journal of Plant Pathology e Microbiology**, v. 6, 1-6, 2015.

MOREIRA, F. S., SIQUEIRA, J. O. Microbiologia e Bioquímica do Solo. **Editora UFLA**, Lavras, MG, Brasil, p. 729, 2006.

MUDGE, S. R.; RAE, A. L.; DIATLOFF, E.; SMITH, F.W. Expression analysis suggests novel roles for members of Pht1 family of phosphate transporters in Arabidopsis. **Plant J** 31:341-353, 2002.

NANNIPIERI, P.. The potential use of soil enzymes as indicators of productivity, sustainability and pollution, in: PANKHURST, C.E., DOUBLE, B.M., GUPTA, V.V.S.R., GRACE, P.R. (Eds.), **Soil Biota: Management in Sustainable Farming Systems**. CSIRO, Melbourne, p. 238-244, 1994.

NANNIPIERI, P.; CECCANTI, B.; GREGO, S.. Ecological significance of biological activity in soil, in: BOLLAG, J.M.; STOTZKY, G. (Eds.), **Soil Biochemistry**, vol. 6. Marcel Dekker, New York, p. 293-355, 1990.

NOGUEIRA, A. M.; BARTHOL, G. F.; LIVRAMENTO, D. E.; MAGALHÃES, M.; ROMANIELLO, M. M. ; PEREIRA, S. P. CARVALHO, G. R. Avaliação da produtividade de cultivares de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em Capelinha / MG. **Anais. Brasília, D.F. : Embrapa Café**, 2005.

PATRICK, Z. A. The peach replant problem in Ontario. II. Toxic substances from microbial decomposition products of peach root residues. **Can J Bot** v. 33, p. 461-486, 1955.

PAULUCIO, V.D.O.; SILVA, C.F.; MARTINS, M.A.; PEREIRA, M.G.; SCHIAVO, J.A.; RODRIGUES, L.A., Reforestation of a degraded area with Eucalyptus and Sesbania: microbial activity and chemical soil properties. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, p. 1-14, 2017.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A.. Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 911-920, 2008.

PAZ-FERREIRO J.; TRASAR-CEPEDA C.; LEIRÓS M. D. C.; SEOANE S.; GIL-SOTRES F. Intra-annual variation in biochemical properties and the biochemical equilibrium of different grassland soils under contrasting management and climate. **Biol Fertil Soils** v. 47, p. 633–645, 2011.

PAZ-FERREIRO, J.; FU, S. biological indices for soil quality evaluation: perspectives and limitations. Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com). **Land Degrad. Develop.**, v. 27, p. 14-25, DOI: 10.1002/ldr.2262, 2016.

PEREIRA, A. A.; OLIVEIRA, M. A.; LEAL, J.; ILTON, C. Custo de transporte e alocação da demanda: análise da rede logística de uma produtora brasileira de fertilizantes nitrogenados. **J. Transp. Lit.**, Manaus , v. 10, n. 4, p. 5-9, Dez. 2016.

PIRT S. J. Principles of Microbe and Cell Cultivation. Blackwell, Oxford, 1975.

