

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS E DA MADEIRA

RÔMULO LIRIO PAZ

QUALIDADE DA MATÉRIA ORGÂNICA, EMISSÃO DE CO<sub>2</sub> E  
ESTABILIDADE DE AGREGADOS SOB DIFERENTES CONSÓRCIOS  
AGROFLORESTAIS

JERÔNIMO MONTEIRO  
ESPÍRITO SANTO

2015

RÔMULO LIRIO PAZ

QUALIDADE DA MATÉRIA ORGÂNICA, EMISSÃO DE CO<sub>2</sub> E  
ESTABILIDADE DE AGREGADOS SOB DIFERENTES CONSÓRCIOS  
AGROFLORESTAIS

Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Florestal.

JERÔNIMO MONTEIRO

ESPÍRITO SANTO

2015

RÔMULO LIRIO PAZ

QUALIDADE DA MATÉRIA ORGÂNICA, EMISSÃO DE CO<sub>2</sub> E  
ESTABILIDADE DE AGREGADOS SOB DIFERENTES CONSÓRCIOS  
AGROFLORESTAIS

Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Florestal.

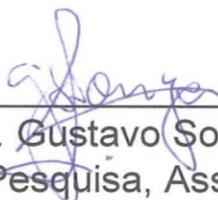
Aprovado em 10 de Dezembro de 2015

COMISSÃO EXAMINADORA



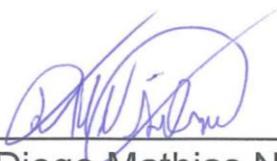
---

Prof. Dr. Eduardo de Sá Mendonça  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Orientador



---

Dr. Gustavo Soares de Souza  
Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural  
Examinador



---

Dr. Diego Mathias Natal da Silva  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Examinador

*“Descubra o que quer e aprenda como pedir por isso”*

## AGRADECIMENTOS

À minha mãe Rosiana Barcelos Lirio, minha fortaleza, maior incentivadora e motivo de sempre querer me superar e fazer o melhor que posso em tudo que faço.

À minha família, pai, irmã, tios, tias, primos e prima, por todo apoio e confiança durante todos esses anos de vida, em especial a meus avós João Lirio (em memória) e Marina Barcelos pela integridade e ensinamentos.

À cidade de Alegre, que me acolheu no começo desta caminhada, deixando claro os motivos pelo qual vim e os motivos pelos quais sentirei saudades.

Aos meus queridos Maria Julia Paganini, Cecilia Catrinck, Bárbara Favalessa e Luan Mendes, muito mais que amigos e companheiros de curso, são irmãos e foram essenciais na minha trajetória, estarão sempre comigo.

Aos meus amores Letícia Muruci, Ana Clara Legora e Fernanda Marin por toda história compartilhada, contribuem todos os dias nos meus sorrisos.

Às de sempre Janine Conti, Amanda Scarpati, Lohayne Fracalossi e Giovana Rampinelli por tudo que fazem por mim.

Às queridas Tuanne Cascardo e Ludmila Fava, pelas palavras de carinho e momentos de tranquilidade.

À todos os amigos que ganhei em Alegre, pelos momentos que passei com cada um, levarei todos no meu coração.

Aos colegas Diego “Conha” Mathias, Matheus’ão’ Quaresma e Natália Lima por todo apoio e instruções nas coletas de campo, análises estatísticas e de solos.

Ao INCAPER/Pacotuba, em especial ao Gustavo, pela disponibilização do experimento para estudo e atenção proporcionada ao longo da condução do mesmo.

Ao pessoal do INCAPER/Alegre, Peinha, Érica, Rosângela, Thiago e demais, pelas horas de descontração e apoio, liberando-me do estágio para realização das análises.

Ao professor Eduardo de Sá, por ter aceitado o convite de orientar-me na execução desse trabalho. Grato pela confiança, paciência e ensinamentos.

Aos demais professores do Centro de Ciências Agrárias e do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da UFES, por todo conhecimento proporcionado no decorrer da graduação de Engenharia Florestal.

