

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

NIRVANI SCHROEDER HENRIQUE

**APORTE E DECOMPOSIÇÃO DE SERAPILHEIRA E QUALIDADE DO SOLO EM
SISTEMAS DE CAFEIEIRO SOMBREADO E A PLENO SOL**

Ilha Solteira
2020

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

NIRVANI SCHROEDER HENRIQUE

APORTE E DECOMPOSIÇÃO DE SERAPILHEIRA E QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS DE CAFEIEIRO SOMBREADO E A PLENO SOL

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Agronomia.

Katia Luciene Maltoni
Orientadora

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

H519a Henrique, Nirvani Schroeder.
Aporte e decomposição de serapilheira e qualidade do solo em sistemas de
cafeeiro sombreado e a pleno sol / Nirvani Schroeder Henrique. -- Ilha Solteira:
[s.n.], 2020
79 f. : il.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia
de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Sistemas de Produção, 2020

Orientador: Katia Luciene Maltoni
Inclui bibliografia

1. *Coffea canephora*. 2. Sombreamento. 3. Sustentabilidade. 4. Litter bag.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: APORTE E DECOMPOSIÇÃO DE SERAPILHEIRA E QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS DE CAFEEIRO SOMBREADO E A PLENO SOL

AUTORA: NIRVANI SCHROEDER HENRIQUE

ORIENTADORA: KÁTIA LUCIENE MALTONI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA, área:
Sistemas de Produção pela Comissão Examinadora:

Prof.ª. Dr.ª. KÁTIA LUCIENE MALTONI

Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP



Prof.ª. Dr.ª. GLAUCIA AMORIM FARIA

Departamento de Matemática / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP



Prof. Dr. MARCELO CARVALHO MINHOTO TEIXEIRA FILHO

Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Prof. Dr. JAIRO ANDRÉ SCHLINDWEIN

Departamento de Química / Universidade Federal de Rondônia - UNIR

Prof. Dr. CLÁUDIO ROBERTO FONSÊCA SOUSA SOARES

Departamento de Microbiologia, Imunologia e Parasitologia / Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Ilha Solteira, 07 de julho de 2020

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. À CAPES meu agradecimento.

À Universidade Estadual Paulista e ao Instituto Federal de Rondônia por proporcionar esta oportunidade de participar de um curso de pós-graduação de boa qualidade.

À minha orientadora Dra. Katia Luciene Maltoni pelos ensinamentos, profissionalismo, paciência, compreensão e disponibilidade em me ajudar em todos os momentos que necessitei.

À todos os professores do programa que dividiram comigo o seu saber.

Aos meus colegas professores do IFRO que me auxiliaram em vários momentos, especialmente ao Rodolfo Gustavo Teixeira Ribas e à Angelita Aparecida Coutinho Picazevicz pela participação na banca do exame de qualificação.

Aos técnicos e colaboradores dos laboratórios de solos e de nutrição de plantas da Faculdade de Engenharia, Campus de Ilha Solteira, Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solo que me auxiliaram nas análises químicas de solo e plantas e aos técnicos dos laboratórios de solos e de biologia do IFRO, campus Cacoal que me auxiliaram nas análises.

À todos os meus colegas do DINTER que me apoiaram de alguma forma e fizeram meus dias mais felizes. Em especial agradeço ao Arnaldo Libório Santos Filho e à Juliana Maria Freitas de Assis Holanda pelas companhias nas viagens e pela amizade construída durante esse período.

Ao meu esposo Jaime dos Santos Henrique que me apoiou em todas as fases da minha formação profissional e pelo trabalho pesado nas atividades de coleta de solo e à minha filha Maria pela parceria, afinal ela foi minha companheira em todas as viagens para Colorado do Oeste.

Aos produtores rurais, Antônio Francisco Sesquim e esposa Neilamar P. Sesquim que permitiram a utilização de sua propriedade para estudo e colaboraram com as informações necessárias para a pesquisa.

À Deus por todas as bênçãos a mim concedidas e também pelas dificuldades que me fizeram crescer.

“O segredo da vida é o solo, porque do solo dependem as plantas, a água, o clima e a nossa vida.”
Ana Primavesi

RESUMO

O Estado de Rondônia, localizado na região norte do Brasil, esteve originalmente coberto pela Floresta Amazônica. A colonização e o avanço da agricultura extensiva, produziram um desmatamento acelerado em grande parte do Estado. A retirada da floresta, os manejos inadequados dos solos, associados com o clima quente e úmido e a falta de correção da acidez e fertilização do solo afetaram os atributos químicos, físicos e biológicos dos solos. Buscando alternativas menos impactantes e de maior conservação do solo para produção de café na região Norte. Este estudo teve por objetivo avaliar dois sistemas de cultivo do cafeeiro canéfora, sendo um sombreado com teca (CS) e outro a pleno sol (CPS) em um Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico típico. O método de amostragem foi por conglomerados, dentro do quais as amostras foram coletadas aleatoriamente. Foram utilizados 4 conglomerados com 7 repetições. As análises foram realizadas em esquema fatorial 2 x 2 x 2, sendo 2 sistemas de cultivo de cafeeiro, 2 épocas de amostragem e 2 profundidades do solo (0,0 - 0,05 e 0,05 - 0,10 cm). Foram avaliados o aporte e decomposição de serapilheira, respiração basal do solo (RBS), matéria orgânica (MO), pH, fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), nitrogênio total (NT), acidez potencial (H+Al), alumínio (Al³⁺), soma de bases (SB), saturação por bases (V%), capacidade de troca catiônica (CTC), densidade do solo, porosidade (macro, micro e total) e a resistência do solo à penetração. A produção de serapilheira é semelhante no CS e CPS, contudo no CPS a contribuição maior é por meio dos resíduos de poda. A serapilheira apresenta perda de massa em função do tempo de decomposição, mas os teores de macronutrientes na serapilheira remanescente podem não acompanhar o mesmo decréscimo. A respiração basal do solo se destaca sob cafeeiro sombreado em época seca e em cafeeiro em monocultivo em época chuvosa. O uso do solo com cafeeiro sombreado com teca proporciona melhor qualidade física ao solo, tendo menor resistência à penetração e densidade e maior porosidade do solo, além disso reduz a acidez potencial e aumenta o pH, os teores de cálcio, potássio, saturação por bases e nitrogênio total do solo em relação ao cafeeiro a pleno sol.

Palavras-chave: *Coffea canephora*. Sombreamento. Sustentabilidade. Litter bag.

ABSTRACT

The state of Rondonia, located in the North region of Brazil, was originally covered by the Amazon Rainforest. The colonization and the advance of extensive agriculture resulted in the accelerated deforestation of most parts of the state. The deforestation and improper soil management, associated with the hot and humid climate and the lack of adequate soil correction and fertilization affected the chemical, physical and biological attributes of the soil. Searching for less impacting alternatives and better soil conservation for coffee production in the North region, this study aimed to evaluate two coffee cultivation systems, one of them being a shaded coffee crop (SCC) and the other a full-sun coffee crop (FCC) on Ultisol. The statistical design used was completely randomized, with 4 clusters in each treatment and each cluster with 7 repetitions. The analyzes were carried out in a factorial design $2 \times 2 \times 2$, with 2 coffee growing systems, 2 growing seasons sampling and 2 soil depths (0.0 - 0.05 and 0.05 - 0.10 cm). Litter input and decomposition, soil basal respiration (SBR), organic matter (OM), pH, phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), total nitrogen (TN), potential acidity (H+Al), aluminum (Al³⁺), sum of bases (SB), bases saturation (V%), cation exchange capacity (CTC), soil density (SD), porosity (macro, micro and total) and soil penetration resistance were determined. Litter production is similar in SCC and FCC, however in FCC the major contribution is through pruning residues. The litter presents mass loss as a function of the decomposition time, but the nutrient contents in the remaining litter may not follow the same decay. Basal respiration of the soil stands in shaded coffee in the dry season and in monoculture coffee in the rainy season. Land use with shaded coffee provides better soil physical quality having less resistance to penetration and density and greater soil porosity, in addition to reducing potential acidity and increasing pH, the levels of calcium, potassium, bases saturation and total nitrogen of the soil in relation to the coffee plant in full sun.

Keywords: *Coffea canephora*. Shading. Sustainability. Litter bag.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1	CONDIÇÕES EDÁFICAS E CULTIVO DO CAFEEIRO NO ESTADO DE RONDÔNIA.....	12
2.2	INFLUÊNCIA DO USO E MANEJO DO SOLO SOBRE SEUS ATRIBUTOS.....	14
2.3	CARACTERIZAÇÃO E DINÂMICA DA SERAPILHEIRA.....	16
2.4	INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO.....	18
3	MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1	DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL, DELINEAMENTO E DISTRIBUIÇÃO DOS TRATAMENTOS.....	24
3.2	COLETA, PREPARO DAS AMOSTRAS E PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS.....	27
3.2.1	Coleta de serapilheira e resíduos de podas	27
3.2.2	Decomposição da serapilheira	28
3.2.3	Atributo biológico do solo – Respiração Basal do Solo (RBS)	31
3.2.4	Atributos químicos do solo	32
3.2.5	Atributos físicos do solo	33
3.3	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	37
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1	APORTE DE RESÍDUOS ORGÂNICOS (serapilheira e resíduos de poda e desbrotas).....	38
4.2	DECOMPOSIÇÃO DE SERAPILHEIRA.....	40
4.3	RESPIRAÇÃO BASAL DO SOLO.....	46
4.4	ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO.....	50
4.5	ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO.....	61

5	CONCLUSÕES.....	66
	REFERÊNCIAS.....	67

1 INTRODUÇÃO

Os solos amazônicos, no geral, apresentam baixa fertilidade natural, não sendo incomuns solos com elevada acidez e altos teores de alumínio trocável, situação determinante para o uso de corretivos de acidez e fertilizantes quando se busca aumentar a produtividade das culturas.

Originalmente, 98,8% do estado de Rondônia era coberto pela Floresta Amazônica, onde os solos, embora ácidos e deficientes em nutrientes, são ricos em biomassa vegetal e serapilheira (IBGE 2004). Neste sentido, a cobertura permanente desses solos diminui as perdas por erosão e lixiviação, favorecendo a ciclagem de nutrientes que contribui para manutenção da exuberância da floresta, destacando a estreita relação existente entre solo, vegetação e microrganismos do solo.

Assim, a retirada da vegetação natural para uso agrícola impacta negativamente a qualidade do solo, o que demanda práticas sustentáveis de uso e manejo do solo para minimizar os impactos do desmatamento agrícola. Os sistemas agroflorestais (SAFs) com cafeeiros é uma prática sustentável de uso do solo de ampla importância para a conservação do solo e redução dos efeitos das altas temperaturas e intensidade de chuvas na Região.

Em Rondônia o cafeeiro é uma cultura de grande importância em muitas propriedades rurais, onde residem famílias que migraram de estados como Espírito Santo e Minas Gerais e tem como base a mão-de-obra familiar. No estado a espécie cultivada é o *Coffea canephora* por apresentar alta produtividade e por suas características de adaptabilidade à Região e os grupos botânicos cultivados são conilon e robusta.

O monocultivo de cafeeiros é predominante no estado de Rondônia, porém, desde a década de 70 (início da colonização do estado) surgiram iniciativas de cultivo consorciado do cafeeiro com espécies arbóreas, as quais promovem o sombreamento da cultura do café reduzindo os efeitos da bienalidade da produção, uniformizando a maturação dos frutos, aumentando a longevidade das plantas, mantendo maior umidade e reduzindo a temperatura do solo, influenciando assim os atributos físicos, químicos e biológicos do solo.

Em ambiente de Mata Atlântica o cafeeiro com sombreamento adequado tem apresentado incrementos em área foliar, número de ramos, nitrogênio foliar,

porcentagem de frutos verdes, altura das plantas, diâmetro da copa, número de folhas nos ramos, distância entre nós, e não reduziu a produtividade (RICCI; COSTA; OLIVEIRA, 2011).

Os sistemas agroflorestais (SAFs) apresentam a vantagem de ocupação de maior volume do solo e maior eficiência no aproveitamento da radiação solar e têm sido utilizados também na recuperação de áreas degradadas, por apresentar melhorias nas propriedades físico-químicas. Além disso, os SAFs apresentam característica de maior produção de biomassa vegetal, fator que propicia condições favoráveis ao desenvolvimento de microrganismos do solo e aumenta os teores de matéria orgânica.

Indicadores biológicos, químicos e físicos têm sido utilizados para avaliar a qualidade do solo. Esses indicadores estão relacionados, de forma direta ou indireta, à quantidade de matéria orgânica do solo, a qual desempenha importante função na complexação de substâncias e no suprimento e armazenamento de nutrientes e água para as plantas.

Na área em estudo foram avaliados dois sistemas de cultivo de café, sombreado e a pleno sol. Nesses usos do solo ocorre a deposição de serapilheira de formas diferentes e a decomposição foi quantificada pela diferença da massa inicial e a massa final da serapilheira acondicionada em *litter bags*. Usos do solo que aumentam a deposição de resíduos orgânicos ao solo promovem diversos benefícios na qualidade química do solo, por meio da ciclagem de nutrientes, além de melhorar a atividade microbiana e a qualidade física do solo.

Dentro deste contexto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a dinâmica da serapilheira e a qualidade do solo cultivado em sistema de café canéfora sombreado com teca comparativamente ao café cultivado a pleno sol, por meio da avaliação do aporte e decomposição da serapilheira durante 360 dias, avaliação da respiração basal do solo como atributo microbiano, bem como atributos químicos (MO, P, K, Ca, Mg, NT, SB, V%, pH, Al^{3+} e H+Al) e físicos do solo (densidade, porosidade e resistência à penetração).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CONDIÇÕES EDÁFICAS E CULTIVO DO CAFEEIRO NO ESTADO DE RONDÔNIA

O Estado de Rondônia localiza-se na Amazônia Ocidental, onde a vegetação natural é a Floresta Amazônica e os solos predominantes são Latossolos, que ocupam 58% da área, distribuídos entre Latossolos Vermelho-Amarelos (26%), Vermelhos (16%) e Amarelos (16%), os 42% restantes formam um mosaico composto por Argissolos (11%), Neossolos (11%), Cambissolos (10%), Gleissolos (9%) e outras ordens (1%). A classificação de aptidão agrícola mostra que 59% dos solos de Rondônia possuem aptidão de uso para lavoura nos diferentes níveis tecnológicos, 16% tem aptidão para pastagens cultivadas, 5% para pastagens nativas e 20% do território não apresenta aptidão agrícola ou pecuária e devem ser mantidos como áreas de preservação (SEDAM, 2002).

Selecionou-se dentro do estado de Rondônia o município de Cacoal para o desenvolvimento deste trabalho, por apresentar 3814 estabelecimentos agropecuários, dos quais 1391 são produtores de café, perfazendo 36% das propriedades rurais do município com atividade cafeeira e um total de 4.683 hectares da área do município cultivada com cafeeiro (IBGE 2017).

Embora o estado de Rondônia seja dominado por um relevo predominantemente suave ondulado e com altitudes variando de 100 a 600 m em 94% de seu território (SEDAM, 2002), nota-se, em várias localidades, sinais de degradação do solo agrícola, criando demandas por preservação deste recurso.

No ano de 2019 a produção de café total do Brasil foi de 49,3 milhões de sacas de 60 kg beneficiadas. Deste volume, a produção de café arábica foi de 34,3 milhões de sacas e de café conilon foi de 15,0 milhões de sacas, sendo o Estado de Rondônia o principal produtor de café da região Norte com 2,2 milhões de sacas (CONAB, 2019). A área total com cafeeiros conilon no Brasil em 2019 corresponde a 398,8 mil hectares e deste total, 70,5 mil hectares são cultivados no estado de Rondônia, estando apenas atrás do Espírito Santo, com área de 261,5 mil hectares (CONAB, 2019).

Em 2018, Rondônia produziu 2 milhões de sacas de café e em 2019 a produção foi de 2,2 milhões de sacas, com aumento de 10% na produção (CONAB, 2019). A arborização de cafezais vem ganhando destaque no Brasil, visto que a conservação dos recursos naturais é uma preocupação existente no setor agropecuário (GOMES *et al.*, 2015). Tanto no país como mundialmente, o consórcio de cafeeiro com espécies arbóreas é uma técnica antiga e tem sido estudada como forma de sustentabilidade e proteção da cultura contra efeitos ambientais adversos como, por exemplo, redução da amplitude térmica (GUIMARÃES *et al.*, 2015).

O cultivo do cafeeiro nas propriedades rurais de base familiar em Rondônia é importante e mais de 60% da produção de café do estado ocorre na região central, onde se localiza o município de Cacoal, e no norte do Estado. No entanto, a produção cafeeira nestas regiões ocorre em sua maior parte por meio de sistemas denominados tradicionais, isto é, com baixa utilização de insumos para adubação, correção da acidez do solo, controle de pragas e doenças, além de reduzidas podas e desbrotas. Sistemas emergentes como cafeicultura irrigada, cafeicultura clonal e cafeicultura melhorada com poda e adubação vêm surgindo e se tornando mais frequentes a cada dia (OLIVEIRA; ARAÚJO, 2015).

A espécie de cafeeiro cultivada em Rondônia é o *Coffea canephora*, esta teve grande adaptabilidade à Região por apresentar um ciclo médio de maturação mais longo que o arábica permitindo que a colheita seja realizada em época menos chuvosa e outra vantagem é que a espécie apresenta grande tolerância ao período de estresse hídrico da região amazônica que normalmente ocorre entre maio e setembro. Desta espécie são cultivados dois grupos botânicos, conilon e robusta (MARCOLAN; ESPINDULA, 2015).

As oscilações no mercado promovem também, no Estado, períodos de maior dedicação à atividade cafeeira devido à alta nos preços do café e períodos de menor dedicação em ocorrência da baixa cotação, momento em que se torna interessante a introdução dos sistemas agroflorestais, devido a seus benefícios ecológicos, econômicos, além da sustentabilidade que acabam estabelecendo (RODRIGUES *et al.*, 2015).

Assim, a arborização do cafeeiro em Rondônia não é uma novidade, ocorre desde os anos 70, na forma de cultivo consorciado entre arbóreas, madeiras e frutíferas. Nos anos 90, embora sem critérios técnicos bem definidos, 20.000 ha de lavouras cafeeiras (*Coffea canephora*), eram consorciadas com arbóreas. O

consórcio cafeeiro x bandarra (*Schizolobium amazonico*) é o mais utilizado pelos agricultores em Rondônia, a bandarra é uma espécie de crescimento rápido, e, portanto, adequado à indústria local de compensados (RODRIGUES *et al.*, 2015).

Em um monitoramento, realizado ao longo de 10 anos em lavoura cafeeira sombreada e em monocultivo, ambas no município de Machadinho D'Oeste (RO), verificou-se que o sombreamento promoveu maior acúmulo de carbono, menor variabilidade entre as plantas, gerou uma produção adicional de serapilheira, aumentou a presença de fungos micorrízicos, reduziu a ocorrência de plantas daninhas, e a dependência de insumos como fertilizantes, defensivos e herbicidas, embora a produtividade tenha sido 15% menor, o que foi atribuído ao sombreamento (RODRIGUES *et al.*, 2015). Outras vantagens também devem ser destacadas, quando se tem o cultivo consorciado, como por exemplo menores contaminação ambiental e emissão de gases do efeito estufa, conservação da biodiversidade, melhoria da fauna do solo, ciclagem de nutrientes, redução dos processos erosivos no solo, redução da temperatura e ventos e maior qualidade do café (MANCUSO; SORATTO; PERDONÁ, 2013).

2.2 INFLUÊNCIA DO USO E MANEJO DO SOLO SOBRE SEUS ATRIBUTOS

O uso e o manejo inadequados do solo, associados à práticas agrícolas sem reposição de nutrientes, gera alterações químicas no solo, as quais podem reduzir seu potencial produtivo e resultar em solos de estágios mais avançados de degradação (SILVA *et al.*, 2017).

Os atributos químicos do solo são fortemente influenciados pelo uso e manejo do solo, pois estes podem aumentar ou reduzir a quantidade de matéria orgânica do solo e conseqüentemente interferir na disponibilidade de nutrientes no solo (FREITAS *et al.*, 2017; OLIVEIRA *et al.*, 2017). Por outro lado, o uso de sistemas que promovem maior deposição de material orgânico sobre o solo, ou sistemas de culturas com alta adição de resíduos vegetais, elevam os teores de matéria orgânica com conseqüente melhoria das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, além de estimular a microbiota (LOSS *et al.*, 2011), condições necessárias ao bom crescimento e desenvolvimento das plantas cultivadas (SILVA *et al.*, 2015).

O cultivo dos solos em sistema de uso intensivo, reduz a biodiversidade e a fertilidade natural dos solos (ALENCAR *et al.*, 2013), enquanto, os sistemas

agroflorestais (SAFs), à exemplo os cafeeiros consorciados, produzem maior quantidade de biomassa e promovem uma, maior cobertura do solo (THOMAZINI *et al.*, 2015), favorecendo os incrementos em matéria orgânica, melhorando a fertilidade e reduzindo os processos de lixiviação (GUIMARÃES *et al.*, 2017; MELLONI *et al.*, 2018). Os SAFs são uma alternativa promissora, especialmente para unidades de base familiar, pois melhoram as características do solo como aumento de nitrogênio e carbono orgânico quando comparado com sistemas tradicionais de corte e queima da vegetação (LIMA *et al.*, 2011).

O uso de SAFs aumentam a deposição de serapilheira e incorporação desta ao solo na forma de matéria orgânica com contribuição relevante para os benefícios ao meio ambiente, além de reduzir o uso de fertilizantes e, conseqüentemente, reduz os custos de produção (TEIXEIRA *et al.*, 2012).

A atividade dos microrganismos do solo é afetada pelo tipo de uso do solo, podendo alterar a população e a atividade metabólica dos microrganismos do mesmo, pois são dependentes das variações de fatores como temperatura, pH, luminosidade, disponibilidade de biomassa como fonte de energia, nutrientes e presença ou ausência de elementos tóxicos (SILVA *et al.*, 2015).

O uso de sistemas conservacionistas de produção melhoraram as propriedades microbiológicas do solo (AZEVEDO JUNIOR *et al.*, 2017). Colodel *et al.* (2018) compararam áreas de cultivo convencional destinadas à produção de soja e milho safrinha com vegetação natural, cafeeiro conilon e pastagem e concluíram que as áreas cultivadas com lavoura convencional apresentam pior qualidade biológica, evidenciando que pequenas intervenções e a manutenção de sistemas que promovam a proteção dos solos contribuem para melhorar sua qualidade.