- POWLSON, D. S., P. C. BROOKES, B. J. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw decomposition, **Soil Biology and Biochemistry**. Christensen, v.19 (2), p. 159-164, 1987.
- REIS, E. F. Absorção de fósforo em doze genótipos de milho inoculados com fungo micorrízico arbuscular em solo de cerrado. **Ciência Rural**, v. 38, p.2441-2447, 2008.
- RODRIGUES, W. N, TOMAZ, M. A, APOSTÓLICO, M. A, COLODETTI, T. V. Severity of leaf rust and brown eyespot in genotypes of *Coffea arabica* L. cultivated with high plant density. **Am. J. Plant Sci.** 5: 3702-3709, 2014. [http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2014.525386.](http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2014.525386)]
- ROLDÁN, A.; SALINAS-GARCÍA, J. R.; ALGUACIL, M. M. CARAVACA, F. changes in soil enzyme activity, fertility, aggregation and c sequestration mediated by conservation tillage practices and water regime in a maize field. **Soil ecol.**, v. 30, p. 11-20, 2005.
- RONCHI, C. P.; JÚNIOR J. M. S.; AMEIDA ,W. L.; SOUZA, D. S.; SILVA, N. O.; OLIVEIRA, L. B.; GUERRA , A. M. N. M.; FERREIRA, P. A. Morfologia radicular de cultivares de café arábica submetidas a diferentes arranjos espaciais. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.50, n.3, p.187-195, mar. 2015.
- SANTOS, F. L.; PAULINO, H. B.; CARNEIRO, M. A. C.; CAETANO, J. O.; BENITES, V. de M.; SOUZA, E. D. Atributos bioquímicos do solo sob diferentes sistemas de produção no sudoeste Goiano. **Global science and technology**, v. 8, n. 2, p. 74 - 86, 2015.
- SCHNURER, J.; ROSSWALL, T. Fluorescein diacetate hydrolysis as a measure of total microbial activity in soil and litter. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 43, p. 1256–1261, 1982.
- SCHNÜRER, J.; T. ROSSWALL. Fluorescein diacetate hydrolysis as a measure of total microbial activity in soil and litter. **Appl. Environ. Microb.** v. 43, p. 1256-1261, 1982.
- SERNA-CHAVEZ, H. M., FIERER, N., VAN BODEGOM, P. M. Global drivers and Patterns of microbial abundance in soil. **Global Ecology and Biogeography** v. 22, p. 1162-1172, 2013.
- SHUKLA, G.; VARMA, A. (EDS.), Soil Enzymology, **Soil Biology** v. 22, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, DOI 10.1007/978-3-642-14225-3_2, 2011.
- SILVA, D.K.A., FREITAS, N.O., SOUZA, R.G., SILVA, F.S.B., ARAUJO, A.S.F., MAIA, L.C., Soil microbial biomass and activity under natural and regenerated forests and conventional sugarcane plantations in Brazil. **Geoderma**, 189-190, 257-261, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.06.014>.
- SINGHANIA, R. R.; PATEL, A. K.; SUKUMARAN, R. K.; LARROCHE, C.; PANDEY, A. Role and significance of beta-glucosidases in the hydrolysis of cellulose for bioethanol production. **Bioresource Technology**, v. 127, p. 500-507, 2013.
- SINSABAUGH, R. L.; FINDLAY, S. Microbial production, enzyme activity and carbon turnover in surface sediments of the Hudson River Estuary. **Microbial Ecology**, v. 30, p. 127-141, 1995.

SOUZA, E. D.; COSTA, S. E. V. G. A.; ANGHINONI, I.; LIMA, C.V.S.; CARVALHO, P.C.F. & MARTINS, A.P. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 34, p. 79-88, 2010.

SRIVASTAVA, S. C.; SINGH, J. S. Microbial C, N and P in dry tropical forest soils: Effects of alternate land-user and nutrient flux. **Soil Biol. Biochem.**, v. 23, p. 117-124, 1991.

SUSEELA, V.; THARAYIL, N.; XING, B. S.; DUKES, J. S. Labile compounds in plant litter reduce the sensitivity of decomposition to warming and altered precipitation. **New Phytologist** **200**, 122-133, 2013.

TABATABAI M. A. Soil enzymes. In: MICKELSON, S. H. (ed) Methods of soil analysis, Part 2. Microbiological and biochemical properties. **Soil Science Society of America**, Madison, WI, pp 775-833, 1994.

TABATABAI M. A.; DICK, W. A. Enzymes in soil: research and developments in measuring activities. In Enzymes in the environment. **Activity, ecology, and applications**, Burns RG, DICK, R. P. (eds). Marcel Dekker, Inc.: New York, p. 567-595, 2002.

TABATABAI, M. A. Effect of trace elements on urease activity in soils. **Soil Biol Biochem** v. 9, p. 9-13, 1977.

TABATABAI, M. A.; BREMNER, J. M. Assay of urease activity in soil. **Soil Biol. Biochem.**, v. 4, p. 479-487, 1972.

TATE, R. L. Soil microbiology. **John Wiley**, New York, 1995.

TAVARES, R. L. M.; FARHATE, C.V.V.; SOUZA, Z. M.; SCALA J. M.; TORRES, J. L. R.; CAMPOS, M. C. C. Emission of CO₂ and soil microbial activity in sugarcane management systems. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, p. 975-982. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782004000300016>, 2015.

THOMAS, R.C.; DALAL, J.; Standley No-till effects on organic matter, pH, cation exchange capacity and nutrient distribution in a Luvisol in the semi-arid subtropics. **Soil Tillage Res.**, v 94, p. 295-304, 2007.

TRANNIN, I. C. B.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Características biológicas do solo indicadoras de qualidade após dois anos de aplicação de biossólido industrial e cultivo de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1173-1184, 2007.

VAN DEN BOSSCHE, A.; DE BOLLE, S.; DE NEVE, S.; HOFMAN, G. Effect of tillage intensity on n mineralization of different crop residues in a temperate climate. **soil tillage res.**, v. 103, p. 316-324, 2008.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method form measuring soil microbial biomass C. **Biology and Biochemistry**, Oxford, v.19, n.6, p. 703-707, 1987.

VILLANI, F. T.; GYOVANNI; R. A. A.; VILLANI E. M. A.; TEIXEIRA, W. G.; MOREIRA, F. M. S.; MILLER, R.; ALFAIA, S. S. Microbial Carbon, Mineral-N and Soil Nutrients in Indigenous Agroforestry Systems and Other Land Use in the upper Solimões

Region, Western Amazonas State, Brazil. **Agricultural Sciences**, v. 8, p. 657-674. <https://doi.org/10.4236/as.2017.87050>, 2017.

WAHSHA, M. Microbial enzymes as an early warning management tool for monitoring mining site soils, **Catena**, <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2016.02.021>., 2016