A diversidade de espécies nos SAFs contribui para melhorar a qualidade do solo, quando comparado aos sistemas de monocultivo (PEZARICO *et al.*, 2013), devido ao contínuo aporte de material orgânico, fonte de energia para os microrganismos do solo (STEFANOSKI *et al.*, 2013). Isso é evidenciado por aumento na biomassa microbiana do solo (PAVAN *et al.*, 2018) e maior população de micorrizas (MELLONI, *et al.*, 2018) em cafeeiros consorciados comparados à cafeeiros em monocultivo.

Quando comparado o sistema de cultivo, o cafeeiro em monocultura com o cafeeiro consorciado com espécies arbóreas e *Urochloa cv. decumbens*, ou consorciado somente com *U. cv. decumbens*, o desenvolvimento dos

microrganismos do solo foi favorecido, particularmente, em sistemas de maior variedade de espécies (GUIMARÃES *et al.*, 2017), evidenciando a influência positiva do emprego da diversidade vegetal e maior cobertura do solo.

Na região amazônica, o uso e manejo do solo com intenso revolvimento ou que não priorizam a cobertura do mesmo, essas práticas associadas à altas temperaturas e precipitações pluviais (SEDAN, 2002), comuns na região, contribuem para acelerada mineralização da matéria orgânica e alteram a qualidade física do solo (MONCADA *et al.*, 2014), refletindo em solos com alta densidade, porosidade reduzida, com isso, podem ocorrer incrementos na resistência do solo à penetração (LOPES *et al.*, 2015), causando menor desenvolvimento radicular das culturas que perdem parte de sua capacidade produtiva (FROZZI *et al.*, 2018; GENNARO *et al.*, 2015). No entanto, os usos e manejos do solo que colaboram para o aumento da matéria orgânica são de grande importância, visto que a baixa densidade da matéria orgânica reduz a densidade do solo e por ser um condicionador biofísico, esta auxilia no aumento da porosidade do solo (RONQUIM, 2010).

Cafeeiro consorciado com gliricídia e cafeeiro consorciado com pupunha tiveram melhorias na qualidade física do solo quando comparado a cafeeiro em monocultivo, em consórcio com banana e consórcio com ingá, indicando que solo sob cafeeiros sombreados tem sua qualidade melhorada e que a espécie escolhida deve ser ajustada tanto às necessidades do produtor quanto ao local de implantação do cultivo (SOUZA; DAN; ARAÚJO, 2016).

A melhoria da qualidade física do solo está relacionada à dinâmica da matéria orgânica no solo (REICHERT *et al.*, 2011). A perda ou conservação da matéria orgânica pode ser potencializada pela escolha do manejo e uso utilizados. A adoção de sistemas de manejo que aumentam o estoque de resíduos orgânicos sobre o solo é essencial para manutenção e melhoria da estrutura do mesmo (OLIVEIRA *et al.*, 2016; PEZARICO *et al.*, 2013; STEFANOSKI *et al.*, 2013).

2.3 CARACTERIZAÇÃO E DINÂMICA DA SERAPILHEIRA

A serapilheira é todo material vegetal como folhas, galhos, flores, frutos e sementes que são, naturalmente, depositados sobre o solo, propiciando a ciclagem de nutrientes em decorrência da decomposição desses materiais, processo de grande importância, especialmente em regiões onde são de ocorrência comum solos

de baixa fertilidade natural (VIERA; SCHUMACHER, 2010; COSTA *et al.*, 2010) e oriundos de materiais muito intemperizados, pois nesses solos a serapilheira atua como a principal fonte de nutrientes como nitrogênio, cálcio, magnésio, potássio, enxofre e fósforo (URBANO *et al.*, 2018; GARLET *et al.*, 2019). Garlet *et al.* (2019) relataram que a serapilheira proveniente de *Eucalyptus dunnii* com cinco anos de idade, no bioma Pampa, estava composta de folhas (52,7%), galhos grossos (23,7%), galhos finos (13,9%) e estruturas reprodutivas (9,7%), e esta contribuiu significativamente para a devolução de nutrientes ao solo.

Dentre as diferentes frações da serapilheira, as folhas apresentam maior quantidade de nutrientes (URBANO *et al.*, 2018), podendo contribuir com mais de 70% do material adicionado (BARLOW *et al.*, 2007; CARVALHO *et al.*, 2017; FIGUEIREDO-FILHO *et al.*, 2003; MACHADO *et al.*, 2015) e participam de forma ativa dos incrementos na fertilidade do solo (URBANO *et al.*, 2018). Os galhos representam cerca de 20% da serapilheira em florestas e possuem alto teor de lignina (INKOTTE *et al.*, 2019), um composto de maior complexidade para decomposição, muito importante para introdução de carbono estável no solo (PEGORARO *et al.*, 2011).

A quantidade de serapilheira encontrada em uma determinada área depende das espécies florestais presentes e de fatores climáticos como temperatura e precipitação pluvial (CARVALHO *et al.*, 2017). Inkotte *et al.* (2019) verificaram que a deposição de serapilheira em *Eucalyptus* no Sul do Brasil foi maior com o aumento de temperatura.

A decomposição da serapilheira é, normalmente, mais intensa nos primeiros dias de exposição do material, pois são degradados os elementos menos complexos como celulose e hemicelulose e posteriormente ocorre a decomposição mais lenta de estruturas mais complexas como é o caso da fração húmica (GOYA *et al.*, 2008).

As taxas de decomposição são reguladas pelas condições físicas e químicas do ambiente, pela composição do material que é aportado, pela presença de fauna edáfica e estimulação dos microrganismos do solo, sem contar que o processo de decomposição ocorre com maior rapidez em locais com maiores precipitações (URBANO *et al.*, 2018).

Para avaliar a decomposição da serapilheira, o uso de bolsas de decomposição ou “*litter bags*” tem sido a prática mais comum. Nesse método, uma porção de serapilheira, coletada de uma área conhecida, é acondicionada nas

bolsas e a decomposição é quantificada pela diferença entre massa inicial e massa final transcorrido de algum tempo de exposição previamente definido. No entanto, na grande maioria dos trabalhos realizados para avaliar a velocidade de decomposição da serapilheira, são utilizados apenas folhas e isto pode superestimar a velocidade de decomposição da mesma (INKOTTE *et al.*, 2019).

Para os *litter bags* são utilizadas várias dimensões, desde 5 x 5 até 30 x 30 cm, sendo que a dimensão mais comum é de 20 x 20 cm e a quantidade de material vegetal utilizada para decomposição normalmente varia entre 5 e 20 gramas. A abertura de malha mais utilizada varia de 1 a 2 mm e recomenda-se não utilizar aberturas muito superiores a 2 mm para evitar perdas de material durante o transporte (INKOTTE *et al.*, 2019).

Os *litter bags* com o material vegetal para decomposição são depositados na superfície do solo (THOMAS; AZAKAWA, 1993) por um período de tempo à interesse da pesquisa, na maioria das pesquisas realizadas ocorreu com tempo de 1 ano (INKOTTE *et al.*, 2019) e periodicamente parte dos *litter bags* são coletados para obtenção da massa de material remanescente (THOMAS; AZAKAWA, 1993). À partir da obtenção da massa de material vegetal decomposto é possível calcular a constante de decomposição em função do tempo de exposição (THOMAS; AZAKAWA, 1993), bem como obter o tempo de meia vida, ou seja, o tempo gasto para a decomposição de 50% do material (REZENDE *et al.*, 1999).

Quanto mais alta for a constante de decomposição menor será o tempo de meia vida de um determinado material vegetal, ou seja, mais rápida é a mineralização dos nutrientes. Essa constante de decomposição é influenciada por fatores como relação C:N do material, precipitação pluvial, condições de temperatura e umidade relativa mais elevadas (HOLANDA *et al.*, 2015; URBANO *et al.*, 2018), pH, atividade microbiana e tipo de cobertura vegetal (URBANO *et al.*, 2018).

2.4 INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO

Os indicadores de qualidade do solo podem representar propriedades físicas, químicas ou biológicas (MAIA *et al.*, 2013) e para isso devem ser selecionados bons indicadores para avaliar a sustentabilidade dos solos submetidos a diversas formas de uso e manejo (AZEVEDO JUNIOR *et al.*, 2017).

As definições de qualidade do solo podem mudar para a mesma área e mesmo uso, pois dependem das condições climáticas, da habilidade de cada produtor em manejar sua área e do sistema de cultivo e manejo utilizados (ARAÚJO *et al.*, 2012). Dentre outras definições, a qualidade do solo é a capacidade de funcionamento deste dentro de um sistema natural ou manejado, de forma a manter a qualidade da água e do ar, a produtividade biológica, além de promover a saúde de plantas e animais (PEZARICO *et al.*, 2013).

A qualidade do solo não pode ser mensurada diretamente, mas pode ser estimada por meio de atributos físicos, químicos e biológicos do solo, chamados de indicadores de qualidade, por meio da comparação de valores ou qualidades desejáveis à cada um deles (ARAÚJO *et al.*, 2012). Para quantificar a qualidade do solo um número mínimo de atributos deve ser medido (SILVA *et al.*, 2010). Um atributo para ser utilizado como indicador da qualidade do solo deve ser sensível às variações de uso e manejo ao qual o solo está submetido e que possam sofrer mudanças em curtos e médios prazos (BALOTA *et al.*, 2014; GOMES *et al.*, 2015; MOTA; FREIRE; ASSIS JÚNIOR, 2013).

Os agentes microbiológicos do solo são responsáveis diretos pelo funcionamento deste, pois atuam na decomposição de resíduos orgânicos, fazem a conversão do material orgânico depositado sobre o solo em matéria orgânica e promovem a ciclagem de nutrientes (MENDES; SOUSA; REIS JUNIOR, 2015).

Os microrganismos são sensíveis às alterações na qualidade do solo e possuem capacidade de dar respostas muito rápidas a mudanças provocadas à ele (MAZZETTO *et al.*, 2016), por isso, atributos microbiológicos como respiração microbiana, carbono da biomassa microbiana e quociente metabólico têm sido apontados como bons indicadores de alterações ocorridas no equilíbrio do solo, sendo de grande importância para identificar precocemente eventuais efeitos adversos do manejo e uso do solo e, conseqüentemente, permite a adoção de práticas que minimizem os efeitos negativos sobre a qualidade dos mesmos (BALOTA *et al.*, 2014; MAZZETTO *et al.*, 2016).

Pezarico *et al.* (2013) testaram alguns indicadores de qualidade biológica do solo (carbono da biomassa microbiana do solo, atividade microbiana e quocientes metabólico e microbiano) e o conteúdo de carbono orgânico em dois sistemas agroflorestais comparado com sistemas de monocultivo de soja, além de uma área sob floresta estacional semidecidual. Os autores concluíram que a diversidade de

espécies dos sistemas agroflorestais contribuiu, de forma significativa, para a melhoria da qualidade do solo, quando comparados aos sistemas de monocultivo, com destaque para maior carbono microbiano e carbono orgânico no solo como principais indicadores de qualidade. Por sua vez, Horst *et al.* (2017) utilizaram alguns indicadores químicos e biológicos como pH do solo, nitrogênio, fósforo, carbono orgânico total, densidade de esporos de fungos micorrizicos arbusculares, respiração basal do solo, carbono da biomassa microbiana, e coeficiente metabólico do solo, para avaliar a qualidade de um solo cultivado com cafeeiro, pastagem e integração pastagem e eucalipto.

A respiração basal do solo é um indicador que mede a atividade microbiológica do solo, por meio da quantificação do CO₂ que é liberado pelos microrganismos quando degradam os compostos orgânicos (SILVA *et al.*, 2013). Mazzetto *et al.* (2016), avaliando a atividade da biomassa microbiana do solo alterada pelo uso da terra no sudoeste da Amazônia, concluíram que os atributos microbiológicos quando aliados a fatores químicos e físicos mostram-se eficientes na separação dos usos da terra. Oliveira *et al.* (2015), estudando os atributos biológicos do solo em área submetida ao sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta na região Amazônica, concluíram que houve diminuição da atividade microbiana, representado por menor respiração basal, nos solos sob uso em comparação com a vegetação nativa.

Atributos químicos bastante empregados em pesquisas sobre a qualidade do solo são acidez, salinidade, matéria orgânica, cálcio, magnésio, potássio, fósforo disponível, capacidade de troca iônica (MAIA *et al.*, 2013; MORAIS *et al.*, 2015), carbono, nitrogênio (ALMEIDA *et al.*, 2016) e metais pesados (MORAIS *et al.*, 2015), pois são fortemente alterados pelo uso e manejo do solo o que os torna bons indicadores de qualidade do solo (FREITAS *et al.*, 2017).

Todos estes indicadores de qualidade química do solo estão relacionados à matéria orgânica, a qual desempenha importante papel no armazenamento e suprimento de nutrientes para as plantas (HAN *et al.*, 2016). Os resíduos de plantas contêm quantidades variáveis de macronutrientes como nitrogênio, fósforo, magnésio, cálcio, enxofre, além de micronutrientes e à medida que esses resíduos se decompõem, esses elementos ficam disponíveis para a absorção pelas plantas em crescimento (LOPES, 2001).

Em áreas cultivadas com cana-de-açúcar irrigada, houve melhoria da qualidade do solo logo após a primeira colheita mesmo com a manutenção de apenas 20% da palhada sobre a superfície do solo. A deposição de palhada manteve os estoques de carbono e nitrogênio semelhantes àqueles encontrados em solos de vegetação nativa (ALMEIDA *et al.*, 2016). Tal resultado evidencia que os teores e estoques de C e N são indicadores de qualidade do solo, que apontam sobre as alterações que ocorrem no solo por meio da manutenção dos resíduos vegetais sobre o mesmo (SIGNOR *et al.*, 2014).

A capacidade de troca catiônica (CTC) favorece a manutenção da fertilidade do solo por um período prolongado, além de reduzir o efeito tóxico no caso de aplicação excessiva de fertilizantes. Sendo assim, este atributo atua como um bom indicador da qualidade do solo se a maior parte desta CTC estiver ocupada por cátions essenciais (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+), no entanto se a maior parte da CTC estiver ocupada por H^+ e Al^{3+} este solo pode ser considerado de baixa fertilidade (RONQUIM, 2010).

A porcentagem da CTC ocupada pelas bases trocáveis é chamada de saturação de bases (V%). Esta também é utilizada como um indicador das condições gerais de fertilidade do solo. Geralmente, as culturas apresentam melhores produtividades quando a saturação de bases do solo está entre 50 e 80% (RONQUIM, 2010).

No estado do Pará, dentre áreas cultivadas com cacau, sistema agroflorestal e pastagem, o solo sob sistema agroflorestal apresentou-se com melhor qualidade química, sendo superior nos atributos de Ca, Mg, K e P, reduzido teor de alumínio e expressivamente maior soma de bases e CTC (ALVES *et al.*, 2019).

A qualidade física do solo pode ser avaliada indiretamente pelo teor de carbono orgânico, densidade do solo, porosidade, umidade, resistência do solo à penetração, taxas de infiltração de água (FROZZI *et al.*, 2018; MOTA; FREIRE; ASSIS JÚNIOR, 2013; NEWELL-PRICE *et al.*, 2013) e estabilidade de agregados (FROZZI *et al.*, 2018), os quais são considerados indicadores da qualidade física do solo (REYNOLDS *et al.*, 2009), pois podem ser modificados pelo uso e manejo do solo (MOTA; FREIRE; ASSIS JÚNIOR, 2013).

Todos os indicadores de qualidade física do solo estão relacionados com a matéria orgânica, a qual desempenha uma função muito importante sobre os atributos físicos do solo (FROZZI *et al.*, 2018), especialmente em solos muito intemperizados, como os que ocorrem na região amazônica, onde a presença de

material orgânico é importante para a estabilidade da estrutura, aeração, infiltração e retenção de água (FROZZI *et al.*, 2018). Devido a isso, o uso de cafeeiros sombreados é importante para a melhoria da qualidade física do solo. O consórcio com outras espécies desenvolve um sistema radicular que proporciona um ambiente mais estável em temperatura e umidade (SOUZA; DAN; ARAÚJO, 2016), além disso, há maior presença de macrofauna do solo em função do microclima (OLIVEIRA *et al.*, 2016) e maior qualidade da matéria orgânica (SILVA *et al.*, 2012).

A resistência do solo à penetração é um atributo importante para a caracterização e manejo do solo e está relacionada ao teor de umidade e densidade do solo (FROZZI *et al.*, 2018). Ela tem sido utilizada como um bom indicador de camadas compactadas e de mudanças que ocorrem nas propriedades físicas do solo (REICHERT *et al.*, 2010). Em cafeeiros consorciados com pupunha e gliricídia ocorreu menor resistência à penetração quando comparado a cafeeiro com monocultivo a pleno sol (SOUZA *et al.*, 2017). Menor resistência à penetração também foi encontrado em SAF misto e áreas manejadas com guaraná e piaçava e cabruca de cupuaçu em comparação com pastagem e fragmento de mata atlântica na Bahia, inferindo que o uso de sistemas agroflorestais ou consórcios podem melhorar a qualidade física do solo (AREVALO-HERNANDEZ *et al.*, 2016).

Como a estrutura do solo pode ser modificada pelo uso e manejo, a densidade do solo é um bom indicador da qualidade física do solo e pode fornecer informações relevantes a respeito da qualidade física deste. Além disso, a densidade do solo também é influenciada pela textura do solo e pela presença de matéria orgânica. Solos mais arenosos e com menor quantidade de matéria orgânica tendem a apresentar maior densidade. A presença de matéria orgânica reduz a densidade do solo, beneficia sua estruturação e auxilia na formação de estrutura granular grumosa com características expressivas de elevada porosidade entre e dentro dos agregados (FERREIRA, 2010).

A diversidade de espécies empregada nos sistemas agroflorestais contribuíram para diminuir a densidade e aumentar a porosidade do solo, quando comparados aos sistemas de monocultivo (SOUZA; DAN; ARAÚJO, 2016; SOUZA *et al.*, 2017; PEZARICO *et al.*, 2013) por apresentar maior deposição de resíduos e conseqüentemente maior quantidade de matéria orgânica que tem influência sobre os atributos avaliados. Aumentos no teor de matéria orgânica e no volume total de poros e redução da densidade do solo, indicando melhorias na qualidade física do

solo, foram encontrados em cafeeiro com sombreado médio com araucária quando comparado ao cafeeiro em monocultivo (OLIVEIRA *et al.*, 2016).

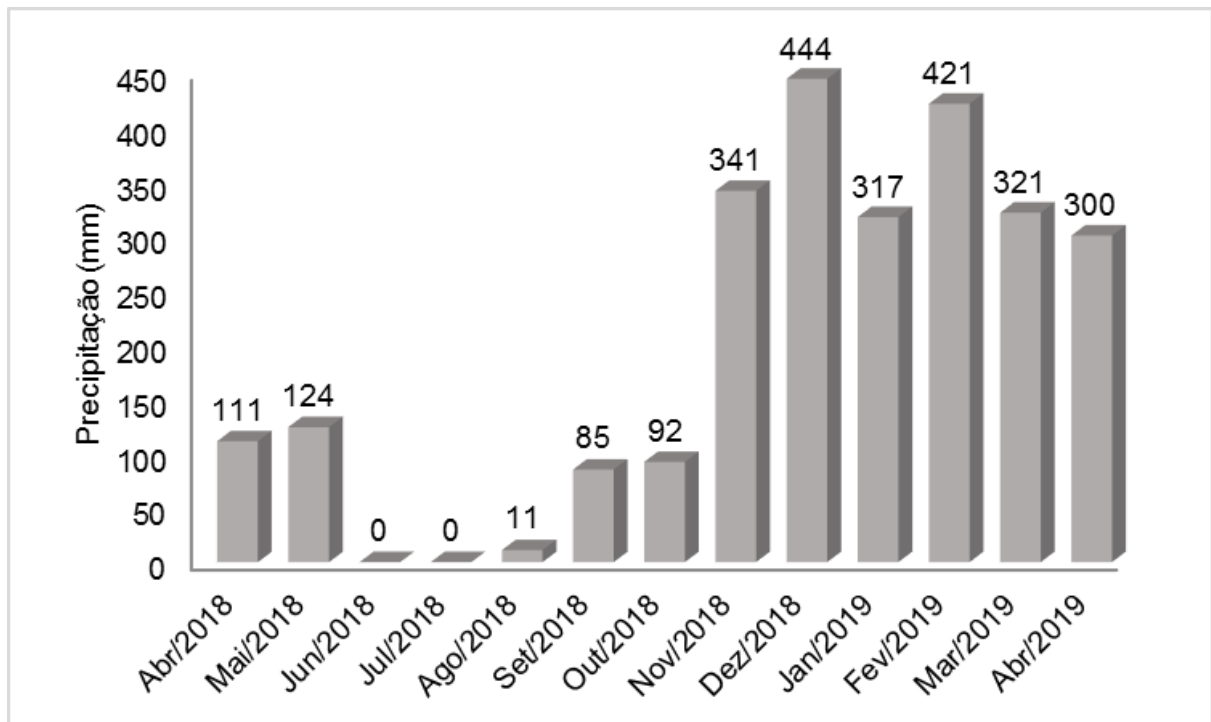
Considerando que o solo é um recurso limitado e que a maioria dos seus componentes requerem prolongados períodos de tempo para serem restaurados, o estudo e previsão da degradação provocada pelo manejo inadequado se tornam essenciais (STEFANOSKI *et al.*, 2013).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL, DELINEAMENTO E DISTRIBUIÇÃO DOS TRATAMENTOS

O trabalho foi desenvolvido em área agrícola, no município de Cacoal, onde há 1391 produtores de café (IBGE, 2017). Cacoal (11° 26' 19" S e 61° 26' 50" W) tem altitude média de 200 m, área de 3.808,4 km² (CIDADE-BRASIL, 2016) e o solo de ocorrência comum na região é o Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico típico, textura média/argilosa (IBGE, 2006). Na região, a temperatura do ar varia de 24 a 26°C e a precipitação anual varia de 1400 a 2600 mm, sendo os meses entre junho e outubro os mais secos (figura 1) (ALVARES *et al.*, 2013).

Figura 1 - Acumulado mensal de precipitação pluvial no município de Cacoal-RO ao longo do período experimental

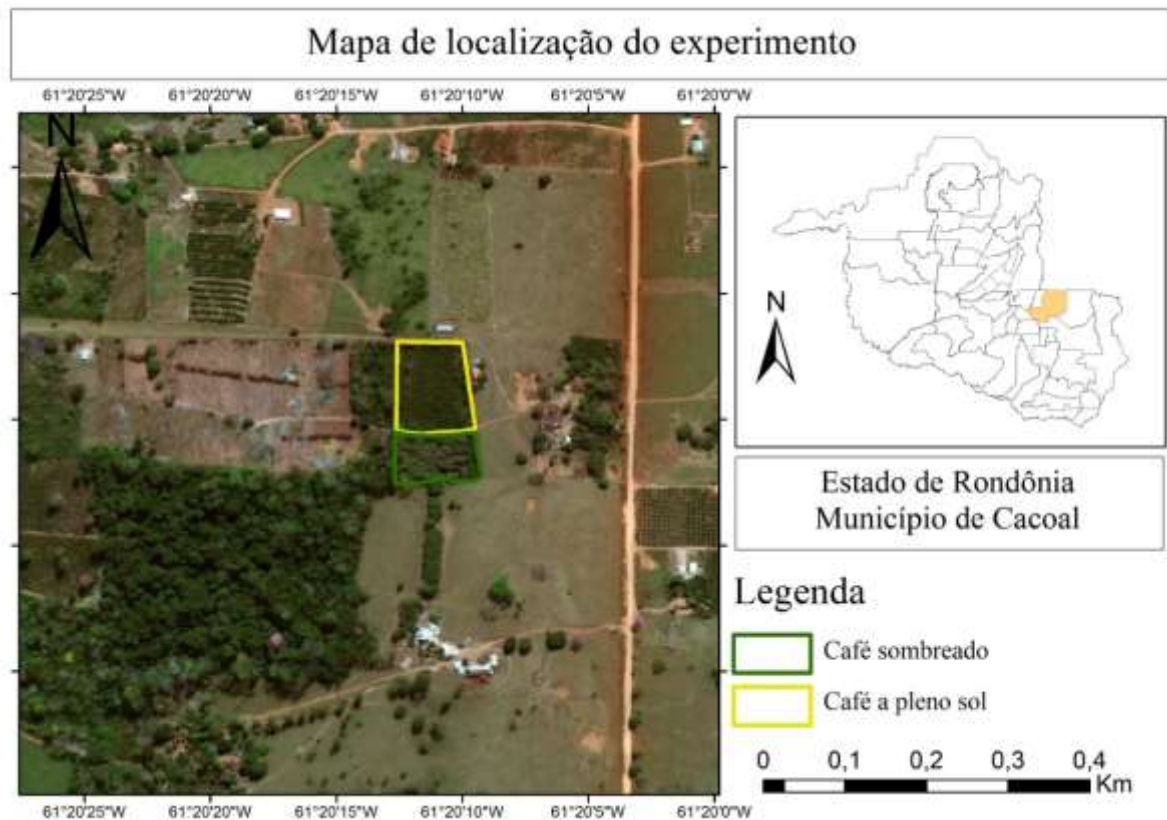


Fonte: INMET (2019).

No local selecionado para desenvolvimento da proposta foram demarcadas duas áreas, uma ao lado da outra, ambas cultivadas com cafeeiro (figura 2), no entanto, manejadas de formas diferentes e a partir deste ponto definidas como: Solo cultivado em sistema agroflorestal com cafeeiro e teca, e identificado como cafeeiro

sombreado (CS) e Solo cultivado somente com cafeeiro (monocultivo), identificado como cafeeiro a pleno sol (CPS). O relevo da área é plano, com pequeno declive, cerca de 3%.

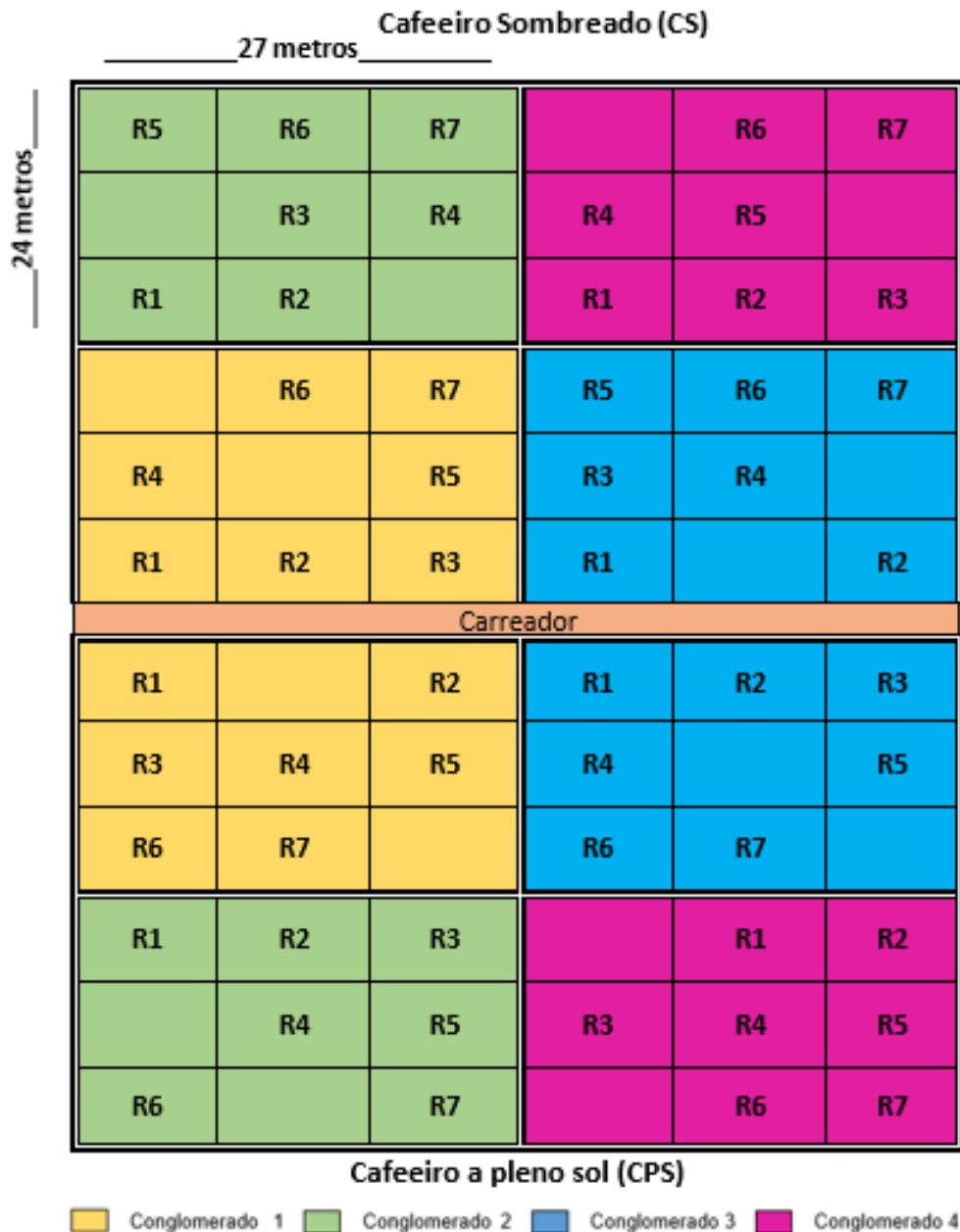
Figura 2 - Local selecionado para realização do trabalho, com cultivo de cafeeiro sombreado e cafeeiro a pleno sol, Cacoal - RO



Fonte: Google Earth (2019).

Cada área de sistema de cultivo de cafeeiro foi dividida em quatro conglomerados homogêneos, com dimensão de 24 x 27 m cada. Cada conglomerado, foi composto por uma malha onde foram amostrados 07 pontos que constituem as repetições. No total, foram 56 pontos de amostragem, de 9 x 8 m, sendo 28 repetições para cada tratamento (figura 3).

Figura 3- Croqui da área experimental e representação dos conglomerados



Fonte: A própria autora.

Tanto o cafeeiro em monocultivo (CPS), como o cafeeiro sombreado (CS) foram implantados no ano de 1996. O CS (*Coffea canephora*) está plantado em espaçamento 3 x 2 m, entre linhas e entre plantas, respectivamente, e a cada 2 linhas de plantio, foi introduzida uma espécie arbórea, a teca (*Tectona grandis*), em espaçamento 6 x 4 m, entre linhas e plantas, respectivamente, a qual nunca foi podada ou desbastada. O CS não recebe nenhuma fonte externa de adubação, não é irrigado e não sofre nenhum tipo de manejo silvicultural ou mesmo poda dos ramos

das plantas do cafeeiro, apresentando menor desenvolvimento vegetativo devido ao sombreamento. A incidência de plantas daninhas é reduzida, fato também atribuído ao sombreamento e, quando necessário, o controle é realizado com roçadeira lateral.

O CPS foi plantado em espaçamento 3 x 2,5 m, entre linhas e plantas, respectivamente. Recebe adubação mineral de nitrogênio, fósforo e potássio com um total anual de 48 kg ha⁻¹ de N, 12 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 48 kg ha⁻¹ de K₂O, mas sem recomendação com base em análise de solo, é o usual na região. A eliminação das plantas daninhas é realizada com roçadeira lateral uma vez ao ano e herbicida glifosato (2 litros do produto por hectare) duas vezes ao ano. Este cafeeiro é irrigado por aspersão, no entanto não é de forma contínua, sendo realizada apenas por 7 dias com uma lâmina de 6,3 mm por dia no final da segunda quinzena do mês de julho, antes da antese das flores (período que vai desde a abertura até o murchamento das flores). Desde o plantio, em 1996, o cafezal nunca foi renovado, no entanto, é realizada a poda dos ramos uma vez ao ano, após a colheita dos grãos, com mais uma desbrota anual no período chuvoso, realizadas de forma manual.

3.2 COLETA, PREPARO DAS AMOSTRAS E PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS

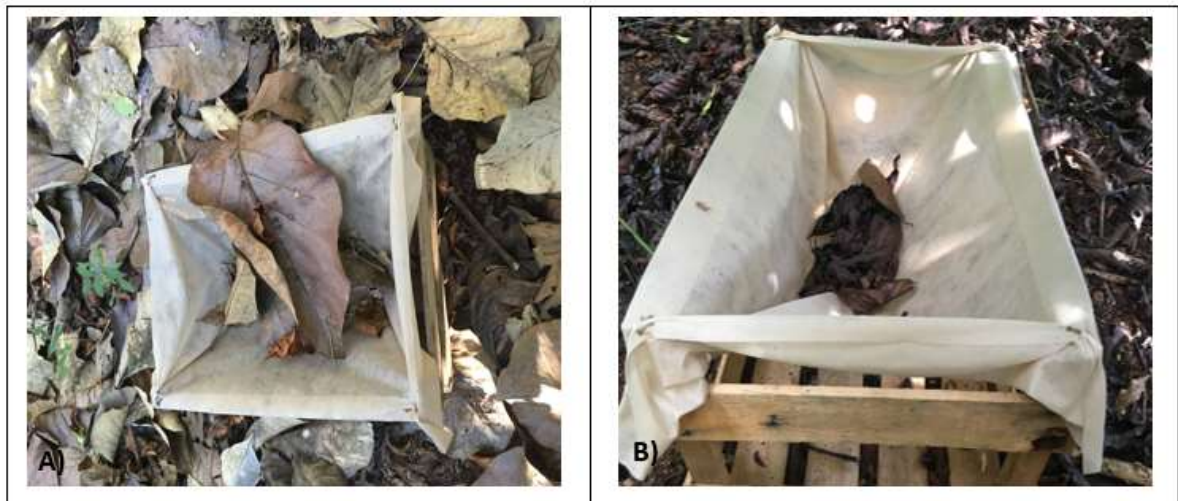
3.2.1 Coleta de serapilheira e resíduos de podas

No período de 12 meses, de abril de 2018 a abril de 2019, foram recolhidas amostras de serapilheira para avaliar o aporte de material orgânico nos dois sistemas de cultivo de cafeeiro. Um coletor (figura 4) com área de 0,174 m² (0,37 x 0,47 m) foi mantido em cada repetição, totalizando 28 coletores em cada sistema de cultivo. Mensalmente as amostras foram recolhidas, secas em estufa de circulação de ar forçada (65 °C) até obtenção de massa seca constante, para posterior pesagem.

Logo após a colheita do café, em junho de 2018, foi realizada uma poda de produção apenas no cafeeiro a pleno sol (figura 5). Uma planta, selecionada aleatoriamente, por repetição (28 plantas no total) teve todo o resíduo da poda (ramos ortotrópicos, ramos plagiotrópicos, folhas e brotos) recolhido, seco a 65 °C, em estufa de circulação forçada, até obtenção de massa seca constante e

posteriormente foi calculado o aporte de resíduos por hectare, levando em consideração a área ocupada por uma planta ($7,5 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$) Em dezembro de 2018 foi realizada uma desbrota e o mesmo procedimento da poda foi adotado, para obter a massa seca de brotos.

Figura 4 – Coleta de serapilheira com coletores, A) Coletor no cafeeiro sombreado; B) Coletor no cafeeiro a pleno sol



Fonte: A própria autora.

Figura 5 – Coleta de resíduos de poda, A) resíduo fresco após a poda; B) separação do resíduo de poda



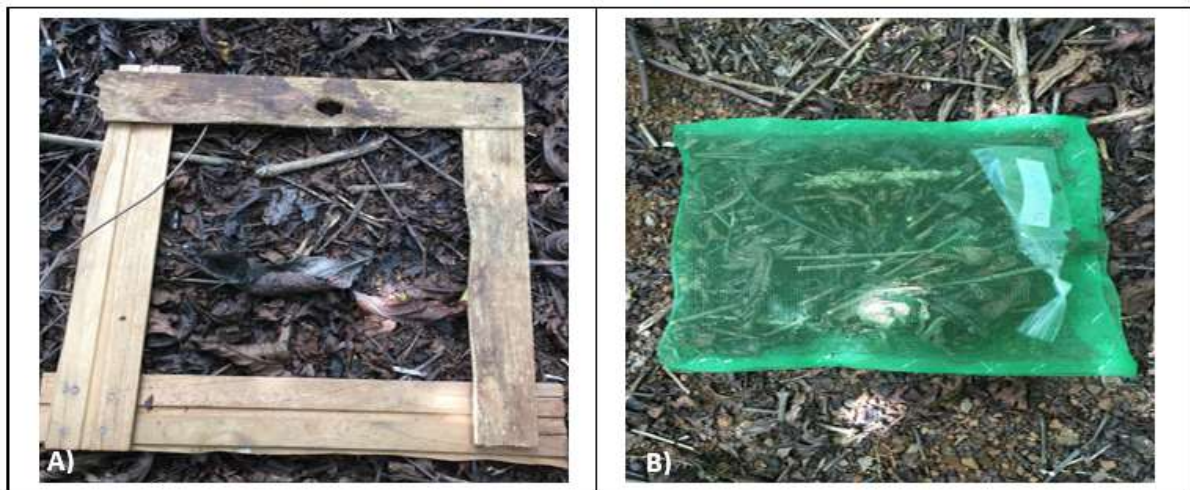
Fonte: A própria autora.

3.2.2 Decomposição da serapilheira

Em março de 2018 foram coletadas 07 amostras da serapilheira depositada sobre o solo, em cada repetição dentro dos conglomerados, perfazendo um total de 196 amostras por sistema de cultivo. A coleta foi aleatória dentro da repetição. Para esta coleta utilizou-se um gabarito com medidas internas de 0,25 x 0,25 m (figura 6A). Todo material vegetal (folhas, galhos e estruturas reprodutivas) encontrado na área do gabarito foi recolhido, tanto os recém caídos como os parcialmente decompostos.

A serapilheira coletada foi acondicionada em saco de papel, seca em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C, até atingir massa constante. Posteriormente, todo o material foi acondicionado em bolsas de náilon, com malha de 1 mm de abertura, e a partir daqui denominadas “*litter bags*” (figura 6B). Os *litter bags* secos, em abril de 2018 foram devolvidos em campo. Além da serapilheira coletada para decomposição, também foram coletadas 28 amostras compostas (3 subamostras) em cada sistema de cultivo de cafeeiro para análise de macronutrientes.

Figura 6 – Avaliação da decomposição da serapilheira pelo método do *litter bag*, A) Gabarito utilizado para coleta de serapilheira; B) Serapilheira dentro do *litter bag* após ser pesado e devolvido ao solo



Fonte: A própria autora.

De maio de 2018 a abril de 2019, os *litter bags* foram recolhidos, um *litter bag* por repetição aos 30, 60, 120, 180, 240, 300 e 360 dias após terem sido devolvidos em campo.

Os *litter bags*, recolhidos foram acondicionados em sacos plásticos, para transporte ao laboratório, onde passaram por limpeza (remoção do solo com pincel),

e demais procedimentos para obtenção de massa úmida e seca (65 °C até obtenção de massa constante).

Esta análise foi realizada com a finalidade de verificar se os sistemas de cultivo proporcionam taxas de decomposição.

As amostras iniciais (março de 2018) e todos os *litter bags*, após cada tempo de decomposição, foram secos, pesados, triturados em moinho (faca de aço inoxidável) e posteriormente foram analisados os teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), segundo Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). Estas análises foram realizadas no laboratório de nutrição de plantas, da Faculdade de Engenharia, Campus de Ilha Solteira, Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos.

O teor de nitrogênio foi determinado, após digestão sulfúrica pelo princípio de transformação do nitrogênio amoniacal em amônia, fixada pelo ácido bórico e posteriormente titulada com HCl 0,05 N até nova formação de nitrogênio amoniacal. Após a digestão nitroperclórica, determinou-se os teores dos outros macronutrientes. O teor de fósforo foi medido pelo método de colorimetria de metavanadato, no qual a cor da amostra é medida em espectrofotômetro por meio da porcentagem de transmitância. Para obtenção do teor de enxofre foi utilizado o método de turbidimetria do sulfato de bário medida em espectrofotômetro na forma de transmitância e para determinação dos teores de potássio, cálcio e magnésio foi utilizado o método de espectrofotometria de absorção atômica (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

O percentual de perda de massa foi calculado após cada tempo de decomposição pela equação 1.

$$SR (\%) = \frac{M_f}{M_i} * 100 \quad (1)$$

Sendo, SR = serapilheira remanescente, expressa em %, M_f = massa final de serapilheira no tempo x e M_i = massa inicial de serapilheira no tempo zero.

A constante de decomposição (k) da serapilheira aos 360 dias foi determinada conforme descrito por Thomas e Azakawa (1993) e o tempo gasto para decomposição de 50% da serapilheira, chamado de tempo de meia vida (t^{1/2}), conforme descrito por Rezende *et al.* (1999).

Para obtenção da constante de decomposição (expressa em g g dia⁻¹) utilizou-se o modelo exponencial descrito pela equação 2.

$$X_t = X_0 \cdot e^{-kt} \quad (2)$$

Sendo, X_t = massa da amostra no tempo x , X_0 = massa do material seco colocado no *litter bag* no tempo zero e t = tempo de decomposição em dias.

O tempo de meia vida, expresso em dias, foi obtido por meio da equação 3.

$$t^{1/2} = \ln(2)/k \quad (3)$$

Sendo, t = tempo de meia vida e k é a constante obtida na equação 2.

3.2.3 Atributo biológico do solo – Respiração Basal do Solo (RBS)

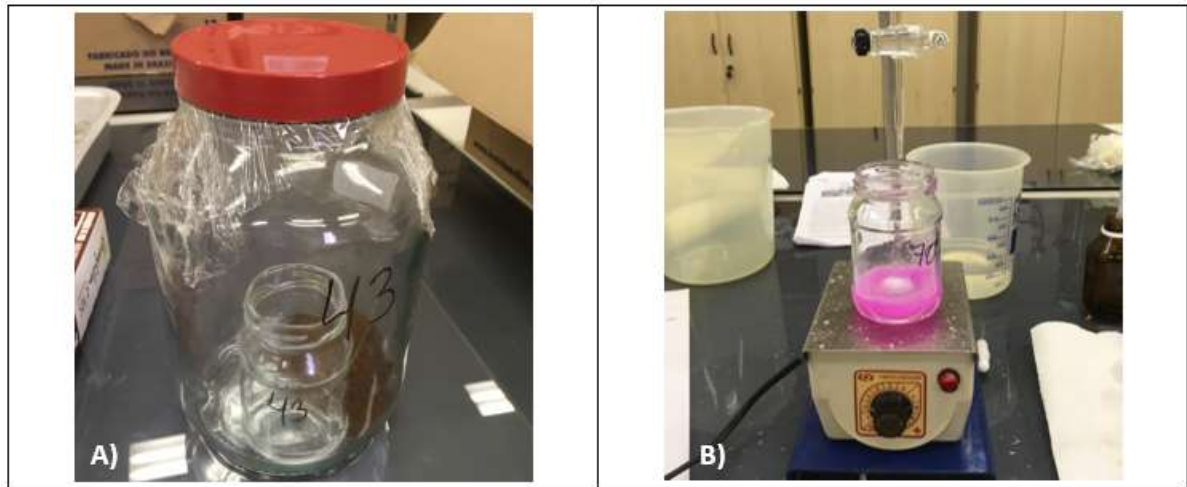
A RBS foi determinada para melhor compreender a atividade microbiana e a ciclagem de nutrientes, que ocorrem no solo dos dois sistemas de cultivo estudados.

A amostragem de solo e análise de RBS foram realizadas nas profundidades de 0 - 0,05 e 0,05 - 0,10 m, em duas épocas, seca e chuvosa. A época seca corresponde a amostragem realizada em junho/2018 e a chuvosa em janeiro/2019. As amostras foram coletadas em triplicata, em cada repetição de cada tratamento, para formar uma amostra composta com melhor representatividade da repetição, produzindo 28 amostras compostas por tratamento.

Nesta amostragem, o solo foi acondicionado em recipientes térmicos e transportado imediatamente ao laboratório de solos do Campus Cacoal do Instituto Federal de Rondônia.

Para realização da análise as amostras de solo foram peneiradas (malha de 2 mm) e 50 g foram colocadas em jarros de vidro com tampa de rosca. No centro do jarro foi depositado um pequeno frasco contendo 10 mL de NaOH 0,1 mol L⁻¹, e os jarros foram, então, hermeticamente fechados (figura 7A). O tempo de incubação foi de 173 horas na primeira época e de 189,5 horas (7^o dia de incubação) na segunda época de amostragem. Para titulação do NaOH livre, utilizou-se HCl (0,1 mol L⁻¹) e fenolftaleína (1%) como indicador. Como controle foram preparados jarros de vidro, sem solo, contendo frascos com NaOH. A titulação da base livre (figura 7B) permitiu calcular, por subtração, a quantidade de CO₂ que reagiu com NaOH e, conseqüentemente, o C-CO₂ liberado pela respiração microbiana (SILVA; AZEVEDO; DE-POLLI, 2007).

Figura 7 – Procedimento analítico para determinação da respiração basal do solo, A) Solo incubado; B) Titulação com ácido clorídrico



Fonte: A própria autora.