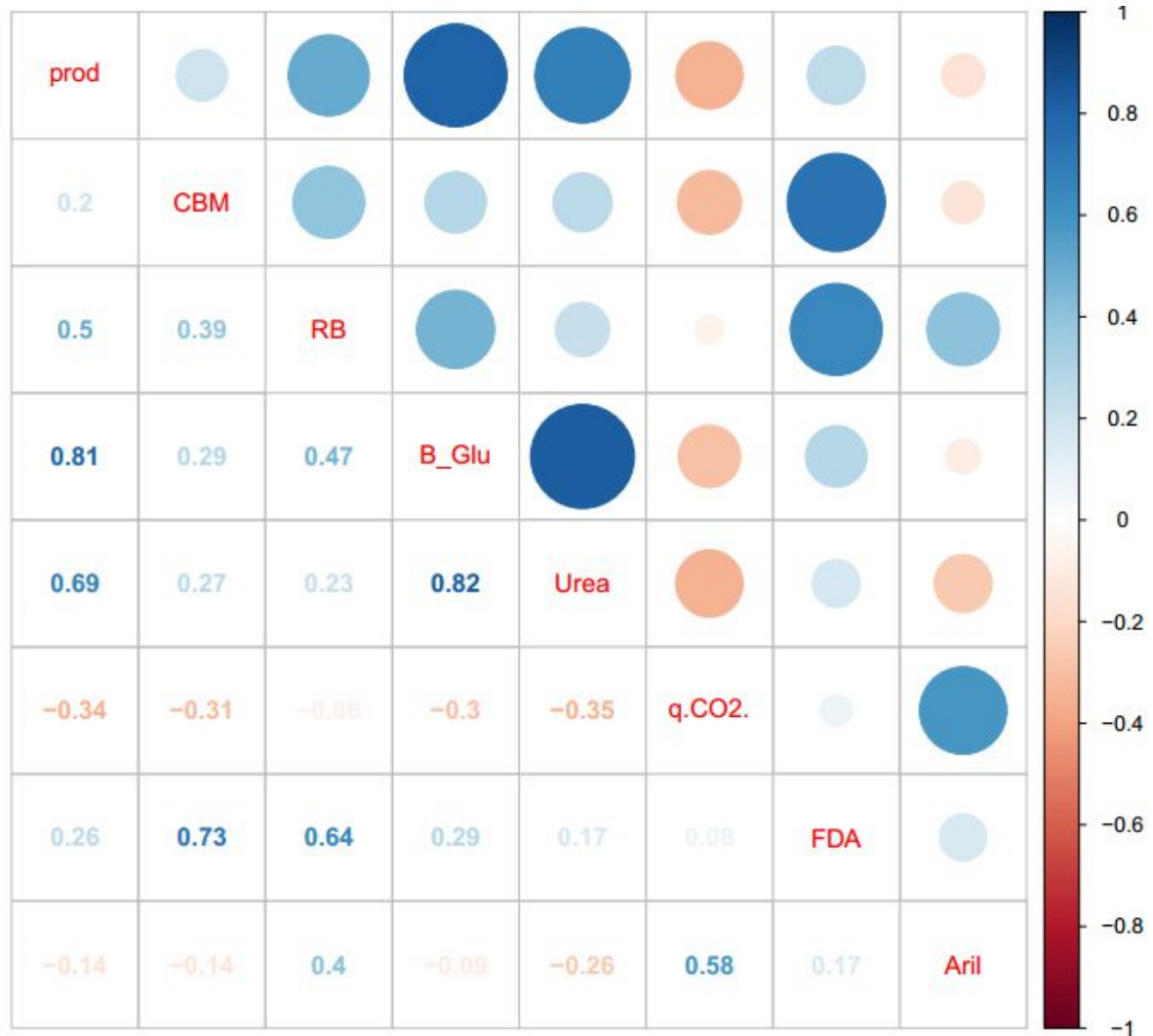
WAHSHA, M.; AL-RSHAI DAT, M. Potentially harmful elements in abandoned mine waste. In: Bini, C., Bech, J. (Eds.), **Potentially Harmful Elements in the Environment and the Impact on Human Health**. London, p. 199-220, 2014.

YANG Z, LIU S.; ZHENG.; D, FENG S. Effects of cadmium, zinc and lead on soil enzyme activities. **J Environ Sci.**, v. 18, p. 1135-1141, 2006.

ZILLI, J. E.; RUMJANEK, N. G.; XAVIER, G. R.; COUTINHO, H. L.C.; NEVES, M. C. P. N. Diversidade microbiana como indicador da qualidade do solo. **Cad. Ci. Tecnol.**, v. 20, p. 391- 411, 2003.

ANEXOS

Figura 11 - Matriz de correlação dos atributos microbiológicos no período seco, primeiro estudo.



Legenda: Carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal (BR), quociente metabólico (qCO_2), β -glucosidade (β -glu), urease (Urea), Arilsulfatase (Aril) e hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA).

Fonte: Do autor (2018).