A RBS, dada em mg de C-CO₂ kg⁻¹ solo hora⁻¹, foi calculada pela equação 4.

$$RBS = \left(\frac{(Vb - Va) \cdot M \cdot 6.1000}{Ms} \right) / T \quad (4)$$

Sendo, Vb = volume de ácido clorídrico gasto na titulação da amostra branca (controle), Va = volume gasto na titulação da amostra com solo, M = molaridade do ácido clorídrico, Ms = massa seca obtida pela amostra de 50 g de solo úmido em estufa a 105 °C e T = tempo de incubação da amostra.

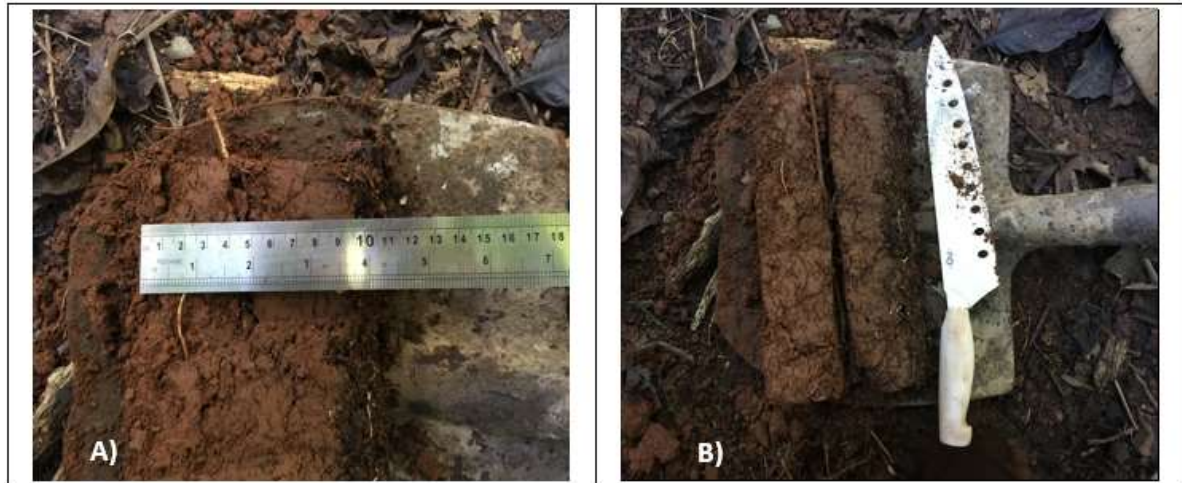
3.2.4 Atributos químicos do solo

Os atributos químicos do solo analisados foram matéria orgânica (MO), pH em solução de CaCl₂, fósforo (P), potássio (K⁺), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), acidez potencial (H+Al), alumínio (Al³⁺) e nitrogênio total (NT). Por meio de cálculo foi obtido a soma de bases ($SB = Ca + Mg + K$), a saturação por bases ($V\% = (100 * SB) / CTC$) e a capacidade de troca de cátions ($CTC = SB + (H + Al)$).

A primeira amostragem para análise química do solo foi realizada em abril de 2018 e a segunda em abril de 2019. As amostras foram coletadas em três subamostras para formar uma amostra composta em cada repetição, totalizando 28 amostras compostas por profundidade em cada tratamento. As profundidades amostradas foram 0 - 0,05 e 0,05 - 0,10 m (figura 8). As amostras foram secas ao ar,

peneiradas em malha de 2 mm e analisadas no laboratório de fertilidade do solo da Faculdade de Engenharia, Campus de Ilha Solteira, Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos.

Figura 8- Amostragem de solo para análise química, A) Conferência da profundidade B) Separação da amostra por profundidade



Fonte: A própria autora.

Os atributos químicos (MO, pH, P, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , $H+Al$ e Al^{3+}) do solo foram realizadas segundo procedimentos descritos por Raij *et al.* (2001). A MO foi analisada pelo método de Walkley-Black que se constitui em titulação, após oxirredução por via úmida. O pH foi determinado em solução de $CaCl_2$. Os nutrientes K, Ca e Mg foram extraídos pelo método da Resina e o P foi extraído tanto pelo método da Resina quanto pelo método Mehlich 3. A acidez potencial ($H+Al$) foi determinada em solução tampão SMP.

O nitrogênio total foi determinado pelo método Kjeldahl descrito por Malavolta; Vitti; Oliveira, (1997) por meio da destilação do nitrogênio e titulação com HCl 0,05 N.

3.2.5 Atributos físicos do solo

Para avaliar a qualidade física do solo foram analisados densidade do solo, porosidade (macro, micro e total) e resistência do solo à penetração.

Amostras indeformadas, para determinação de densidade do solo e porosidade foram coletadas (figura 9), em cada repetição dentro dos

conglomerados, nas profundidades de 0 a 0,05 e 0,05 a 0,10 m, em duas épocas, maio/2018 e janeiro/2019 para verificar se o sistema se encontra estabilizado. As amostras foram coletadas com anel volumétrico (cilindro) de volume aproximado de 100 cm³ e massa conhecidos, para determinação da densidade do solo e para quantificação de macro e microporos.

Para análise de porosidade do solo foi utilizado o método do anel volumétrico, conforme descrito por Almeida *et al.* (2017a). As amostras foram coletadas nas profundidades de 0 - 0,05 e 0,05 - 0,10 m dentro de cada repetição e cuidadosamente retiradas, os excessos foram removidos do cilindro para garantir que o volume de solo fosse o mesmo do cilindro. Uma das faces do cilindro foi protegida com papel de filtro e colocada para saturar por 16 a 24 horas em bandeja com água destilada com o nível de água até a metade da altura do cilindro para promover a saturação dos poros por capilaridade e conseqüentemente retirada do ar de todos os poros. As amostras foram drenadas em mesa de tensão com 0,6 m.c.a. (metros de coluna d'água) para a retirada da água presente nos macroporos (figura 10). O solo foi pesado e acondicionado em estufa a 105 °C até massa constante para a evaporação da água presente nos microporos e foi pesado novamente.

Figura 9 – Amostras indeformadas para análise de densidade e porosidade do solo, A) Pré-limpeza da amostra após coleta; B) Amostra de solo com mesmo volume do cilindro após limpeza

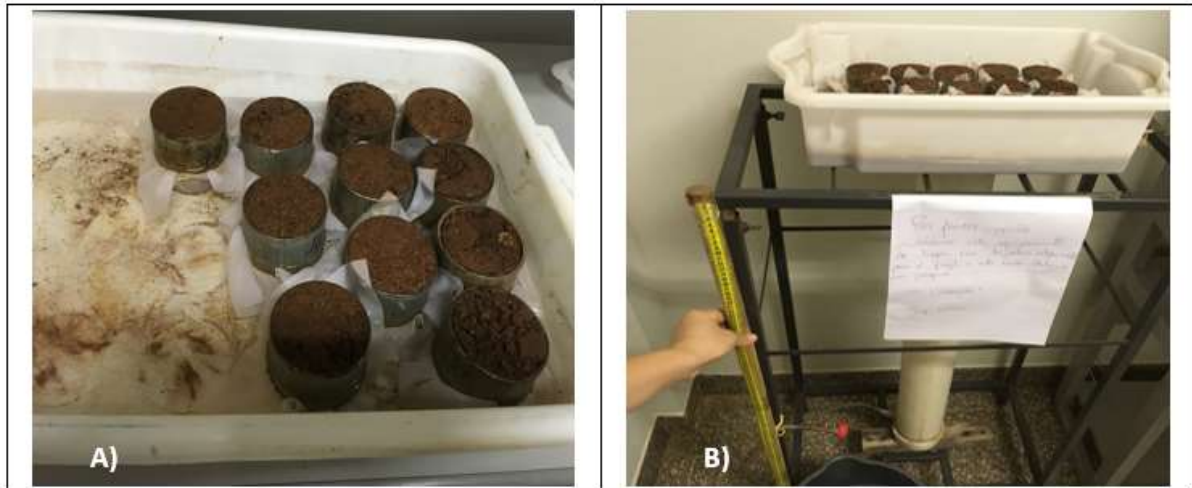


Fonte: A própria autora.

Nestas amostras também determinou-se a densidade do solo conforme descrito por Almeida *et al.* (2017b). Utilizando-se os mesmos procedimentos citados

acima, a densidade foi obtida pela relação entre a massa seca do solo e o volume do cilindro.

Figura 10 –Análise de porosidade do solo, A) Amostras saturadas com água; B) Amostras na mesa de tensão à 0,6 m.c.a.



Fonte: A própria autora

Posteriormente a determinação da porosidade o solo foi seco em estufa a 105 °C até massa constante. A densidade do solo foi calculada pela equação 5.

$$DS = \frac{ms}{vol} \quad (5)$$

Sendo, ms = massa de solo seco em gramas e vol = volume do cilindro em cm³, conforme metodologia descrita pela Teixeira *et al.* (2017).

Posteriormente foi realizada a densidade de partículas, para determinação da porosidade total do solo pelo método do balão volumétrico. O mesmo solo, retirado do cilindro foi peneirado em peneira com malha de 2 mm. Uma amostra de 20 g de terra fina seca em estufa (TFSE) foi depositada em balão volumétrico de 50 ml e seu volume aferido com álcool etílico. A densidade de partículas (em g cm⁻³) foi determinada pela equação 6.

$$Dp = \frac{TFSE}{50 - Vb} \quad (6)$$

Sendo, Dp = densidade de partículas, TFSE = terra fina seca em estufa e Vb = volume de álcool gasto para completar o volume no balão volumétrico de 50 ml.

A porosidade total (em m³ m⁻³) foi calculada pela equação 7.

$$Pt = 1 - \left(\frac{Ds}{Dp} \right) \quad (7)$$

Sendo, Pt = porosidade total, Ds = densidade do solo e Dp = densidade de partículas. A microporosidade foi obtida pela equação 8.

$$MiP = ms - \frac{mss}{vol} \quad (8)$$

Sendo, MiP = microporos, ms = massa de solo (em gramas) após tensão, mss = massa de solo seco (em gramas) a 105 °C e vol = volume do anel em cm³.

A macroporosidade (MaP em m³ m⁻³) foi obtida pela equação 9.

$$MaP = Pt - MiP \quad (9)$$

Para a avaliação de resistência mecânica do solo à penetração foi utilizado o equipamento Penetrômetro de Impacto Stolf, do tipo dinâmico, no qual, a penetração ocorre por impacto (figura 11). As aferições foram realizadas em cada repetição dentro dos conglomerados até 10 cm de profundidade, totalizando 28 aferições, tanto no cafeeiro sombreado como no cafeeiro a pleno sol na mesma época da segunda amostragem para densidade do solo e porosidade (janeiro de 2019). Os resultados obtidos em impactos foram convertidos em resistência dinâmica por meio da equação descrita por Stolf (1991), conforme a equação 10.

$$RP = 5,6 + 6,89 * (N) \quad (10)$$

Onde, RP = Resistência mecânica à penetração (em kgf cm⁻²) e N = número de impactos (golpes) por camada de solo analisada (STOLF, 1991).

Posteriormente os dados foram multiplicados pela constante 0,0980665 para a conversão em MPa, conforme Beutler *et al.* (2001). A resistência à penetração foi calculada para a profundidade de 0-0,1 m.

Figura 11 –Análise de resistência à penetração com penetrômetro de Impacto Stolf (figuras A e B)



Fonte: A própria autora.

3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Em todas as variáveis o teste de Shapiro-Wilk foi utilizado para testar a normalidade dos erros. Após a hipótese da normalidade ser aceita foi realizada a análise de variância seguindo os modelos: fatorial duplo (2 x 8, sendo o "uso 1: cafeeiro sombreado" e "uso 2: cafeeiro a pleno sol" em oito épocas) e fatorial triplo (2 x 2 x 2, com "uso 1: cafeeiro sombreado" e "uso 2: cafeeiro a pleno sol" em duas épocas e duas profundidades em esquema de parcela subdividida. Foi utilizado teste F a 5% para detectar as diferenças de todos os fatores e comparar as médias quando encontrada diferença significativa para os fatores com dois níveis. Para os fatores com oito níveis foi utilizada a análise de variância na regressão, o ajuste dos modelos foi verificado a partir do p-valor do desvio da regressão, uma vez obtido desvio não significativo, os modelos de regressão polinomial selecionados foram baseados nos coeficientes de correlação (R^2) superiores, dentre as regressões significativas pelo teste F. O programa estatístico utilizado foi o SISVAR (FERREIRA, 2019).

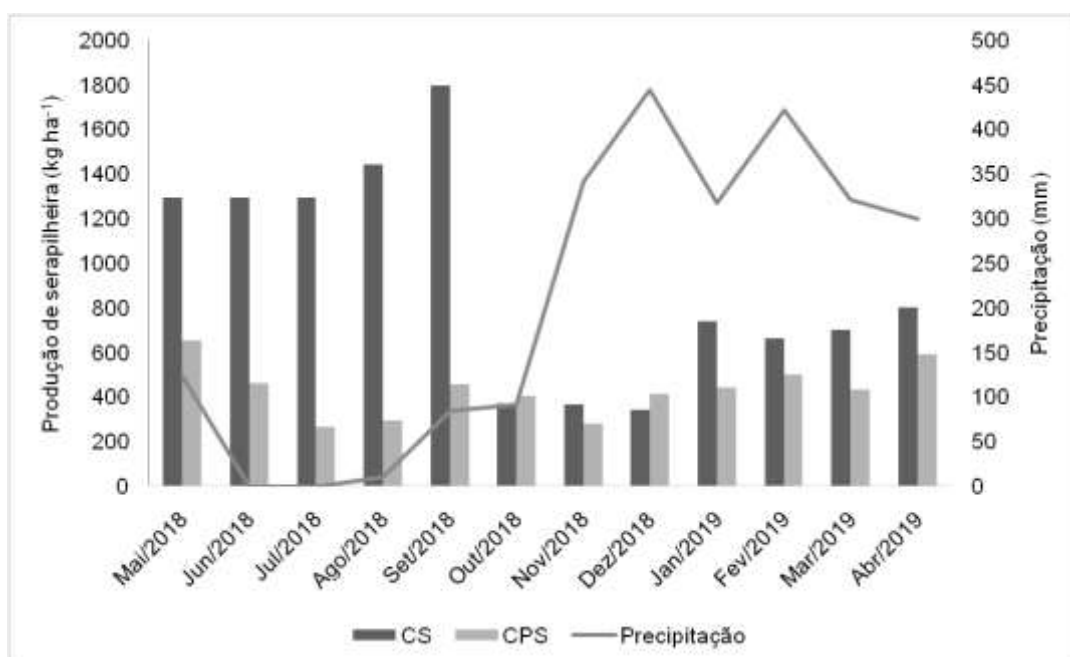
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 APORTE DE RESÍDUOS ORGÂNICOS (serapilheira e resíduos de poda e desbrota)

No cafeeiro sombreado (CS) o aporte de resíduos orgânicos ocorre por meio da queda natural de ramos, estruturas florais e especialmente por folhas, os quais compõem a serapilheira, e são oriundos em maior parte da espécie arbórea presente, uma vez que o café apresenta baixo desenvolvimento vegetativo e não foi podado.

A teca (*Tectona grandis*), espécie arbórea presente no CS é caducifólia (LORENZI, *et al.*, 2003), com período de maior senescência de folhas entre maio e setembro, em condições ambientais amazônicas, período de menor pluviosidade (figura 12). Neste trabalho o pico de senescência ocorreu no mês de setembro, com depósito de quase 1.800 kg ha⁻¹ de serapilheira. Em pesquisa conduzida no Mato Grosso, em três povoadamentos de teca, ocorreu maior deposição de serapilheira nos meses de agosto e setembro, final do período seco na região (ROSA; SCARAMUZZA; SILVA, 2015), corroborando com os dados obtidos em Cacoal (RO).

Figura 12 – Média mensal de serapilheira coletada em cafeeiro sombreado (CS) e a pleno sol (CPS) e precipitação, de maio de 2018 a abril de 2019



Fonte: A própria autora.

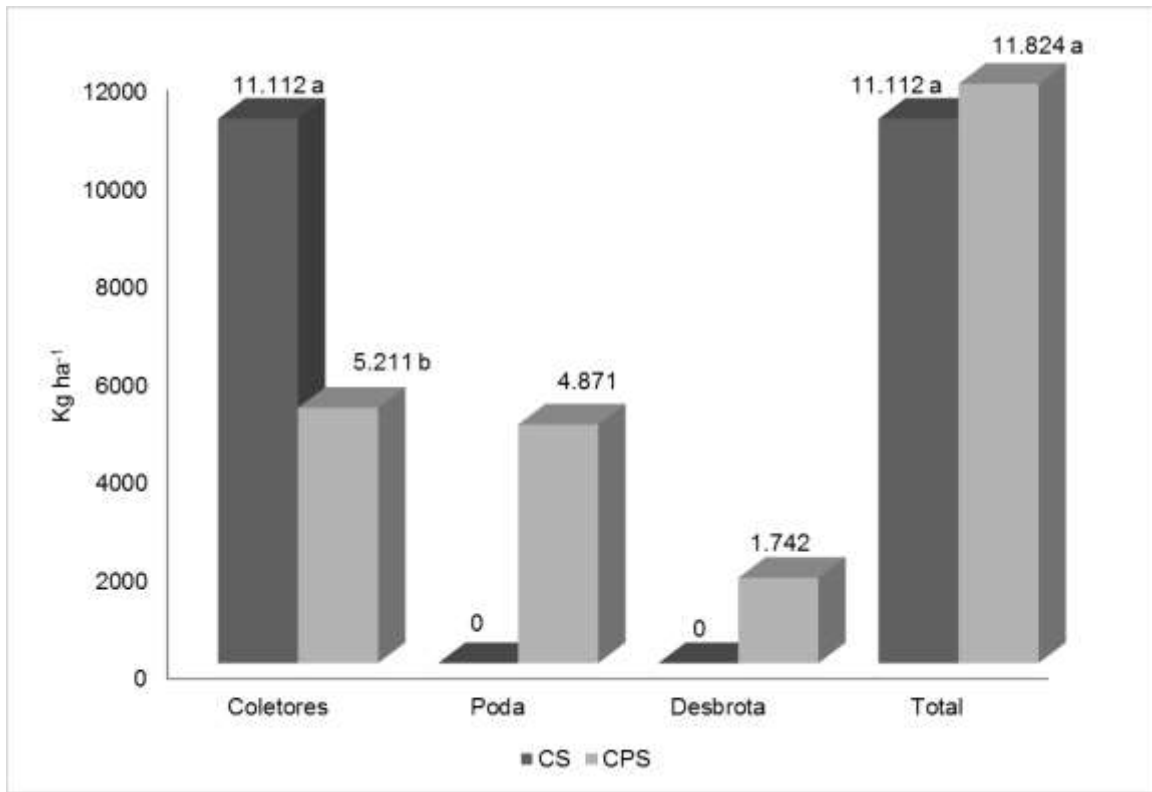
No cafeeiro a pleno solo (CPS), a serapilheira coletada (figura 12) corresponde a folhas e estruturas florais provenientes do cafeeiro (*Coffea canephora*). Nesse sistema, o aporte natural de serapilheira ocorreu de forma mais uniforme durante todo o ano, visto que é uma espécie não caducifólia. No entanto, nos meses de abril e maio ocorreu um leve incremento de serapilheira, justificado por se tratar dos meses que antecedem a colheita e a poda, quando as plantas se encontram com grande quantidade de ramos e folhagens.

No acumulado anual de serapilheira com queda natural (avaliada nos coletores), observa-se que no CS o aporte de serapilheira foi superior ao CPS (figura 13), perfazendo uma diferença total de 5.900 kg ha⁻¹ de massa seca entre os dois usos do solo. No entanto, no cafeeiro sombreado a contribuição foi apenas por deposição natural de resíduos, enquanto no cafeeiro a pleno sol ocorre anualmente uma operação de poda manual e uma desbrota, as quais contribuíram para aumentar a quantidade total de resíduos orgânicos no período de 1 ano. Cafeeiros consorciados apresentam um maior potencial de produção de biomassa (THOMAZINI *et al.*, 2015), contudo, Campanha *et al.* (2007) encontraram maiores teores de MO em cafeeiro em monocultivo, quando comparado ao manejo agroflorestal, inferindo que em sistemas agroflorestais ocorre maior ciclagem e mineralização da matéria orgânica.

A deposição de serapilheira anual no CS, com 22 anos de idade, no período de um ano foi de 11.112 kg ha⁻¹ (figura 13). No entanto, Rosa, Scaramuzza e Silva (2015), em seus estudos, no estado de Mato Grosso, verificaram o aporte de 7.280,25 kg ha⁻¹ em povoamento de teca com 7 anos de idade e espaçamento de 3 x 3 m (ROSA, 2010) e encontraram quantidades menores em povoamentos com 5 e 6 anos de implantação (ROSA; SCARAMUZZA; SILVA; 2015).

No estado de Mato Grosso, sul da Amazônia, uma média geral de 10.600 kg ha⁻¹ de serapilheira foi encontrada em florestas intactas e exploradas (ALMEIDA; LUIZÃO; RODRIGUES, 2015), resultado semelhante ao encontrado para a área deste estudo, mesmo com espécies distintas. Em Machadinho d'Oeste (RO) os sistemas agroflorestais de cafeeiro e teca recobriram 100% do solo com serapilheira em função da biomassa produzida pelas árvores, enquanto no cafeeiro a pleno sol o recobrimento com serapilheira foi de apenas 30% (RODRIGUES *et al.*, 2015).

Figura 13 – Serapilheira total e resíduo de poda e desbrotas em cafeeiro sombreado (CS) e a pleno sol (CPS) no período de 1 ano (maio de 2018 a abril de 2019)



Nota: Médias seguidas de mesma letra, por variável, não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade. CV (coletores)= 21%; CV (total)= 15%.

Fonte: A própria autora.

4.2 DECOMPOSIÇÃO DE SERAPILHEIRA

Ao longo de um ano de observações, a massa da serapilheira dos *litter bags* diminuiu de modo linear (tabela 1), tanto no CS quanto no CPS. Tendo as maiores reduções ocorrido no início e no final do período de observação e coincidente com os períodos de maior pluviosidade na região (figura 1), demonstrando certa estabilização entre 60 e 180 dias, período menos chuvoso, correspondente aos meses de junho a outubro (figura 1). Este comportamento também foi relatado por Bauer, Santos e Schmitt (2016) que observaram incrementos na decomposição de serapilheira em períodos de maior pluviosidade, não só na região Amazônica, mas em diferentes ecossistemas. É importante ressaltar que, para decomposição do material orgânico ocorrem processos bioquímicos no solo, os quais dependem da presença de água (SILVA, W. M. *et al.*, 2009) explicando as observações feitas ao longo do ano.