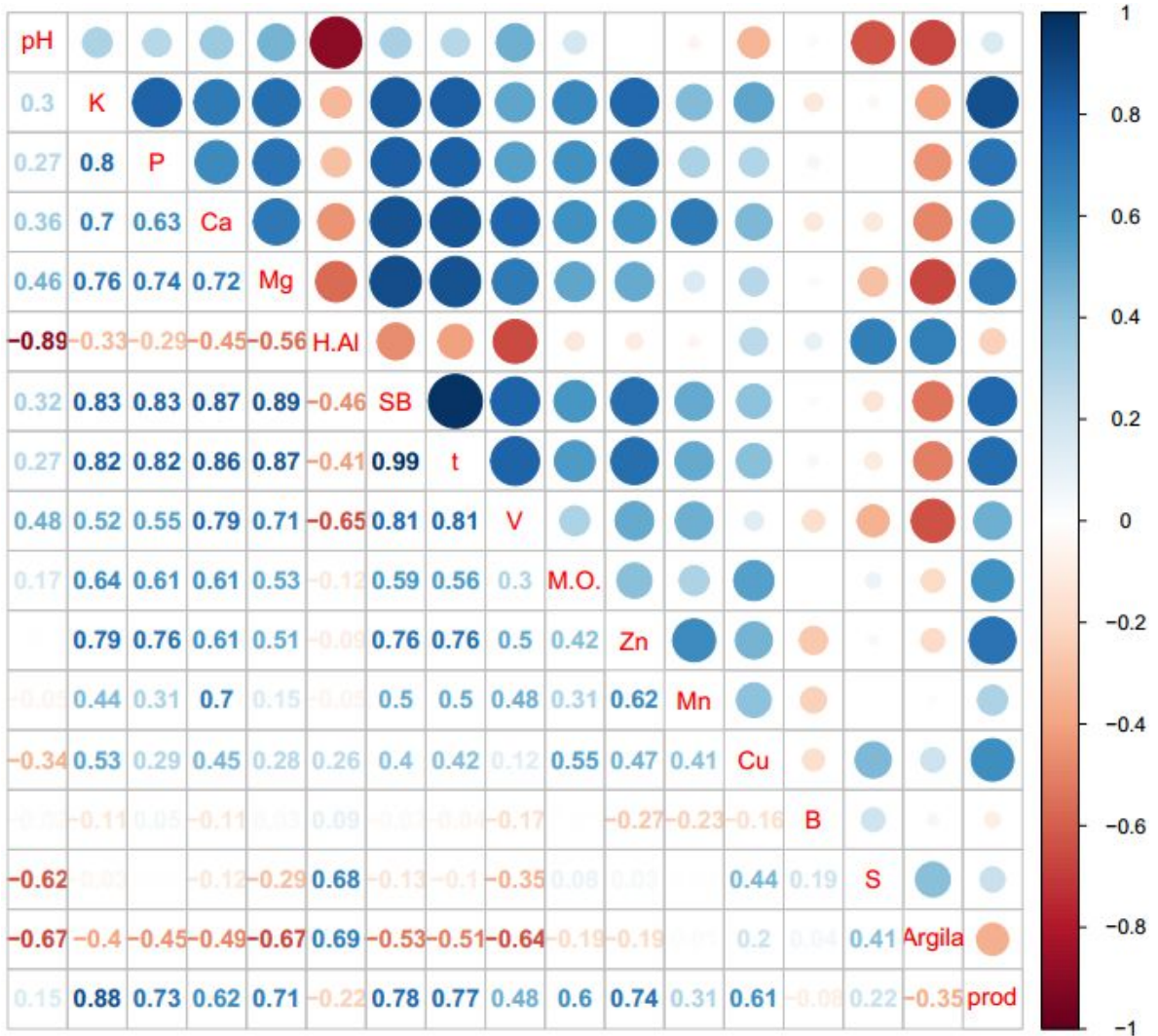
Figura 12 - Matriz de correlação dos atributos microbiológicos no período úmido, primeiro estudo.



Legenda: Carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal (BR), quociente metabólico (qCO_2), β -glucosidade (β -glu), urease (Urea), Arilsulfatase (Aril) e hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA).

Fonte: Do autor (2018).

Figura 13 - Matriz de correlação dos atributos físicos e químicos do período seco, primeiro estudo.



Legenda: Matéria orgânica (MO), capacidade de troca catiônica efetiva (t) e saturação por base (V).
 Fonte: Do autor (2018).

Figura 15 - Matriz de correlação dos atributos microbiológicos do segundo estudo.



Legenda: Carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal (BR), quociente metabólico (qCO_2), β -glucosidade (β -glu), urease (Urea), Arilsulfatase (Aril) e hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA).

Fonte: Do autor (2018).