Ao final do período estudado (360 dias) o CS apresentou redução da massa dos *litter bags* para 52,1% em relação à massa inicial e o CPS uma redução menor, com 58,6% de massa remanescente (tabela 1). A constante de decomposição (tabela 2) corrobora estes resultados, tendo o CPS uma constante de decomposição (k) de 0,0015 g g⁻¹ dia⁻¹ aos 360 dias e, conseqüentemente maior tempo de meia vida (470 dias) quando comparado ao CS, com maior constante de decomposição (0,0018 g g⁻¹ dia⁻¹) e 397 dias de meia vida. Com isso, é possível inferir que o CPS demandará mais tempo para que os nutrientes sejam disponibilizados ao solo.

Tabela 1 – Massa da serapilheira remanescente (%) presente nos *litter bags* aos 0, 30, 60, 120, 180, 240, 300 e 360 dias, compreendidos entre maio de 2018 e abril de 2019, em cafeeiro sombreado (CS) e a pleno sol (CPS)

Uso do solo	Tempo (dias)								Valor F
	0	30	60	120	180	240	300	360	
CS	100a	92,3a	86,1a	86,1a	82,4a	73,3a	61,0b	52,1b	246,66**
CPS	100a	93,9a	85,7a	85,6a	83,4a	75,0a	65,3a	58,6a	185,24**
Valor F	0,00 ^{ns}	1,14 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,53 ^{ns}	1,34 ^{ns}	8,66**	20,29**	-
Uso do solo	Modelo da regressão							R ²	
CS	Ŷ = 98,42481 - 0,119326 x							0,9472	1645,31**
CPS	Ŷ = 97,65043 - 0,103574 x							0,9502	1232,14**
Valores de F		Usos			Tempos			Uso x Tempo	
		11,88**			429,00**			2,90**	

Nota: Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem (P<0,05) entre si pelo teste F. F: valores de F calculados; ** significativo a 1% de probabilidade; ^{ns}: não significativo.

Fonte: A própria autora.

O tempo de meia vida representa o tempo necessário para a decomposição de 50% da serapilheira, fato que pode ser atribuído à fatores como tipo de cobertura vegetal, condições de temperatura e umidade, atividade microbiana do solo e tipo de material presente na serapilheira (URBANO *et al.*, 2018), sendo o último o que pode ter mais influenciado estes resultados. Rosa *et al.* (2017) encontraram tempo estimado para decompor 50% da serapilheira de povoamentos de teca com cinco, seis e sete anos de 467, 419 e 434 dias (tempo de meia vida), respectivamente, valor que está próximo dos 397 dias encontrados no CS, onde há predomínio de material vegetal da teca na serapilheira, como já citado.

Tabela 2 – Constante de decomposição (k) da serapilheira aos 360 dias e tempo de meia vida ($t^{1/2}$) sob cafeeiro sombreado (CS) e cafeeiro a pleno sol (CPS)

Usos do solo	k (g g ⁻¹ dia ⁻¹)	$t^{1/2}$ (dias)
CS	0,0018 a	397 b
CPS	0,0015 b	470 a
CV	18,6%	18,1%
Valores de F	18,14**	12,07**
Média Geral	0,0017	433,7

Nota: Médias seguidas de mesma letra não diferem ($P < 0,01$) entre si pelo teste F. CV: coeficiente de variação; F: valores de F calculados; ** significativo a 1%.

Fonte: A própria autora.

A serapilheira no CS é de mais fácil decomposição, pois é composta basicamente por folhas e estruturas reprodutivas da teca, enquanto que no CPS há resíduos de poda do cafeeiro, com incremento de ramos lignificados, de maior relação C:N, o que contribui para aumentar o tempo de decomposição (PEGORARO *et al.*, 2011), reforçando que o tipo de material do qual a serapilheira é composta desempenha um importante papel no processo de decomposição da mesma (TEIXEIRA *et al.*, 2012; TERROR; SOUSA; KOZOVITS, 2011). Silva *et al.* (2014), verificaram maior tempo de meia vida da serapilheira em plantios de espécies nativas e floresta nativa, quando comparado a um plantio de jaqueira, estes atribuíram o resultado à natureza química do material, onde foram verificados maiores teores de carbono, celulose e lignina.

Nesta pesquisa a decomposição da serapilheira foi avaliada no material vegetal que estava sobre o solo, dentro da área amostral (0,0625 m²), ou seja, folhas, galhos, estruturas reprodutivas e casca, no entanto, na maioria das pesquisas o material utilizado é composto apenas por folhas. Ainda assim, as constantes de decomposição (k) encontradas nas áreas em estudo são semelhantes aos resultados obtidos por outros autores em regiões distintas. Cunha Neto *et al.* (2013), encontraram valores de k entre 0,0013 e 0,0034 g g⁻¹ dia⁻¹ em floresta secundária e plantios de acácia, mimosa e eucalipto, no estado de Minas Gerais. Silva *et al.* (2014), obtiveram valores de k entre 0,0019 e 0,0033 g g⁻¹ dia⁻¹ em fragmento de floresta nativa na Bahia e em dois plantios florestais, um com espécies nativas (ipê, sete-cascas e aroeira) outro com jaqueira. Menezes *et al.* (2010) verificaram valores superiores, variando de 0,0039 a 0,0064 g g⁻¹ dia⁻¹ no bioma

Mata Atlântica, porém para este mesmo bioma Grugiki *et al.* (2017) constataram valores menores de k entre 0,0013 e 0,0024 $\text{g g}^{-1} \text{dia}^{-1}$. Silva, C. J. *et al.* (2009), em área de transição Floresta Amazônica – Cerrado, encontraram valores de k entre 0,0010 e 0,0050 $\text{g g}^{-1} \text{dia}^{-1}$ no período seco e de 0,0061 a 0,0119 $\text{g g}^{-1} \text{dia}^{-1}$ no período chuvoso, neste caso os resultados apontam para uma maior decomposição no período chuvoso, porém o tipo de material com maior relação C:N, encontrado na serapilheira interfere sob CPS (ACOSTA *et al.*, 2014), com menor velocidade de decomposição da mesma.

A análise de nutrientes realizada na serapilheira remanescente (tabela 3), demonstrou que os teores de nitrogênio, fósforo, magnésio e enxofre, apresentam interação entre uso do solo e tempo de amostragem, enquanto potássio e cálcio apresentam diferenças significativas apenas para tempo de decomposição.

De maneira geral, não se observa um decaimento regular dos nutrientes durante o período de 360 dias analisados, situação também verificada por Bambi *et al.* (2011) no norte do Mato Grosso em floresta de transição Cerrado-Floresta Amazônica em um período de 300 dias.

O teor de nitrogênio na serapilheira remanescente (tabela 3) foi superior no CPS para todos os tempos de avaliação, fato atribuído à maior taxa fotossintética das plantas no CPS, uma vez que a irradiância se correlaciona positivamente com os teores de N na planta, desde que outros fatores como disponibilidade de água e nutrientes não sejam limitantes (FAHL *et al.*, 1994; LEMOS *et al.*, 2010), além disso, no CPS foi adicionado N na adubação, fator que contribuiu para maior absorção do nutriente pela planta.

Tabela 3 – Teores médios para nutrientes encontrados na serapilheira remanescente nos tempos (T) 0, 30, 60, 120, 180, 240, 300 e 360 dias, no período de abril de 2018 a abril de 2019 para solo sob cafeeiro sombreado (CS) e a pleno sol (CPS)

Uso do solo	Tempo (dias)								Valor F	
	0	30	60	120	180	240	300	360		
Nitrogênio (N) (g kg ⁻¹)										
CS	14,8b	14,5b	13,9b	14,1b	14,3b	17,6b	16,5b	17,2b	15,32**	
CPS	19,8a	20,2a	20,1a	19,2a	20,7a	22,7a	23,4a	24,2a	24,04**	
Valor F	86,18**	110,38**	130,57**	86,55**	138,35**	86,18**	163,86**	165,55**	-	
Uso do solo	Modelo da regressão								R ²	
CS	$\hat{Y} = 13,8939 + 0,009163 x$								0,6391	68,56**
CPS	$\hat{Y} = 19,1859 + 0,013078 x$								0,8300	139,67**
Fósforo (P) (g kg ⁻¹)										
CS	0,91a	0,85b	1,04a	0,89a	0,76a	0,86a	1,03a	0,94a	6,48**	
CPS	0,69b	1,48a	0,94a	0,61b	0,63b	0,72b	0,79b	0,74b	60,52**	
Valor F	17,05**	148,34**	3,20 ^{ns}	29,55**	6,48*	7,96**	21,26**	15,93**		
Uso do solo	Modelo da regressão								R ²	
CS	$\hat{Y} = 0,934590 - 0,000827x + 0,000003 x^2$								0,1559	6,00*
CPS	$\hat{Y} = 1,055388 - 0,002942x + 0,000006 x^2$								0,2237	29,91**
Potássio (K) (g kg ⁻¹)										
CS	3,11a	2,15a	1,64a	1,31b	1,53a	1,20a	1,20a	1,24a	38,15**	
CPS	2,82a	1,93a	1,60a	1,64a	1,40a	1,13a	1,26a	1,20a	26,59**	
Valor F	3,53 ^{ns}	2,12 ^{ns}	0,09 ^{ns}	4,57*	0,71 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,06 ^{ns}		
Uso do solo	Modelo da regressão								R ²	
CS	$\hat{Y} = 2,304622 - 0,003894 x$								0,5918	158,05**
CPS	$\hat{Y} = 2,174903 - 0,003410 x$								0,6514	121,25**
Cálcio (Ca) (g kg ⁻¹)										
CS	22,31a	19,14a	14,08a	15,46a	13,74a	16,34a	21,75a	18,19a	30,54**	
CPS	21,20a	18,89a	14,17a	13,94a	14,51a	15,08a	20,17a	18,03a	24,08**	
Valor F	1,71 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,01 ^{ns}	3,27 ^{ns}	0,84 ^{ns}	2,23 ^{ns}	3,56 ^{ns}	0,04 ^{ns}		
Uso do solo	Modelo da regressão								R ²	
CS	$\hat{Y} = 20,359111 - 0,061696 x + 0,000176 x^2$								0,4655	30,55**
CPS	$\hat{Y} = 19,810030 - 0,061862 x + 0,000175 x^2$								0,5828	24,08**
Magnésio (Mg) (g kg ⁻¹)										
CS	1,69b	1,31b	1,00b	1,14b	0,98b	0,95b	1,20b	0,99b	16,34**	
CPS	3,01a	2,26 a	1,87a	1,85a	1,93a	1,93a	2,05a	1,93a	39,37**	
Valor F	228,97**	116,41**	100,26**	66,14**	120,8**	126,3**	93,82**	114,66**		
Uso do solo	Modelo da regressão								R ²	
CS	$\hat{Y} = 1,497904 - 0,004764x + 0,000010x^2$								0,6245	32,12**
CPS	$\hat{Y} = 2,629028 - 0,007695x + 0,000017x^2$								0,6136	90,25**
Enxofre (S) (g kg ⁻¹)										
CS	2,04b	1,87b	1,51a	1,54a	1,58b	2,20a	3,10a	3,07a	18,45**	
CPS	2,50a	2,50a	1,71a	1,94a	2,55a	2,14a	2,81a	3,31a	11,25**	
Valor F	4,57*	8,83**	0,87 ^{ns}	3,49 ^{ns}	20,63**	0,07 ^{ns}	1,87 ^{ns}	1,29 ^{ns}		
Uso do solo	Modelo da regressão								R ²	
CS	$\hat{Y} = 1,930589 - 0,005795x + 0,000027x^2$								0,8626	36,82**
CPS	$\hat{Y} = 2,425653 - 0,005974x + 0,000024x^2$								0,7164	27,80**
Valores de F										
Fontes de variação	N	P	K	Ca	Mg	S				
Uso do solo	951,20**	213,59**	0,92 ^{ns}	4,45*	939,28**	17,87**				
Época	37,02**	34,40**	63,23**	53,58**	51,73**	26,32**				
Uso do solo x Época	2,34*	32,59**	1,51 ^{ns}	1,05 ^{ns}	3,98**	3,39**				

Nota: Médias seguidas de mesma letra, por fonte de variação, não diferem (P<0,05) entre si pelo teste F a 5% de probabilidade. * significativo a 5%; ** significativo a 1%. Fonte: A própria autora.

Tanto no CS quanto no CPS, não ocorreu redução do teor de N na serapilheira remanescente, sendo superior aos 240, 300 e 360 dias. Bambi *et al.* (2011) atribuíram esse fenômeno à qualidade da água da chuva, ao aumento excessivo de umidade do solo que prejudica a mineralização do nitrogênio e à lenta decomposição de troncos. Pois compostos orgânicos como açúcares solúveis e aminoácidos livres são rapidamente decompostos, liberando o nitrogênio, enquanto que a fração do nitrogênio que está ligada à fibra dos tecidos é de mais difícil decomposição, causando o efeito de maior concentração do nitrogênio ao longo do período de decomposição (FREIRE *et al.*, 2010).

Tanto para CS quanto para CPS o S remanescente na serapilheira apresenta ao longo do tempo comportamento quadrático, isto é, uma quantidade inicial de S que tende ao decréscimo e ao longo do tempo parece aumentar a concentração (tabela 3). Esse aumento do enxofre pode estar relacionado com a imobilização do nutriente por microrganismos decompositores (AIDAR; JOLY; 2003; LOPES, 2001) e também pelo maior tempo de conversão das moléculas orgânicas sulfúricas em moléculas inorgânicas, pois a quebra destas moléculas são realizadas principalmente em meio anaeróbico e por isso demanda mais tempo que os demais nutrientes (PAUL; CLARK, 1989).

No CS, pode-se observar incremento significativo da concentração de S aos 240 e 300 dias de decomposição. No entanto, no CPS, houve redução aos 60 dias e novamente voltou a ocorrer incrementos nos períodos subsequentes, sendo que o teor aos 360 dias ($3,2 \text{ g dm}^{-3}$) é maior que o teor encontrado no início da avaliação ($2,25 \text{ g dm}^{-3}$).

Na serapilheira tanto do CS como do CPS as variações observadas nos teores de fósforo, foram $0,7$ a $1,5 \text{ g kg}^{-1}$, embora existam diferenças significativas, o conteúdo é incipiente, não caracterizando uma contribuição efetiva ao solo.

O teor de K na serapilheira não apresentou variações entre os sistemas de cultivo CS e CPS e nos dois tratamentos apresentou comportamento linear e decrescente com o tempo transcorrido. O potássio foi o nutriente que apresentou o decréscimo mais regular dentre os que foram analisados, pois não está associado à nenhuma estrutura do tecido vegetal, apresentando alta solubilidade nos restos vegetais (BAMBI *et al.*, 2011).

Os teores de cálcio apresentaram variações significativas entre tratamentos e ao longo do tempo com comportamento quadrático para este, resultado atribuído à

diferente concentração do nutriente na serapilheira ao longo do tempo, visto que é um nutriente encontrado em grande quantidade em caules e pode demandar mais tempo para mineralização (LOPES, 2001).

O teor de magnésio (tabela 3) ocorre em maior quantidade no CPS devido a maior disponibilidade do nutriente no solo sob CPS (tabela 7), em função, principalmente, dos resíduos provenientes das podas e desbrotas (figura 13), as quais eliminam grande quantidade de brotos com folhas jovens, pois o Mg é um elemento móvel na planta e está presente em grande quantidade nos tecidos de crescimento (TAIZ *et al.*, 2017), enquanto que no CS o magnésio assimilado pelas plantas pode estar em sua maior parte armazenado nos ramos e troncos, os quais não são renovados anualmente. Ao longo do tempo o Mg apresentou comportamento quadrático, com maior concentração do nutriente no início do período com decaimento e menores teores em período chuvoso (figura 1), quando ocorre maior decomposição da serapilheira (tabela 1).

O decréscimo e incremento irregular dos nutrientes da serapilheira remanescente durante o período estudado pode estar relacionado com o tipo de material utilizado para avaliar a decomposição, pois, para esta pesquisa, foi coletado todo tipo de material encontrado sobre o solo (folhas, galhos, estrutura reprodutiva e cascas) recém caídos e parcialmente decompostos, enquanto que a maioria das pesquisas encontradas na literatura foram utilizadas folhas recém caídas.

4.3 RESPIRAÇÃO BASAL DO SOLO

A respiração basal do solo (RBS), indicou (tabela 4) que há interação entre uso do solo, época e profundidade de amostragem (interação tripla, com $P < 0,05$).

Na profundidade de 0 – 0,05 m o CS apresentou maior RBS na época seca quando comparado à época chuvosa, representada pela maior liberação de CO_2 , mas também foi superior ao CPS na mesma época de amostragem do solo (tabela 5), indicando a ocorrência de maior atividade microbiana no ambiente sombreado, na seca, quando apresentou maior umidade do solo (tabela 5). Na época seca o solo foi coletado em junho de 2018 para avaliar a RBS, antes da realização da poda no CPS.

Tabela 4 - Valores de F para interação entre uso do solo, época e profundidades de amostragem das variáveis RBS e umidade do solo

Variáveis	Uso do solo	Épocas	Profundidades		Valor F (P)		
			0 – 0,05 m	0,05 – 0,10 m			
Valores F (E)							
RBS	CS	Seca	128,19**	14,41**	274,96**		
	CS	Chuvosa			25,85**		
	CPS	Seca	96,19**	14,75**	211,25**		
	CPS	Chuvosa			363,75**		
	Valores F (U)						
		Seca / 0 – 0,05 m		8,75**	-		
		Seca / 0,05 – 0,10 m		0,07 ^{ns}	-		
		Chuvosa / 0 – 0,05 m		330,23**	-		
	Chuvosa / 0,05 – 0,10		0,05 ^{ns}	-			
Valores F (E)							
Umidade do solo	CS	Seca	207,76**	62,23**	8,68**		
	CS	Chuvosa			61,55**		
	CPS	Seca	76,19**	42,53**	3,64 ^{ns}		
	CPS	Chuvosa			12,73**		
	Valores F (U)						
		Seca / 0 – 0,05 m		4,12*	-		
		Seca / 0,05 – 0,10 m		0,42 ^{ns}	-		
		Chuvosa / 0 – 0,05 m		59,53**	-		
	Chuvosa / 0,05 – 0,10		4,07*	-			
Valores de F							
Variáveis	P	U	E	UxE	UxP	ExP	UxExP
RBS	337,19**	54,22**	9,39**	112,08**	61,63**	20,94**	111,15**
Umidade	28,67**	38,55**	352,55**	12,43**	12,51**	19,06**	4,66*

Nota: F (U): valor de F para desdobramento de usos dentro de época e profundidade; F (E): valor de F para o desdobramento de épocas dentro de usos e profundidades; F (P): valor de F para o desdobramento de profundidade dentro de usos e época; CS: cafeeiro sombreado; CPS: cafeeiro a pleno sol; UxE: valor de F para interação entre uso e época; UxP: valor de F para interação entre uso e profundidade do solo; ExP: valor de F para interação entre época e profundidade do solo; UxExP: valor de F para interação entre uso, época e profundidade; ** significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade; ^{ns}: não significativo.

Fonte: A própria autora.

Tabela 5 - Desdobramento para respiração basal do solo (RBS) e umidade do solo sob cafeeiro sombreado (CS) e a pleno sol (CPS) em duas épocas de amostragem do solo (seca e chuvosa), nas duas profundidades analisadas

Variáveis	Uso do solo	Épocas	Profundidades		CV (%)	F
			0 – 0,05 m	0,05 – 0,10 m		
RBS (mg CO ₂ kg ⁻¹ solo)	CS	Seca	18,2 Aa ^a	7,1 Bb ^a	15,1	111,1**
	CS	Chuvosa	12,4 Ba ^B	9,0 Ab ^A		
	CPS	Seca	16,7 Ba ^b	6,9 Bb ^a		
	CPS	Chuvosa	21,7 Aa ^A	8,9 Ab ^A		
Umidade do solo (%)	CS	Seca	24,8 Ba ^a	22,2 Bb ^a	9,6	4,6*
	CS	Chuvosa	34,6 Aa ^A	27,5 Ab ^A		
	CPS	Seca	23,5 Ba ^b	21,7 Ba ^a		
	CPS	Chuvosa	29,4 Aa ^B	26,2 Ab ^B		

Nota: Para uma mesma variável, médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna dentro de cada uso do solo (primeira e segunda linhas e terceira e quarta linhas), minúscula na linha, minúscula sobrescrito na coluna para primeira e terceira médias e maiúscula sobrescrito na coluna para segunda e quarta médias, não diferem ($P < 0,05$) entre si pelo teste F a 5 % de probabilidade. CV: coeficiente de variação; F: Valores de F calculados; * significativo a 5%; ** significativo a 1%.

Fonte: A própria autora.

Na época seca, o sombreamento no CS proporcionou a manutenção da umidade do solo e redução da temperatura os quais devem ter contribuído para melhor atividade microbiana neste sistema de cultivo de cafeeiro (SILVA *et al.*, 2012; GUIMARÃES *et al.*, 2017; PEZARICO *et al.*, 2013; SANTOS, 2016; SILVA *et al.*, 2016). Além disso, o solo sob CPS encontrava-se, no momento da coleta, com poucos resíduos provenientes da poda e da desbrota do ano anterior enquanto que a espécie arbórea (teca) utilizada para o sombreamento do CS já encontrava-se no início da senescência das folhas, podendo ter influência na disponibilidade de resíduos de fácil decomposição pelos microrganismos no CS, pois a decomposição da serapilheira, especialmente folhas, é mais intensa nos primeiros dias de exposição do material (GOYA *et al.*, 2008).

Fatores como disponibilidade de água e temperatura são os principais controladores do efluxo de CO₂ do solo. Na Amazônia, devido à pouca variação da temperatura ao longo do ano, o maior controlador desse efluxo sazonal de CO₂ é a disponibilidade de água no solo (SILVA *et al.*, 2016).

Em estudo realizado por Silva *et al.* (2012), tanto na estação seca como na chuvosa, as áreas de SAF apresentam maior atividade microbiana quando

comparado ao solo com agricultura anual, devido à qualidade da matéria orgânica e a fatores microclimáticos que tendem a aumentar a umidade, reduzir a amplitude térmica no solo, proporcionando, assim, temperaturas mais estáveis. Os sistemas com maior deposição de resíduos sobre o solo criam condições favoráveis à melhoria da qualidade do solo (PEZARICO *et al.*, 2013), no caso em estudo a associação do cafeeiro com a teca sinalizam positivamente quanto aos incrementos na atividade microbiana no período seco.

A maior RBS no período seco quando comparado ao período chuvoso no cafeeiro sombreado também pode ser atribuído à menor disponibilidade de resíduos na época chuvosa, visto que os resíduos se constituem de folhas e estruturas florais que são rapidamente decompostas logo após a queda (GOYA *et al.*, 2008) e no início do período chuvoso, o que pode explicar a redução na RBS observada para o período chuvoso.

A umidade elevada do solo também pode ter contribuído para a menor RBS no cafeeiro sombreado devido ao à grande intensidade de chuvas no mês de janeiro e a baixa evaporação da água do solo em função do sombreamento. No CS a umidade do solo nos 5 cm superficiais foi 5,2% superior ao CPS. A umidade favorece a atividade dos microrganismos do solo, no entanto, o excesso de umidade dificulta a movimentação e troca de CO₂ e O₂ nos poros provocando uma queda no efluxo desses gases (EDWARDS, 1975) em função da competição entre água e gases pelo espaço poroso do solo e quando esses poros encontram-se preenchidos por água, ocorre uma redução na disponibilidade de gases para os microrganismos, reduzindo, conseqüentemente, a RBS (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). No CS, na profundidade de 0 - 0,05 m, na coleta conduzida na estação chuvosa a umidade média foi 34,6% (Tabela 5), justificando a menor RBS.

O CPS teve maior RBS na época chuvosa na profundidade de 0,05 – 0,10 m quando comparado à época seca. Tanto o CS quanto o CPS apresentaram maior RBS em época chuvosa na profundidade de 0,05 – 0,10 m (tabela 5).

No CS há uma grande deposição de resíduos no outono, no entanto, a decomposição da serapilheira é mais intensa nos primeiros dias de deposição do material, pois são degradados os elementos menos complexos (GOYA *et al.*, 2008), sendo que na época chuvosa em que ocorreu a amostragem do solo (janeiro de 2019) parte desse material de mais fácil decomposição já havia sido degradado.

No CPS foi realizada uma poda após a colheita (junho de 2018) com deposição de grande quantidade de resíduos, com 4.871 kg ha⁻¹ e uma desbrota em dezembro de 2018, com 1.742 kg ha⁻¹ (figura 13), proporcionando grande disponibilidade de material orgânico para consumo dos microrganismos do solo com este estudo. No entanto, na profundidade de 0,05 – 0,10 m este efeito não é observado, visto que a disponibilidade de material orgânico em maior profundidade é mais homogênea e a maior RBS no período chuvoso nos dois usos do solo pode ser atribuído às condições de umidade do solo que proporciona melhor atividade microbiana.

O CS e o CPS, tanto na época seca quanto chuvosa apresentaram menor RBS na profundidade de 0,05 – 0,10 m quanto comparado à menor profundidade (tabela 5). Estes resultados mostram que a partir de 0,05 m a RBS diminui acentuadamente, confirmando a dependência da atividade microbiana pela presença da MO do solo (PINTO NETO *et al.*, 2014). Segundo Menezes *et al.* (2010) a aeração, o pH mais elevado e a maior disponibilidade de nutrientes minerais que reduzem em menor profundidade do solo também podem contribuir.

4.4 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

Dentre os atributos químicos do solo verificou-se interação entre usos do solo, épocas de amostragem e profundidade do solo para matéria orgânica, cálcio, magnésio, soma de bases e CTC (tabelas 6 e 7). Observou-se interação entre usos do solo e profundidades de amostragem do solo para pH, acidez potencial (H+Al) e saturação de bases (tabelas 9 e 10). Para os teores de potássio e nitrogênio não foi constatada interação entre os fatores analisados, (tabela 8) e para as variáveis teor de fósforo, acidez potencial e alumínio, verificou-se interação entre uso do solo e épocas de amostragem (tabelas 11 e 12).

Tabela 6- Valores de F para interação entre uso do solo, época e profundidade de amostragem para os teores de MO, Ca²⁺ e Mg²⁺, SB e CTC (continua)

Variáveis	Uso do solo	Épocas	Profundidades		Valor F (P)	
			0 – 0,05 m	0,05 – 0,10 m		
Valores F (E)						
MO	CS	Seca			65,72**	
	CS	Chuvosa	7,29**	8,12**	140,87**	
	CPS	Seca			59,36**	
	CPS	Chuvosa	56,85**	13,55**	25,90**	
	Valores F (U)					
		Seca / 0 – 0,05 m		0,11 ^{ns}		-
		Seca / 0,05 – 0,10 m		0,07 ^{ns}		-
		Chuvosa / 0 – 0,05 m		111,68**		-
	Chuvosa / 0,05 – 0,10		0,32 ^{ns}		-	
Valores F (E)						
Ca ²⁺	CS	Seca			73,99**	
	CS	Chuvosa	13,11**	20,19**	83,79**	
	CPS	Seca			24,77**	
	CPS	Chuvosa	65,13**	18,78**	6,82*	
	Valores F (U)					
		Seca / 0 – 0,05 m		38,37**		-
		Seca / 0,05 – 0,10 m		0,21 ^{ns}		-
		Chuvosa / 0 – 0,05 m		113,30**		-
	Chuvosa / 0,05 – 0,10		0,09 ^{ns}		-	
Valores F (E)						
Mg ²⁺	CS	Seca			31,24**	
	CS	Chuvosa	1,07 ^{ns}	6,90**	46,39**	
	CPS	Seca			47,68**	
	CPS	Chuvosa	58,32**	19,35**	19,49**	
	Valores F (U)					
		Seca / 0 – 0,05 m		21,56**		-
		Seca / 0,05 – 0,10 m		8,60**		-
		Chuvosa / 0 – 0,05 m		3,82 ^{ns}		-
	Chuvosa / 0,05 – 0,10		1,34 ^{ns}		-	

Fonte: A própria autora.

Tabela 6- Valores de F para interação entre uso do solo, época e profundidade de amostragem para os teores de MO, Ca²⁺ e Mg²⁺, SB e CTC (conclusão)

Variáveis	Uso do solo	Épocas	Profundidades		Valor F (P)		
			0 – 0,05 m	0,05 – 0,10 m			
Valores F (E)							
SB	CS	Seca	10,11**	17,69**	67,45**		
	CS	Chuvosa			79,11**		
	CPS	Seca	65,46**	19,49**	28,99**		
	CPS	Chuvosa			8,66*		
	Valores F (U)						
		Seca / 0 – 0,05 m		17,38**	-		
		Seca / 0,05 – 0,10 m		0,01 ^{ns}	-		
		Chuvosa / 0 – 0,05 m		82,45**	-		
	Chuvosa / 0,05 – 0,10		0,01 ^{ns}	-			
Valores F (E)							
CTC	CS	Seca	25,81**	47,88**	67,39**		
	CS	Chuvosa			90,25**		
	CPS	Seca	141,65**	61,62**	43,75**		
	CPS	Chuvosa			14,22**		
	Valores F (U)						
		Seca / 0 – 0,05 m		0,12 ^{ns}	-		
		Seca / 0,05 – 0,10 m		6,92**	-		
		Chuvosa / 0 – 0,05 m		41,75**	-		
	Chuvosa / 0,05 – 0,10		2,89 ^{ns}	-			
Valores de F							
Variáveis	P	U	E	UxE	UxP	ExP	UxExP
MO	102,38**	31,31**	32,31**	30,65**	28,08**	0,71 ^{ns}	22,14**
Ca ²⁺	57,38**	77,52**	105,25**	4,6*	64,55**	2,05 ^{ns}	5,32*
Mg ²⁺	63,17**	11,49**	61,63**	17,51**	0,49 ^{ns}	0,68 ^{ns}	5,82*
SB	60,41**	44,07**	98,92**	6,55*	43,70**	1,75 ^{ns}	5,53*
CTC	78,23**	0,78 ^{ns}	252,04**	15,02**	27,22**	1,22 ^{ns}	8,67**

Nota: F (U): valor de F para desdobramento de usos dentro de época e profundidade; F (E): valor de F para o desdobramento de épocas dentro de usos e profundidades; F (P): valor de F para o desdobramento de profundidade dentro de uso e época; CS: cafeeiro sombreado; CPS: cafeeiro a pleno sol; UxE: valor de F para interação entre uso e época; UxP: valor de F para interação entre uso e profundidade do solo; ExP: valor de F para interação entre época e profundidade do solo; UxExP: valor de F para interação entre uso, época e profundidade; ** significativo a 1% de probabilidade; ^{ns}: não significativo.

Fonte: A própria autora.

Tabela 7 - Desdobramento para matéria orgânica (MO) do solo, cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), soma de bases (SB) e capacidade de troca de cátions (CTC) sob cafeeiro sombreado (CS) e a pleno sol (CPS) em duas épocas de amostragem do solo e duas profundidades analisadas

Variáveis	Uso do solo	Épocas	Profundidades		CV (%)	F
			0 – 0,05	0,05 – 0,10 m		
MO (g dm ⁻³)	CS	1 ^o amostragem	41,9 Ba ^a	27,5 Ab ^a	13,6	22,1**
	CS	2 ^o amostragem	45,1 Aa ^A	24,1 Bb ^A		
	CPS	1 ^o amostragem	41,5 Aa ^a	27,8 Ab ^a		
	CPS	2 ^o amostragem	32,4 Ba ^B	23,4 Bb ^A		
Ca^{2+} (cmol _c dm ⁻³)	CS	1 ^o amostragem	7,2 Aa ^a	3,8 Ab ^a	20,6	5,3*
	CS	2 ^o amostragem	6,3 Ba ^A	2,7 Bb ^A		
	CPS	1 ^o amostragem	5,6 Aa ^b	3,7 Ab ^a		
	CPS	2 ^o amostragem	3,7 Ba ^B	2,6 Bb ^A		
Mg^{2+} (cmol _c dm ⁻³)	CS	1 ^o amostragem	1,3 Aa ^b	0,8 Ab ^b	20,6	5,8*
	CS	2 ^o amostragem	1,2 Aa ^A	0,7 Bb ^A		
	CPS	1 ^o amostragem	1,5 Aa ^a	1,0 Ab ^a		
	CPS	2 ^o amostragem	1,1 Ba ^A	0,8 Bb ^A		
SB (cmol _c dm ⁻³)	CS	1 ^o amostragem	8,7 Aa ^a	4,9 Ab ^a	19,9	5,5*
	CS	2 ^o amostragem	7,7 Ba ^A	3,6 Bb ^A		
	CPS	1 ^o amostragem	7,4 Aa ^b	4,9 Ab ^a		
	CPS	2 ^o amostragem	4,9 Ba ^B	3,6 Bb ^A		
CTC (cmol _c dm ⁻³)	CS	1 ^o amostragem	11,2 Aa ^a	7,9 Ab ^b	12,2	8,6**
	CS	2 ^o amostragem	9,8 Ba ^A	5,9 Bb ^A		
	CPS	1 ^o amostragem	11,3 Aa ^a	8,6 Ab ^a		
	CPS	2 ^o amostragem	7,9 Ba ^B	6,4 Bb ^A		

Nota: Para uma mesma variável, médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna dentro de cada uso do solo (primeira e segunda linhas e terceira e quarta linhas), minúscula na linha, minúscula sobrescrito na coluna para primeira e terceira médias e maiúscula sobrescrito na coluna para segunda e quarta médias, não diferem ($P < 0,05$) entre si pelo teste F. 1^o amostragem: abril/2018; 2^o amostragem: abril/2019. CV: coeficiente de variação; F: valores de F calculado; ** significativo a 1%; * significativo a 5%.

Fonte: A própria autora.

O CS, na profundidade de 0 - 0,05 m, propiciou maior teor de matéria orgânica (MO) (tabela 7) na segunda amostragem de solo, sendo superior quando comparado ao CPS para a mesma época e profundidade. Conforme observado na figura 1, na primeira amostragem de solo (abril de 2018) o acumulado mensal de chuvas para o mês foi bem menor (111 mm) que o acumulado para o mesmo mês

do ano seguinte (300 mm), quando foi realizada a segunda amostragem de solo. A maior umidade no solo (possivelmente em excesso), encontrada no CS (tabela 5), proporcionou menor atividade microbiana no cafeeiro sombreado, conforme pode ser observado na tabela 5, portanto a matéria orgânica é mineralizada mais efetivamente em período menos chuvoso.

No CPS encontrou-se maior conteúdo de MO na primeira amostragem de solo para a profundidade de 0 - 0,05 m (tabela 7). Neste uso do solo, há maior atividade microbiana em meses mais chuvosos (tabela 5) em função da associação de umidade do solo, calor e disponibilidade de alimentos (material residual de poda) (GUIMARÃES *et al.*, 2017). Esses fatores podem ter influenciado em maior mineralização do material orgânico de menor relação C:N (folhas) na segunda época, permanecendo apenas os resíduos de poda com maior relação C:N (ACOSTA *et al.*, 2014) presente, no caso nos ramos do CPS, que possivelmente foram transformados em MO posteriormente, reduzindo, conseqüentemente os estoques de MO no solo.

Na camada de 0,05 a 0,10 m nos dois usos do solo foi encontrado maior quantidade de MO na primeira amostragem de solo (tabela 7), evidenciando que o conteúdo de MO nesta profundidade teve maior mineralização do que incremento.

Além dos aspectos já observados, pode-se destacar que, em geral, os sistemas em monocultura, como o CPS são mais susceptíveis à um declínio na manutenção da matéria orgânica (ILANY *et al.*, 2010). Como pode-se observar o sistema de monocultivo em estudo (CPS) tem grande entrada de resíduos vegetais anualmente (figura 13) em função das práticas de poda e desbrota, embora a queda natural de folhas seja menor neste usos do solo, o que influencia para que os teores de MO sejam semelhantes nos dois usos do solo. Isso evidencia o efeito positivo dos sistemas agroflorestais ao longo do tempo (ILANY *et al.*, 2010), pois naturalmente, realiza a ciclagem de nutrientes e manutenção dos teores de MO no solo.

Vale chamar atenção à redução nos teores de MO observados entre a camada mais superficial (0 – 0,05 m) e a camada seguinte (0,05 – 0,10 m) (tabela 7), em ambos os usos de solos e épocas de amostragem, mostrando que a serapilheira tem uma grande influência nos primeiros centímetros do solo.

O cálcio (Ca) tem a maior contribuição na soma das bases (SB) por esse motivo, ambos apresentaram o mesmo comportamento na comparação dos

resultados (tabela 7). O teor de cálcio e a SB (tabela 7) foram maiores no CS na profundidade de 0,0 a 0,05 m, nas duas épocas de amostragem de solo, não diferindo do CPS na maior profundidade analisada.

O teor de magnésio (tabela 7), diferente das outras bases, apresentou maior teor no CPS quando comparado ao CS na primeira amostragem de solo nas duas profundidades analisadas. No CPS, quando ocorre a poda e a desbrota, são eliminados tecidos jovens da planta, os quais possuem maior concentração de magnésio (TAIZ *et al.*, 2017), fator que contribuiu para maior ciclagem do nutriente neste uso do solo.

Houve redução de magnésio em ambos usos do solo na segunda profundidade da primeira para a segunda amostragem em função da exportação, absorção pelas árvores de teca no CS e possivelmente, parte do nutriente foi lixiviado para profundidades maiores (ANDREGUETTO *et al.*, 2014). No entanto, apresenta teores variando de médio a satisfatório para o desenvolvimento da maioria das culturas, tanto no CS como no CPS (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ, 1999).

O CS apresentou maior teor de potássio (tabela 8) quando comparado ao CPS, assim como a primeira amostragem de solo também foi superior em comparação com a segunda época de amostragem.

A maior presença de potássio, maior teor de Ca e maior SB no CS e em menor profundidade pode ser atribuído à presença de serapilheira e à ciclagem de nutrientes (LIMA *et al.*, 2015), que pode ser mais ou menos eficiente a depender da qualidade da serapilheira, do tempo transcorrido, do sistema de cultivo estabelecido, de fatores bióticos e abióticos (ACOSTA *et al.*, 2014).

Tabela 8 - Médias para potássio (K) e nitrogênio total (NT) no solo sob cafeeiro sombreado (CS) e cafeeiro a pleno sol (CPS) em duas épocas e duas profundidades do solo

Fatores		K (Cmol _c dm ⁻³)	NT (g dm ⁻³)				
Usos do solo	CS	0,22 a	2,08 a				
	CPS	0,19 b	1,95 b				
Valores de F		17,3**	4,55**				
Épocas	1º amostragem	0,22 a	2,12 a				
	2º amostragem	0,19 b	1,91 b				
Valores de F		14,9**	12,1**				
Profundidades	0 - 0,05 m	0,21 a	2,36 a				
	0,05 - 0,10 m	0,19 a	1,67 b				
Valores de F		0,98 ^{ns}	49,3**				
CV (%)		26,8	22,8				
Variáveis	Valor de F						
	P	U	E	UxE	UxP	ExP	UxExP
K	0,98 ^{ns}	17,30**	14,96**	0,66 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,74 ^{ns}
NT	49,33**	4,55*	12,11**	1,77 ^{ns}	0,66 ^{ns}	0,01 ^{ns}	1,42 ^{ns}

Nota: Para um mesmo fator, médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna não diferem ($P < 0,05$) entre si pelo teste F. 1º amostragem: abril/2018; 2º amostragem: abril/2019. CV: coeficiente de variação; F: valores de F calculado; UxE: valor de F para interação entre uso e época; UxP: valor de F para interação entre uso e profundidade do solo; ExP: valor de F para interação entre época e profundidade do solo; UxExP: valor de F para interação entre uso, época e profundidade; ** significativo a 1%; *: significativo a 5%; ^{ns}: não significativo.

Fonte: A própria autora.

Analisando as bases de uma forma geral, pode-se observar que houve redução, da primeira para a segunda época de amostragem, de todas as bases. No período de um ano foi realizada a adubação potássica apenas no CPS, no entanto, abaixo da dosagem recomendada, não houve reposição externa de Ca e Mg por meio de calagem e os nutrientes foram parcialmente exportados por meio dos grãos (PARTELLI *et al.*, 2014) no CPS. No entanto, no CS esse fator pode ser atribuído especialmente pela absorção da espécie arbórea (teca) uma vez que a exigência nutricional da espécie é composta por elevadas quantidades de bases (FAVARE; GUERRINI; BACKES, 2012), especialmente o cálcio (OLIVEIRA *et al.*, 2018), além disso, pode ter ocorrido a lixiviação das bases como é comum ocorrer em regiões com alta pluviosidade (ANDREGUETTO *et al.*, 2014; DUARTE; PEREIRA; KORNDÖRFER, 2013).

A CTC (tabela 7) foi maior na 1^o amostragem de solo quando comparado com a 2^o em todos os usos e profundidades do solo, esse resultado foi influenciado pela redução da soma de bases (tabela 7) no intervalo entre as amostragens de solo, já que as bases trocáveis tem grande contribuição na composição da CTC.

Em todos os usos do solo e épocas de amostragem a CTC apresentou-se maior em menor profundidade, também influenciado pela maior presença de bases na superfície do solo em decorrência da ciclagem de nutrientes (MACHADO *et al.*, 2015; KLIPPEL *et al.*, 2016).

Na profundidade de 0 - 0,05 m o CS teve maior CTC na 2^o amostragem de solo (tabela 7), no entanto, na profundidade de 0,05 - 0,10 m na primeira amostragem a CTC mostrou-se maior no CPS. Tal resultado está relacionado com a maior presença de H+Al (tabela 10) no CPS nesta mesma profundidade do solo.

Na avaliação do nitrogênio total (NT) do solo não houve interação entre os fatores ($P > 0,05$), no entanto, analisando as médias isoladas (tabela 8) verificou-se maior teor de NT no CS quando comparado ao CPS, possivelmente pela qualidade da serapilheira sobre o solo.

Ocorreu maior teor de NT na primeira época de amostragem em comparação com a segunda, bem como maior concentração na profundidade de 0 - 0,05 m. A 2^o época de amostragem de solo coincidiu com período mais chuvoso em comparação com a 1^o amostragem (figura 1), esse é um fator que interfere na disponibilidade do nitrogênio, tendo em vista que o nitrato (NO_3^-), forma inorgânica mais abundante do nitrogênio em solos aerados e cultivados, é facilmente lixiviado com a água da chuva (VIEIRA, 2017).

Além disso, é comum encontrar maior concentração de NT em superfície em decorrência da maior presença de MO em menor profundidade do solo (MACHADO *et al.*, 2015; VIEIRA, 2017).

Neves *et al.* (2007) encontraram redução da saturação por alumínio e a manutenção do pH em áreas de consórcio com cafeeiro, mas defende que deve haver entrada externa de nutrientes em consórcios para evitar o empobrecimento do solo. Ilany *et al.* (2010) encontraram, ao longo do tempo, maior suscetibilidade de declínio da fertilidade do solo em monocultivos do que em sistemas agroflorestais.

Tabela 9 – Valores de F para interação entre os fatores usos do solo e profundidade de amostragem das variáveis potencial hidrogeniônico (pH), acidez potencial (H+Al) e saturação por bases (V%)

Variáveis	Uso do solo	Profundidades		F(P)			
		0 – 0,05 m	0,05 – 0,10 m				
F(U)							
pH	CS	69,44**	15,11**	30,99**			
	CPS			1,25 ^{ns}			
F(U)							
H+Al	CS	156,61**	42,14**	11,08**			
	CPS			2,33 ^{ns}			
F(U)							
V%	CS	139,79**	13,91**	53,20**			
	CPS			9,39*			
Variáveis	Valor de F						
	P	U	E	UxE	UxP	ExP	UxExP
pH	22,63**	74,66**	62,34**	0,04 ^{ns}	9,88**	0,09 ^{ns}	0,01 ^{ns}
H+Al	1,20 ^{ns}	180,61**	112,36**	6,69*	18,13**	0,83 ^{ns}	1,21 ^{ns}
V%	31,07**	120,94**	0,08 ^{ns}	1,78 ^{ns}	32,75**	0,03 ^{ns}	1,35 ^{ns}

Nota: F (U): valor de F para desdobramento de usos dentro de época e profundidade; F (P): valor de F para o desdobramento de profundidade dentro de uso e época; CS: cafeeiro sombreado; CPS: cafeeiro a pleno sol; ; UxE: valor de F para interação entre uso e época; UxP: valor de F para interação entre uso e profundidade do solo; ExP: valor de F para interação entre época e profundidade do solo; UxExP: valor de F para interação entre uso, época e profundidade; ** significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade; ^{ns}: não significativo.

Fonte: A própria autora.

A acidez potencial (H+Al) (tabela 10), bem como a fração Al³⁺, (tabela 12) mostraram-se superiores no CPS. O Al³⁺ e a acidez potencial (tabela 12) também reduziram da 1^o para a 2^o amostragem de solo. Esses resultados são em consequência de menor pH do solo no CPS (tabela 10), e em função de um pequeno aumento do pH da 1^o para a 2^o época de amostragem do solo. Apesar da análise não ter conseguido detectar essa diferença (P>0,05), ocorreu uma pequena variação que foi suficiente para promover a redução do alumínio.

Além disso, no CS o H+Al foi maior na camada de 0,05 - 0,10 m, também em função do menor pH nesta profundidade. Esse resultado também pode ser em consequência da maior saturação por bases no CS e também em menor profundidade do solo (tabela 10).

Tabela 10 - Valores médios para potencial hidrogeniônico (pH), acidez potencial (H+Al) e saturação por bases (V) do solo sob cafeeiro sombreado (CS) e cafeeiro a pleno sol (CPS) em duas profundidades analisadas

Variáveis	Uso do solo	Profundidades		CV (%)	F
		0 – 0,05 m	0,05 – 0,10 m		
pH (CaCl ₂)	CS	5,6 a A	5,3 a B	6,3	7,23**
	CPS	5,1 b A	5,1 b A		
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	CS	2,3 b B	2,7 b A	17,2	18,13**
	CPS	3,5 a A	3,3 a A		
V (%)	CS	77,9 a A	60,7 a B	10,1	32,7**
	CPS	63,4 b A	56,1 b B		

Nota: Para uma mesma variável, médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem ($P < 0,05$) entre si pelo teste F. CV: coeficiente de variação; F: valores de F calculado; ** significativo a 1%.

Fonte: A própria autora.

Em condições de baixo pH do solo pode ocorrer toxidez por alumínio e manganês nas plantas. Além disso, o controle da acidez do solo é importante, pois isso influencia na CTC, na disponibilidade de nutrientes, bem como, afeta a atividade biológica do solo (BALOTA, 2017). Iwata *et al.* (2012) encontraram em sistemas agroflorestais, aumento do pH e redução da saturação por alumínio quando os compararam com cultivos de cafeeiro a pleno sol e atribuíram tal resultados à matéria orgânica do solo que tem a função de complexar os cátions H⁺ e Al³⁺ livres e também de adicionar bases trocáveis ao solo.

Nas avaliações para o teor de fósforo (tabela 12), este foi superior no CPS, e neste sistema de cultivo, por sua vez, teve redução dos teores de P no solo na segunda época de amostragem que foi realizada após a colheita do café. O CPS recebe adubação fosfatada anualmente em superfície o que favorece aumentos do nutriente, uma vez que este é um elemento pouco móvel no solo (IWATA *et al.*, 2012).

Haggar *et al.* (2011), também encontraram teores de fósforo significativamente maiores sob cafeeiro cultivado a pleno sol, comparativamente a cafeeiro em sistemas sombreados devido a entrada de insumos externos. Silva *et al.* (2011) constataram maior presença de fósforo em solo cultivado com mamoeiro em sistema convencional quando compararam com seis sistemas agroflorestais e solo sob vegetação nativa, corroborando o observado nos dados deste trabalho.

Tabela 11 – Valores de F para interação entre os fatores usos do solo e profundidade de amostragem do teor de fósforo (resina e Mehlich), Al³⁺ e H+Al

Variáveis	Uso do solo	Épocas		F(E)			
		1 ^o amostragem	2 ^o amostragem				
F(U)							
P (Resina)	CS	61,97**	12,28**	0,01 ^{ns}			
	CPS			18,03**			
F(U)							
P (Mehl)	CS	130,65**	42,29**	1,75 ^{ns}			
	CPS			12,98**			
F(U)							
Al ³⁺	CS	34,98**	4,46*	14,46**			
	CPS			57,83**			
F(U)							
H+Al	CS	128,42**	58,89**	32,10**			
	CPS			86,95**			
Variáveis	Valor de F						
	P	U	E	UxE	UxP	ExP	UxExP
P (Res)	1,04 ^{ns}	64,71**	8,50**	9,54**	0,64 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,10 ^{ns}
P (Mehl)	0,75 ^{ns}	160,81**	2,59 ^{ns}	12,13**	0,91 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,03 ^{ns}
Al ³⁺	3,45 ^{ns}	32,21**	65,06**	7,23**	1,67 ^{ns}	2,23 ^{ns}	3,58 ^{ns}
H+Al	1,20 ^{ns}	180,61**	112,36**	6,69*	18,13**	0,83 ^{ns}	1,21 ^{ns}

Nota: F (U): valor de F para desdobramento de usos dentro de época e profundidade; F (E): valor de F para o desdobramento de épocas dentro de usos e profundidade; UxE: valor de F para interação entre uso e época; UxP: valor de F para interação entre uso e profundidade do solo; ExP: valor de F para interação entre época e profundidade do solo; UxExP: valor de F para interação entre uso, época e profundidade; CS: cafeeiro sombreado; CPS: cafeeiro a pleno sol; ** significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade; ^{ns}: não significativo.

Fonte: A própria autora.

Tabela 12 - Valores médios de alumínio (Al^{3+}) sob cafeeiro sombreado (CS) e cafeeiro a pleno sol (CPS) em duas épocas de amostragem do solo

Variáveis	Uso do solo	Épocas		CV (%)	F
		1º amostragem	2º amostragem		
P(Resina) (mg dm ⁻³)	CS	8,1 b A	8,2 b A	62,9	9,54**
	CPS	19,6 a A	13,4 a B		
P(Mehl) (mg dm ⁻³)	CS	2,3 b A	4,0 b A	77,2	12,13**
	CPS	17,4 a A	12,6 a B		
Al^{3+} (cmol _c dm ⁻³)	CS	0,06 b A	0,01 b B	105	7,23**
	CPS	0,14 a A	0,04 a B		
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	CS	2,73 b A	2,20 b B	17,2	6,69*
	CPS	3,81 a A	2,93 a B		

Nota: Para uma mesma variável, médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem ($P < 0,05$) entre si pelo teste F. 1º amostragem: abril/2018; 2º amostragem: abril/2019. CV: coeficiente de variação; F: valores de F calculado; ** significativo a 1%; *.

Fonte: A própria autora.

4.5 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

Dos atributos físicos do solo analisados, densidade do solo, porosidade total e microporosidade apresentaram interação significativa ($P < 0,05$) entre usos do solo e profundidade de amostragem (tabela 13). Macroporosidade apresentou interação entre usos do solo, épocas e profundidade de amostragem do solo (tabela 15), e resistência à penetração foi influenciada significativamente apenas para usos do solo (tabela 17).

Nas duas profundidades de amostragem do solo o CS apresentou menor densidade do solo quando comparado ao CPS e, conseqüentemente, maior porosidade total (tabela 14) e macroporosidade (tabela 16), bem como, menor resistência à penetração (tabela 17). Este sistema de uso do solo, apresentou maior teor de MO em relação ao CPS na segunda época de amostragem do solo (tabela 7), que é um dos fatores que interferem na qualidade física do solo e indica que o CS é um ambiente mais estável que o CPS, possivelmente pelo tipo de desenvolvimento radicular (SOUZA; DAN; ARAÚJO, 2016), maior presença de macrofauna do solo em função do microclima (OLIVEIRA *et al.*, 2016) e pela qualidade da matéria orgânica (SILVA *et al.*, 2012) presente no CS.

Nos dois sistemas de usos do solo a porosidade total se encontra dentro da faixa esperada (0,30 e 0,70 m³ m⁻³) e caracteriza boas condições de uso e manejo (FERREIRA, 2010).

A quantidade de microporos (tabela 14) foi maior no CS, bem como a quantidade de macroporos (tabela 16) que foi maior no CS nas duas profundidades e épocas de amostragem, no entanto, ocorreu uma redução de macroporos no CPS da 1^o para a 2^o amostragem de solo, embora com diferença estatística, na prática esta é de apenas 1%, não merecendo destaque, por não ser limitante ao desenvolvimento das plantas.

Tabela 13 – Valores de F para interação entre os fatores usos do solo e profundidade de amostragem das variáveis densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt) e microporosidade (MiP)

Variáveis	Uso do solo	Profundidades		F(P)			
		0 – 0,05 m	0,05 – 0,10 m				
Valores F(U)							
Ds	CS	67,33**	14,68**	18,87**			
	CPS			2,74 ^{ns}			
Valores F(U)							
Pt	CS	182,90**	81,58**	43,82**			
	CPS			16,90**			
Valores F(U)							
MiP	CS	49,87**	15,95**	8,24*			
	CPS			1,26 ^{ns}			
Valores de F							
Variáveis	P	U	E	UxE	UxP	ExP	UxExP
DS	11,09*	72,45**	0,33 ^{ns}	0,08 ^{ns}	9,56**	2,25 ^{ns}	3,55 ^{ns}
Pt	34,11**	254,39**	1,48 ^{ns}	2,63 ^{ns}	10,09**	0,22 ^{ns}	0,77 ^{ns}
MiP	4,76 ^{ns}	61,12**	0,00 ^{ns}	3,10 ^{ns}	4,71*	0,73 ^{ns}	0,00 ^{ns}

Nota: F (U): valor de F para desdobramento de usos dentro de época e profundidade; F (P): valor de F para o desdobramento de profundidade dentro de uso e época; UxE: valor de F para interação entre uso e época; UxP: valor de F para interação entre uso e profundidade do solo; ExP: valor de F para interação entre época e profundidade do solo; UxExP: valor de F para interação entre uso, época e profundidade; CS: cafeeiro sombreado; CPS: cafeeiro a pleno sol; ** significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade; ^{ns}: não significativo.

Fonte: A própria autora.

Tabela 14 - Valores médios de densidade do solo (DS), porosidade total (Pt) e microporosidade (MiP) sob cafeeiro sombreado (CS) e cafeeiro a pleno sol (CPS) em duas profundidades analisadas

Variáveis	Uso do solo	Profundidades		CV (%)	F
		0 – 0,05 m	0,05 – 0,10 m		
DS (g cm ⁻³)	CS	1,28 b B	1,37 b A	5	8,76**
	CPS	1,39 a B	1,42 a A		
Pt (cm ³ cm ⁻³)	CS	0,46 a A	0,41 a B	4,8	10,09**
	CPS	0,41 b A	0,38 b B		
MiP (cm ³ cm ⁻³)	CS	0,31 a A	0,30 a B	5,4	4,71*
	CPS	0,29 b A	0,28 b A		

Nota: Para uma mesma variável, médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem ($P < 0,05$) entre si pelo teste F. CV: coeficiente de variação; F: valores de F calculado; ** significativo a 1%.

Fonte: A própria autora.

Tabela 15 - Valor de F para interação entre uso do solo, época e profundidade de amostragem para a variável macroporosidade

Variáveis	Uso do solo	Épocas	Profundidades		Valor F (P)		
			0 – 0,05 m	0,05 – 0,10 m			
Valor F (E)							
	CS	Seca	0,00 ^{ns}	0,19 ^{ns}	38,22**		
	CS	Chuvosa			54,30**		
	CPS	Seca	5,97*	0,03 ^{ns}	38,23**		
	CPS	Chuvosa			14,53**		
Valor F (U)							
MaP	Seca / 0 – 0,05 m		42,03**		-		
	Seca / 0,05 – 0,10 m		42,03**		-		
	Chuvosa / 0 – 0,05 m		79,66**		-		
	Chuvosa / 0,05 – 0,10 m		24,79**		-		
F	P	U	E	UxE	UxP	ExP	UxExP
	88,76**	180,51**	3,18 ^{ns}	0,22 ^{ns}	3,89*	0,43 ^{ns}	3,89*

Nota: F (U): valor de F para desdobramento de usos dentro de época e profundidade; F (E): valor de F para o desdobramento de épocas dentro de usos e profundidades; F (P): valor de F para o desdobramento de profundidade dentro de usos e época; UxE: valor de F para interação entre uso e época; UxP: valor de F para interação entre uso e profundidade do solo; ExP: valor de F para interação entre época e profundidade do solo; UxExP: valor de F para interação entre uso, época e profundidade; CS: cafeeiro sombreado; CPS: cafeeiro a pleno sol; ** significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade; ^{ns}: não significativo.

Fonte: A própria autora.

Tabela 16 - Valores médios para macroporosidade (MaP) do solo sob cafeeiro sombreado (CS) e a pleno sol (CPS) em duas épocas de amostragem do solo e duas profundidades analisadas

Variáveis	Uso do solo	Épocas	Profundidades		CV (%)	F
			0 – 0,05	0,05 – 0,10 m		
MaP (cm ³ cm ⁻³)	CS	1º amostragem	0,14 Aa ^a	0,11 Ab ^a	12,4	3,89*
	CS	2º amostragem	0,14 Aa ^A	0,11 Ab ^A		
	CPS	1º amostragem	0,12 Aa ^b	0,09 Ab ^b		
	CPS	2º amostragem	0,11 Ba ^B	0,09 Ab ^B		

Nota: Para uma mesma variável, médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna dentro de cada uso do solo (primeira e segunda linhas e terceira e quarta linhas), minúscula na linha, minúscula sobrescrita na coluna para primeira e terceira médias e maiúscula sobrescrita na coluna para segunda e quarta médias, não diferem ($P < 0,05$) entre si pelo teste F. 1º amostragem: maio/2018; 2º amostragem: abril/2019. CV: coeficiente de variação; F: valores de F calculado; *: significativo a 5%.
Fonte: A própria autora.

Tabela 17 - Médias de resistência à penetração (RP em MPa – Megapascal) sob cafeeiro sombreado (CS) e cafeeiro a pleno sol (CPS) na profundidade de 0,0 a 0,1 m

Variável	CS	CPS	CV (%)	Valores de F	MG
RP (MPa)	0,80 b	1,24 a	13	141,97**	1,02

Nota: Médias seguidas de mesma letra não diferem ($P < 0,05$) entre si pelo teste F. CV: coeficiente de variação; F: valores de F calculado; MG: média geral; ** significativo a 1%.
Fonte: A própria autora.

Os dois sistemas de usos do solo tiveram menor densidade, maior porosidade total (tabela 14) e macroporosidade (tabela 16) e menor resistência à penetração (tabela 17) na profundidade de 0 a 0,05 m, resultados esperados, visto que em menor profundidade, há melhores condições físicas do solo em função de alguns fatores como matéria orgânica (MAGALHÃES *et al.*, 2013) e maior atividade de microrganismos (tabela 5).

A matéria orgânica tem participação fundamental na estruturação de camadas superficiais do solo, pois influencia na formação de estrutura granular grumosa e reduz a densidade que, por sua vez, aumenta a porosidade do solo (FERREIRA, 2010) e reduz a resistência à penetração. Magalhães *et al.* (2013), analisaram vários sistemas de uso do solo e em todos estes, verificaram um aumento da densidade do solo em profundidade.

Souza, Dan e Araújo (2016), estudaram a qualidade física de cafeeiro em monocultivo e consorciado com várias espécies e constataram que cafeeiro consorciado com pupunha e gliricídia indicaram melhorias na qualidade física do solo.

5 CONCLUSÕES

1. A produção de serapilheira por queda natural é maior em sistemas de café consorciado com teca, no entanto, cafés em monocultivo podem gerar mais resíduos quando se realiza a poda e a desbrota.
2. A serapilheira apresenta perda de massa em função do tempo de decomposição, mas quando se analisa os teores de macronutrientes na serapilheira remanescente estes podem não acompanhar o mesmo decréscimo.
3. A respiração basal se destaca sob café sombreado em época seca e em café em monocultivo em época chuvosa.
4. O café consorciado com teca propicia melhoria de alguns atributos químicos do solo, reduz a acidez potencial, aumenta o pH, os teores de cálcio, potássio, saturação por bases e nitrogênio total do solo em relação ao café a pleno sol.
5. Café sombreado proporciona melhor qualidade física do solo com base na menor resistência à penetração, menor densidade e maior porosidade do solo.

REFERÊNCIAS

- ACOSTA, J. A. A. *et al.* Decomposição da fitomassa de plantas de cobertura e liberação de nitrogênio em função da quantidade de resíduos aportada ao solo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 5, p. 1-9, 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cr/v44n5/a12214cr2012-0827.pdf>. Acesso em: 03 set. 2019.
- AIDAR, M. P. M.; JOLY, C. A. Dinâmica da produção e decomposição da serapilheira do araribá (*Centrolobium tomentosum* Guill. ex Benth. – Fabaceae) em uma mata ciliar, Rio Jacaré-Pepira, São Paulo. **Revista Brasileira Botânica**, São Paulo, v. 26, n. 2, p.193-202, 2003. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/30891>. Acesso em: 20 maio 2020.
- ALENCAR, G. V. *et al.* Environmental perception and land use by farmers of organic and conventional systems in the Chapada Ibiapaba, Ceará. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Piracicaba, v. 51, n. 2, p. 217-236, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-20032013000200001>. Acesso em: 12 jul. 2019.
- ALMEIDA, B. G. *et al.* Porosidade do solo. In: TEIXEIRA, P. C. *et al.* **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília, DF, 2017a. Cap. 9, p. 82-94.
- ALMEIDA, B. G. *et al.* Densidade do solo. In: TEIXEIRA, P. C. *et al.* **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília, DF, 2017b. Cap. 7, p. 65-75.
- ALMEIDA, E. J.; LUIZÃO, F.; RODRIGUES, D. J. Produção de serrapilheira em florestas intactas e exploradas seletivamente no sul da Amazônia em função da área basal da vegetação e da densidade de plantas. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 45, n. 2, p. 157–166, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4392201402543>. Acesso em: 01 dez. 2019.
- ALMEIDA, L. S. *et al.* Indicadores de qualidade do solo em cultivos irrigados de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 51, n. 9, p. 1539-1547, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900053>. Acesso em: 13 ago. 2019.
- ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift** v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. Disponível em: https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen_s_climate_classification_map_for_Brazil?af=crossref. Acesso em: 23 ago. 2019.
- ALVES, M. H. D. *et al.* Levantamento das propriedades químicas do solo com diferentes usos agrícolas no baixo Amazonas, Pará. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 5, n. 12, p. 28983-28996, 2019. Disponível em: <http://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/5188/6024>. Acesso em: 03 jun. 2020.
- ANDREGUETTO, L. G. *et al.* Transporte de cátions no perfil do solo sob a influência de chuvas intensas. **Revista de Estudos Ambientais**, Blumenau, v.16, n. 2, p. 57-

66, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.7867/1983-1501.2014v16n2p57-66>. Acesso em: 12 ago. 2019.

ARAÚJO, E. A. *et al.* Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuarava, v. 5, n. 1, p. 187-206, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.5777/paet.v5i1.1658>. Acesso em: 11 jul. 2019.

AREVALO-HERNANDEZ, C. O. *et al.* Aspectos físicos da qualidade do solo sob sistemas agroflorestais e pastagem no sul da Bahia. **Agrotropica**, Centro de pesquisas de cacau, Ilhéus, v. 28, n. 1, p. 55 – 64, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/316428249_ASPECTOS_FISICOS_DA_QUALIDADE_DO_SOLO_SOB_SISTEMAS_AGROFLORESTAIS_E_PASTAGEM_NO_SUL_DA_BAHIA. Acesso em: 03 jun. 2020.

AZEVEDO JUNIOR, R. R. *et al.* Chemical and microbiological soil properties in organic and conventional management systems of *Coffea arabica* L. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 40, n. 14, p. 2076-2086, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01904167.2017.1346128>. Acesso em: 12 jul. 2019.

BALOTA, E. L. *et al.* Soil microbial properties after longterm swine slurry application to conventional and no-tillage systems in Brazil. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 490, n. 1, p. 397-404, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.05.019>. Acesso em: 20 jul. 2019.

BALOTA, E. L. **Manejo e qualidade biológica do solo**. Londrina: Macenas, 2017. 287 p.

BAMBI, P. *et al.* Decomposição e redistribuição de nutrientes das folhas de espécies da floresta de transição Amazônia - Cerrado, MT. **Ciência e Natura**, UFSM, v. 33, n.1, p. 17 - 31, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5902/2179460X9477>. Acesso em: 15 dez. 2019.

BARLOW, J. *et al.* Litter fall and decomposition in primary, secondary and plantation forests in the Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 247, n. 2. p. 91-97, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.04.017>. Acesso em: 15 jul. 2019.

BAUER, D.; SANTOS, E. L.; SCHMITT, J. L. Avaliação da decomposição de serapilheira em dois fragmentos de Caatinga no Sertão Paraibano. **Pesquisas, Botânica**, São Leopoldo, n. 69, p. 307-318, 2016. Disponível em: <http://www.anchietano.unisinos.br/publicacoes/botanica/botanica69/017.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2019.

BEUTLER, A. N. *et al.* Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 167-177, 2001. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832001000100018>. Acesso em: 20 dez. 2019.

- CAMPANHA, M. M. *et al.* Análise comparativa das características da serrapilheira e do solo em cafezais cultivados em sistema agroflorestal e em monocultura, na Zona da Mata MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 805-812, 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622007000500004>. Acesso em: 11 dez. 2019.
- CARVALHO, D. C. *et al.* Ciclagem de nutrientes de um plantio de eucalipto em regeneração de espécies nativas no sub-bosque. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 47, n. 1, p. 17-27, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/rev.v47i1.43652>. Acesso em: 11 ago. 2019.
- CIDADE-BRASIL: **Município de Cacoal**. 2016. Disponível em: <http://www.cidade-brasil.com.br/municipio-cacoal.html>. Acesso em: 17 jul. 2019.
- COLODEL, J. R. *et al.* Atributos físicos e biológicos de Argissolo Vermelho- -Amarelo Amazônico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista de Ciências Agrárias**, Portugal, v. 41, n. 2, p. 287-297, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.19084/RCA17253>. Acesso em: 12 jan. 2020.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de café (Boletim café 17 dez de 2019)**, v. 5, n. 4, quarto levantamento, dez. 2019. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe>. Acesso em: 11 maio 2020.
- COSTA, C. C. A. *et al.* Análise comparativa da produção de serrapilheira em fragmentos arbóreos e arbustivos em área de caatinga na Flona de Açu - RN. **Revista Árvore**, Viçosa, n. 34, v. 2, p. 259-265, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622010000200008>. Acesso em: 20 jul. 2019.
- CUNHA NETO, F. V. *et al.* Acúmulo e decomposição da serrapilheira em quatro formações florestais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 3, p. 379-387, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5902/1980509810549>. Acesso em: 08 dez. 2019.
- DUARTE, I. N.; PEREIRA, H. S.; KORNDÖRFER, G. H. Lixiviação de potássio proveniente do termopotássio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n. 2, p. 195-200, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1983-40632013000200003>. Acesso em: 6 jul. 2019.
- EDWARDS, N. T. Effects of temperature and moisture on carbon dioxide evolution in a mixed deciduous forest floor. **Soil Science Society America Proceedings**, Knoxville, v. 39, n. 2, p. 361-365, 1975.
- FAHL, M. L. C. *et al.* Nitrogen and irradiance levels affecting net photosynthesis and growth of young coffee plants (*Coffea arabica* L.). **Journal of Horticultural Science**, Bangalore - Índia, v. 69, n. 1, p. 161-169, 1994. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/14620316.1994.11515262>. Acesso em: 13 maio 2020.
- FAVARE, L. G.; GUERRINI, I. A.; BACKES, C. Níveis crescentes de saturação por bases e desenvolvimento inicial de teca em um latossolo de textura média. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 4, p. 693-702, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001>. Acesso em: 6 jan. 2020.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, Lavras, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019. Disponível em: <http://www.biometria.ufla.br/index.php/BBJ/article/view/450>. Acesso em: 26 maio 2020.

FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. In: LIER, Q. J. (ed). **Física do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p. 3-24.

FIGUEIREDO-FILHO, A. *et al.* Avaliação estacional da deposição de serapilheira em uma floresta ombrófila mista localizada no sul do estado do Paraná. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 11-18, 2003. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5902/198050981718>. Acesso em: 09 ago. 2019.

FREIRE, J. L. *et al.* Decomposição de serrapilheira em bosque de sabiá na Zona da Mata de Pernambuco. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, n. 8, p. 1659-1665, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982010000800006>. Acesso em: 21 jul. 2020.

FREITAS, L. *et al.* Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Unimar Ciências**, Marília, v. 26, n. 1, p. 8-25, 2017. Disponível em: <http://ojs.unimar.br/index.php/ciencias/article/view/511>. Acesso em: 17 ago. 2019.

FROZZI, J. C. *et al.* Atributos do solo e dimensão fractal em ambientes naturais e transformados na região amazônica. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, Aracajú, v. 9, n. 2, p. 231-243, 2018. Disponível em: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.002.0020>. Acesso em: 10 ago. 2019.

GARLET, C. *et al.* Ciclagem de nutrientes em povoamento de *Eucalyptus dunnii* Maiden: produção de serapilheira e devolução de macronutrientes no bioma Pampa. **Revista Ecologia e Nutrição Florestal**, Santa Maria, v. 7, n. 05, p. 1-9, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5902/2316980X37057>. Acesso em: 04 jul. 2019.

GENNARO, L. A. *et al.* Estrutura do solo sob feijão irrigado e diferentes manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 2, p. 608-614, 2015. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180239737028>. Acesso em: 14 dez. 2019.

GOMES, S. S. *et al.* Bioindicadores de qualidade do solo cultivado com milho em sucessão a adubos verdes sob bases agroecológicas. **Revista de La Facultad de Agronomía**, La Plata, v. 114, n. 3, p. 30-37, 2015. Disponível em: <http://revista.agro.unlp.edu.ar/index.php/revagro/article/view/270>. Acesso em: 11 jul. 2019.

GOYA, J. F. *et al.* Decomposition and nutrient release from leaf litter in *Eucalyptus grandis* plantations on three different soils in Entre Ríos, Argentina. **Revista Bosque**, Valdivia, v. 29, n. 3, p. 217-226, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002008000300005>. Acesso em: 13 jul. 2019.

- GRUGIKI, M. A. *et al.* Decomposição e atividade microbiana da serapilheira em coberturas florestais no sul do Espírito Santo. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 24, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.018915>. Acesso em: 15 maio 2020.
- GUIMARÃES, N. F. *et al.* Biomassa e atividade microbiana do solo em diferentes sistemas de cultivo do cafeeiro. **Revista de Ciências Agrárias**, Portugal, v. 40, n. 1, p. 34-44, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.19084/RCA16041>. Acesso em: 12 jul. 2019.
- GUIMARÃES, N. F. *et al.* Influência de sistemas de produção de café orgânico arborizado sobre a diversidade da fauna invertebrada epigéica. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 3, p. 280-288, 2015. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br:80/handle/123456789/8129>. Acesso em: 11 jul. 2019.
- HAGGAR, J. *et al.* Coffee agroecosystem performance under full sun, shade, conventional and organic management regimes in Central America. **Agroforest System**, v. 82, p. 285-301, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10457-011-9392-5>. Acesso em: 10 dez. 2019.
- HAN, L. *et al.* Some concepts of soil organic carbono characteristics and mineral interaction from a review of literature. **Soil Biology and Biochemistry**, California, v. 94, n. 1, p. 107-121, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.11.023>. Acesso em: 20 jun. 2019.
- HOLANDA, A. C. *et al.* Decomposição da serapilheira foliar e respiração edáfica em um remanescente de caatinga na Paraíba. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 39, n. 2, p. 245-254, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622015000200004>. Acesso em: 01 jun. 2020.
- HORST, R. *et al.* Indicadores de qualidade do solo cultivado com café, pastagem e integração pastagem e eucalipto. **Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia**, UNIPAR, Umuarama, v. 20, n. 4, p. 183-188, 2017. Disponível em: <https://www.revistas.unipar.br/index.php/veterinaria/article/view/6762/3604>. Acesso em: 03 jun. 2020.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. SIDRA - Banco de dados agregados. **Censo Agropecuário**, 2017. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017>. Acesso em: 10 dez. 2019.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. SIDRA - **Banco de dados agregados**. 2004. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br>. Acesso em: 06 dez. 2019.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estado de Rondônia: Pedologia** (Mapa exploratório de solos). 2006. Disponível em: <https://mapas.ibge.gov.br/tematicos/solos>. Acesso em: 06 dez. 2019.

- ILANY, T. *et al.* Using agroforestry to improve soil fertility: effects of intercropping on *Ilex paraguariensis* (yerba mate) plantations with *Araucaria angustifolia*. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 80, p. 299-409, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10457-010-9317-8>. Acesso em: 26 jul. 2019.
- INKOTTE, J. *et al.* Métodos de avaliação da ciclagem de nutrientes no bioma Cerrado: uma revisão sistemática. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 29, n. 2, p. 988-1003, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5902/1980509827982>. Acesso em: 12 ago. 2019.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Dados meteorológicos**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>. Acesso em: 10 ago. 2019.
- IWATA, B. F. *et al.* Sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 7, p. 730-738, 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v16n7/05.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2019.
- KLIPPEL, V. H. *et al.* Acúmulo de serapilheira e nutrientes em área com diferentes metodologias de Restauração Florestal. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 7, n. 2, p. 241-250, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14295/CS.v7i2.521>. Acesso em: 12 dez. 2019.
- LEMOS, C. L. *et al.* Metabolismo de nitrogênio em dois sistemas de cultivo de café sob veranico da estação úmida. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n.1, p. 034-041, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-737X2010000100007>. Acesso em: 13 maio 2020.
- LIMA, R. P. *et al.* Aporte e decomposição da serapilheira na Caatinga no Sul do Piauí. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 1, p. 42-49, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.062013>. Acesso em: 03 set. 2019.
- LIMA, S. S. *et al.* Atributos químicos e estoques de carbono e nitrogênio em Argissolo vermelho-amarelo sob sistemas agroflorestais e agricultura de corte e queima no norte do Piauí. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 51-60, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622011000100006>. Acesso em: 10 jul. 2019.
- LOPES, A. S. **Guia de fertilidade do solo**. Lavras: Ed. da UFV, 2001. 250 p.
- LOPES, E. S. *et al.* Compactação de um solo submetido ao tráfego do harvester e do forwarder na colheita de madeira. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 2, p. 223-230, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.046413>. Acesso em: 04 dez. 2019.

- LORENZI, H. *et al.* **Árvores exóticas no Brasil**: madeiras, ornamentais e aromáticas. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2003. 368 p.
- LOSS, A. *et al.* Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, n. 1, p. 1269-1276, 2011. Disponível em: <http://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/8484>. Acesso em: 12 jul. 2019.
- MACHADO, D. L. *et al.* Ciclagem de nutrientes em diferentes estágios sucessionais da Mata Atlântica na bacia do Rio Paraíba do Sul, RJ. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 31, n. 4, p. 1222-1237, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/BJ-v31n1a2015-23092>. Acesso em: 04 ago. 2019.
- MAGALHÃES, S. S. A. *et al.* Estoque de nutrientes sob diferentes sistemas de uso do solo de Colorado do Oeste-RO. **Acta Amazônica**, Manaus, vol. 43, n. 1, p. 63-72, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672013000100008>. Acesso em: 15 out. 2019.
- MAIA, C. M. B. F. *et al.* Soil Organic Matter: Chemical and Physical Characteristics and Analytical Methods. A Review. **Current Organic Chemistry**, Hilversum, v. 17, n. 24, p. 2985–2990, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2174/13852728113179990123>. Acesso em: 13 ago. 2019.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estudo nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Patafós, 1997. 319 p.
- MANCUSO, M. A. C.; SORATTO, R. P.; PERDONÁ, M. J. Produção de café sombreado. **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v. 9, n. 1, p. 31-44, 2013. Disponível em: <http://revistas.unoeste.br/revistas/ojs/index.php/ca/article/viewFile/592/979>. Acesso em: 08 jun. 2019.
- MARCOLAN, A. L.; ESPINDULA, M. C. (ed.). **Café na Amazônia**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. 474 p.
- MAZZETTO, A. M. *et al.* Atividade da biomassa microbiana do solo alterada pelo uso da terra no sudoeste da Amazônia. **Bragantia**, Campinas, v. 75, n. 1, p. 79-86, 2016. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0006-87052016000100079&script=sci_abstract&lng=pt. Acesso em: 09 jul. 2019.
- MELLONI, R. *et al.* Sistemas agroflorestais cafeeiro-araucária e seu efeito na microbiota do solo e seus processos. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 2, p. 784-795, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5902/1980509832392>. Acesso em: 01 jun. 2020.
- MENDES, I. C.; SOUSA, D. M. G.; REIS JUNIOR, F. B. Bioindicadores de qualidade de solo: dos laboratórios de pesquisa para o campo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, DF, v. 32, n. 1, p.185-203, 2015. Disponível em: <http://seer.sct.embrapa.br/index.php/cct/article/view/23311>. Acesso em: 12 jul. 2019.

MENEZES, C. E. G. *et al.* Aporte e decomposição da serapilheira e produção de biomassa radicular em florestas com diferentes estágios sucessionais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 3, p. 439-452, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5902/198050982059>. Acesso em: 15 jul. 2019.

MONCADA, M. P. *et al.* Visual examinations and soil physical and hydraulic properties for assessing soil structural quality of soils with contrasting textures and land uses. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 140, n. 2, p. 20–28, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.02.009>. Acesso em: 13 jul. 2019.

MORAIS, E. R. C. *et al.* Indicadores da qualidade química do solo em áreas cultivadas com mamoeiro irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 6, p. 587-591, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n6p587-591>. Acesso em: 13 jul. 2019.

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

MOTA, J. C. A.; FREIRE, A. G.; ASSIS JÚNIOR, R. N. Qualidade física de um Cambissolo sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37 n. 5, p. 1196-1206, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832013000500009>. Acesso em: 15 jul. 2019.

NEVES, Y. P. *et al.* Teor de água e fertilidade do solo com cafeeiros cultivados em sistemas agroflorestais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 575-588, 2007. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48831402>. Acesso em: 22 jul. 2018.

NEWELL-PRICE, J. P. *et al.* Visual soil evaluation in relation to measured soil physical properties in a survey of grassland soil compaction in England and Wales. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 127, n. 1, p. 65–73, 2013. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198712000682>. Acesso em: 11 fev. 2019.

OLIVEIRA, A. N. *et al.* Atributos químicos de solo sob diferentes sistemas de uso e manejo no projeto de assentamento Veneza - São Domingos do Araguaia, PA. **Revista Agrossistemas**, Belém, v. 9, n. 1, p. 170-179, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18542/ragros.v9i1.4781>. Acesso em: 09 ago. 2019.

OLIVEIRA, B. S. *et al.* Atributos biológicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, na região Amazônica. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 448-456, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n4p309-316>. Acesso em: 07 set. 2019.

OLIVEIRA, C. C. *et al.* Sombreamento de café (*Coffea arabica* L.) por araucária (*Araucaria angustifolia* L.) e seus efeitos na macrofauna e atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 9, n. 6, 2016, p. 1668-1676,

2016. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v9.6.p1668-1676>. Acesso em: 10 dez. 2019.

OLIVEIRA, R. *et al.* Mudanças de *Tectona grandis* produzidas em diferentes níveis de saturação por bases do solo. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 5, n. 2, p. 31-38, 2018. Disponível em: <https://periodicosonline.uems.br/index.php/agrineo/article/view/2234>. Acesso em: 07 jan. 2020.

OLIVEIRA, S. J. M.; ARAÚJO, L. V. Aspectos econômicos da cafeicultura. *In*: MARCOLAN, A. L.; ESPINDULA, M. C. (ed.). **Café na Amazônia**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. Cap. 1, p. 26-38.

PARTELLI, F. L. *et al.* Dry matter and macronutrient accumulation in fruits of conilon coffee with different ripening cycles. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 1, p. 214-222, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000100021>. Acesso em: 11 set. 2019.

PAUL, E. A.; CLARK, F. E. Sulfur transformations in soil. *In*: PAUL, E. A.; CLARK, F. E. **Soil microbiology and biochemistry**. Academic Press, California, 1989, p. 235-252.

PAVAN, B. S. *et al.* Sistema agroflorestal cafeeiro-abacateiro e seus efeitos na qualidade do solo. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 11, n. 5, p. 1917-1925, 2018. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/db44/1299697da942bfcd6598d687a6fe75fb39f2.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2020.

PEGORARO, R. F. *et al.* Fenóis derivados da lignina, carboidratos e aminoaçúcares em serapilheira e solos cultivados com eucalipto e pastagem. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 359-370, abr. 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622011000200020>. Acesso em: 20 jul. 2019.

PEZARICO, C. R. *et al.* Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 56, n. 1, p. 40-47, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2013.004>. Acesso em: 06 jul. 2019.

PINTO NETO, J. N. *et al.* Efeito das variáveis ambientais na produção de café em um sistema agroflorestal. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 2, p. 187-195, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.25186/cs.v9i2.597>. Acesso em: 09 jul. 2018.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. São Paulo: Nobel, 2002. 549 p.

RAIJ, B. van *et al.* **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 284 p.

REICHERT, J. M. *et al.* Hidrologia do solo, disponibilidade de água às plantas e zoneamento agroclimático. *In*: KLAUBERG FILHO, O.; MAFRA, A. L.; GATIBONI, L.

C. (ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. V. 7, p. 1-54.

REICHERT, J. M. *et al.* Mecânica do Solo. *In*: VAN LIER, Q. J. **Física do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p. 29-102.

REYNOLDS, W. D. *et al.* Use of indicators and pore volume-function characteristics to quantify soil physical quality. **Geoderma**, Amsterdam, v. 152, n.1 p. 252–263, 2009. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706109001967>. Acesso em: 21 set. 2019.

REZENDE, C. P. *et al.* Litter deposition and disappearance in Brachiaria pastures in Atlantic forest region of South Bahia, Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 54, n. 2, p. 99-112, 1999. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1009797419216>. Acesso em: 10 dez. 2019.

RICCI, M. S. F.; COSTA, J. R.; OLIVEIRA, N. G. Utilização de componentes principais para analisar o comportamento do cafeeiro a pleno sol e sombreado. *Coffee Science*, Lavras, v. 6, n. 1, p. 44-54, 2011. Disponível em: <http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/380>. Acesso em: 15 maio 2020.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5º Aproximação**. Viçosa: UFV, 1999. 359 p.

RODRIGUES, V. G. S. *et al.* Sistemas agroflorestais com cafeeiro. *In*: MARCOLAN, A. L.; ESPINDULA, M. C. (ed). **Café na Amazônia**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. Cap. 20, p. 435-446.

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/31004/1/BPD-8.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2019.

ROSA, T. F. D.; SCARAMUZZA, W. L. M. P.; SILVA, R. G. Concentração e acúmulo de nutrientes em povoamentos de teca no estado de Mato Grosso, Brasil. **Cerne**, Lavras, v. 21, n. 1, p. 51-57, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/01047760201521011274>. Acesso em: 4 dez. 2019.

ROSA, T. F. D. **Produção de serapilheira, concentração e acúmulo de nutrientes em povoamentos de teca**. 2010. 59 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2010.

ROSA T. F. D. *et al.* Produção e decomposição de serapilheira em povoamentos de teca no estado de Mato Grosso, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 4,

p. 1117-1127, 2017. Disponível em:

<https://www.redalyc.org/pdf/534/53453782002.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2019.

SANTOS, G. R. Respiração microbiana do solo relacionada ao conteúdo de água no solo e a temperatura do solo, na época do Equinócio de primavera, em Olho D'Água do Casado, Semiárido de Alagoas. **Revista de Geociências do Nordeste**, Natal, v. 2, n. 1, p. 885-893, 2016. Disponível em:

<https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/10549>. Acesso em: 5 out. 2019.

SECRETARIA DE ESTADUAL DE DESENVOLVIMENTO AMBIENTAL – SEDAM. **Atlas Ambiental**. 2002. Disponível em: <http://www.sedam.ro.gov.br>. Acesso em: 10 jun. 2019 (Acervo técnico zoneamento).

SIGNOR, D. *et al.* Estoques de carbono e qualidade da matéria orgânica do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 1, p. 1402-1410, 2014. Disponível em:

<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000500005>. Acesso em: 05 jun. 2019.

SILVA, A. P. *et al.* Indicadores de qualidade física do solo. *In*: LIER, Q. J. (ed.). **Física do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p. 242-248.

SILVA, C. M. *et al.* Variação temporal do efluxo de CO₂ do solo em sistemas agroflorestais com palma de óleo na Amazônia Oriental. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 46, p. 1-12, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4392201500193>. Acesso em: 18 dez. 2019.

SILVA, C. J. *et al.* Contribuição de folhas na formação da serrapilheira e no retorno de nutrientes em floresta de transição no norte de Mato Grosso. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 39, n. 3, p. 591-600, 2009. Disponível em:

<http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672009000300014>. Acesso em: 10 dez. 2019.

SILVA, D. C. *et al.* Atributos do solo em sistemas agroflorestais, cultivo convencional e floresta nativa. **Revista de estudos ambientais**, Blumenau, v. 13, n. 1, p. 77-86, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.7867/1983-1501.2011v13n1p77-86>. Acesso em: 12 ago. 2019.

SILVA, E. E.; AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, H. **Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO₂)**. Rio de Janeiro: Embrapa Agrobiologia 2007. 4 p. (Circular técnica, 21).

SILVA, G. F. *et al.* Indicadores de qualidade de solo sob diferentes sistemas de uso na Mesorregião do Agreste Paraibano. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 3, p. 25-35, 2015. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=237141066003>. Acesso em: 12 jul. 2019.

SILVA, H. F. *et al.* Decomposição de serapilheira foliar em três sistemas florestais no Sudoeste da Bahia. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 12, n. 3, p. 164-172, 2014. Disponível em:

<http://www.ufrgs.br/seerbio/ojs/index.php/rbb/article/view/2818>. Acesso em: 19 nov. 2019.

SILVA, J. M. *et al.* Mineralização de vermicompostos estimada pela respiração microbiana. **Revista Verde**, Pombal, v. 8, n. 4, p. 132-135, 2013. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/2073>. Acesso em: 11 ago. 2019.

SILVA, K. R. *et al.* Indicadores químicos do solo sob diferentes usos e manejo no lote 31 do projeto de assentamento Veneza no sudeste do Pará. **Revista Agrossistemas**, UFPA, v. 9, n. 1, p. 227-235, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufpa.br/index.php/agroecossistemas/article/view/4778/4402>. Acesso em: 12 ago. 2019.

SILVA, M. S. C. *et al.* Estoque de serapilheira e atividade microbiana em solo sob sistemas agroflorestais. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 19, p. 431-441, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2012.058>. Acesso em: 15 dez. 2019.

SILVA, W. M. *et al.* Atividade microbiana e decomposição de diferentes resíduos orgânicos em um solo sob condições de campo e estresse hídrico simulado. **Agrarian**, Dourados, v. 2, n. 6, p. 33-46, 2009. Disponível em: <http://ojs.ufgd.edu.br/index.php/agrarian/article/view/928>. Acesso em: 17 dez. 2019.

SOUZA, G. S. *et al.* Soil physico-hydraulic properties under organic conilon coffee intercropped with tree and fruit species. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 52, n. 7, p. 539-547, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2017000700008>. Acesso em: 03 jun. 2020.

SOUZA, S. S.; DAN, M. L.; ARAÚJO, J. B. S. Qualidade física do solo sob cafeeiro conilon consorciado e em monocultivo. **Coffee Science**, Lavras, v. 11, n. 2, p. 180 - 186, 2016. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br:80/handle/123456789/8064>. Acesso em: 12 jul. 2019.

STEFANOSKI, D. C. *et al.* Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 12, p. 1301-1309, 2013. Disponível em: <http://www.agriambi.com.br/revista/v17n12/v17n12a08.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2019.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.15, n. 1, p. 229-235, 1991. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/288962136>. Acesso em: 13 ago. 2019.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

TEIXEIRA, M. B. *et al.* Decomposição e ciclagem de nutrientes dos resíduos de quatro plantas de cobertura do solo. **IDESIA**, Chile, v. 30, n. 1, p. 55-64, 2012.

Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292012000100007>. Acesso em: 10 ago. 2019.

TEIXEIRA, P. C. *et al.* **Manual de métodos de análise de solos**. 3. ed. Brasília-DF: Embrapa, 2017. 573 p.

TERROR, V. L.; SOUSA, H. C.; KOZOVITS, A. R. Produção, decomposição e qualidade nutricional da serapilheira foliar em uma floresta paludosa de altitude. **Acta Botânica Brasílica**, Brasília, DF, v. 25, n. 1, p. 113-121, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-33062011000100014>. Acesso em: 12 dez. 2019.

THOMAS R. J.; ASAKAWA N. M. Decomposition of leaf litter from tropical forage grasses and legumes. **Soil Biology and Biochemistry**, California, v. 25, n. 10, p. 1351-1361, 1993. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/0038-0717\(93\)90050-L](http://dx.doi.org/10.1016/0038-0717(93)90050-L). Acesso em: 16 nov. 2019.

THOMAZINI, A. *et al.* SOC dynamics and soil quality index of agroforestry systems in the Atlantic rainforest of Brazil. **Geoderma Regional**, Amsterdam, v. 5, p. 15-24, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2015.02.003>. Acesso em: 15 nov. 2019

URBANO, C. N. *et al.* Aporte de serapilheira e nutrientes ao solo em povoamentos jovens de *Eucalyptus* no planalto catarinense. **Revista Ecologia e Nutrição Florestal**, Santa Maria, v. 6, n. 2, p. 33-44, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5902/2316980X27068>. Acesso em: 12 ago. 2019.

VIEIRA, R. F. **Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas**. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 163 p.

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V. Teores e aporte de nutrientes na serapilheira de *Pinus taeda* L., e sua relação com a temperatura do ar e pluviosidade. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 85-94, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622010000100010>. Acesso em: 10 ago. 2019.