## RESUMO

O sistema de manejo do café conilon predominante nas regiões produtivas do Espírito Santo é o monocultivo a pleno sol. Contudo, esse sistema tem sido questionado pelos seus efeitos negativos na qualidade do solo, podendo resultar em queda de produtividade e aumento nas emissões de C-CO<sub>2</sub>. O objetivo geral do trabalho foi comparar o café conilon em diferentes consórcios agroflorestais, sendo cafeeiro cultivado a pleno sol (CSol) e consorciado com *Inga edullis* (CIng), Musa spp. cv Japira (CBan), *Gliricidea sepium* (CGli) ou *Bactris gasipaes* (CPup) e seus impactos na matéria orgânica, estabilidade de agregados e emissões de C via CO<sub>2</sub> do solo, na unidade de observação do INCAPER no distrito de Pacotuba, Cachoeiro de Itapemirim – ES. Em cada sistema de manejo do café foram coletadas amostras deformadas e indeformadas de solo nas camadas de 0-10 e 10-20 cm para caracterização química, da matéria orgânica e da estabilidade de agregados. Foram realizadas medições de emissão de C-CO<sub>2</sub>, temperatura e umidade do solo na superfície do solo. Foi utilizada a aplicação de contrastes ortogonais comparando as médias dos tratamentos. O CPup apresentou maiores valores de COT (16,95 e 12,86 g/kg) em ambas camadas. CGli apresentou valor superior para NT (1,56 g/kg) na camada de 0-10 cm. Os maiores valores de quociente metabólico foram encontrados em CSol. O CIng evidenciou menores potenciais para perda de C-CO<sub>2</sub>. Os consórcios agroflorestais mostraram-se menos sensíveis a perda de C-CO<sub>2</sub> devido a proteção química e física da matéria orgânica, bem como maiores diâmetros médios dos índices de agregação (DMP e DMG). Os consórcios agroflorestais proporcionam maior aporte de resíduos vegetais contribuindo para maior incorporação de C no solo em relação a CSol. Sistemas com constante aporte de material orgânico aumentam os conteúdos de C no solo, a estabilidade da biomassa microbiana e de agregados, bem como reduzem a perda de matéria orgânica via emissão de C-CO<sub>2</sub>.

**Palavras-chave:** *Coffea canephora*, arborização de cafezais, C e N orgânico do solo, agregados do solo, fluxo de C via CO<sub>2</sub>

## SUMÁRIO

|   |      |
|---|------|
| LISTA DE TABELAS .....  | vii  |
| LISTA DE FIGURAS .....  | viii |
| 1 INTRODUÇÃO .....  | 1    |
| 1.1 Objetivos .....   | 2    |
| 1.1.1 Objetivo geral.....   | 2    |
| 1.1.2 Objetivos específicos .....   | 3    |
| 2 REVISÃO DE LITERATURA .....   | 4    |
| 2.1 Cafeeiro e componente arbóreo.....                                      | 4    |
| 2.2 Matéria orgânica do solo (MOS) .....                                    | 5    |
| 2.3 Emissão de CO <sub>2</sub> .....  | 6    |
| 2.4 Agregados do solo .....   | 7    |
| 3 METODOLOGIA.....  | 9    |
| 3.1 Localização e Caracterização da área de instalação do experimento ..... | 9    |
| 3.2 Consórcios agroflorestais estudados .....                               | 10   |
| 3.3 Condução das espécies consorciadas.....                                 | 11   |
| 3.4 Coleta e preparo das amostras de solo .....                             | 11   |
| 3.5 Caracterização química e física do solo.....                            | 12   |
| 3.6 Determinações experimentais.....  | 14   |
| 3.6.1 Carbono e nitrogênio orgânico do solo .....                           | 14   |
| 3.6.2 Emissões de CO <sub>2</sub> (E CO <sub>2</sub> ) .....                | 15   |
| 3.6.3 Carbono da biomassa microbiana .....                                  | 15   |
| 3.6.4 Estabilidade de agregados .....                                       | 15   |
| 3.7 Análise dos dados.....  | 16   |
| 4 RESULTADOS .....  | 17   |
| 4.1 Carbono e nitrogênio orgânico do solo .....                             | 17   |
| 4.2 Emissões de C via CO <sub>2</sub> (C-CO <sub>2</sub> ).....             | 19   |
| 4.3 Carbono da biomassa microbiana.....                                     | 21   |
| 4.4 Estabilidade de agregados.....  | 23   |
| 5 DISCUSSÃO .....   | 25   |
| 6 CONCLUSÃO.....  | 30   |
| 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....  | 31   |

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Valores médios de atributos químicos e granulometria nas profundidades estudadas nos diferentes sistemas de manejo, no ano de 2015..... 13
- Tabela 2 - Valores médios de densidade do solo (Ds) e de partículas, resistência do solo à penetração (RP) e porosidade total (PT) nos sistemas de manejo estudados, nas diferentes profundidades. .... 14
- Tabela 3 - Contrastes ortogonais utilizados na comparação dos sistemas com Café a pleno sol (CSol), Café com ingá (CIng), Café com banana (CBan), Café com gliricídia (CGli) e Café com Pupunha (CPup). .... 16
- Tabela 4 - Valores das probabilidades obtidas comparando contrastes ortogonais para as variáveis C orgânico total, N total e relação C/N. .... 18
- Tabela 5 - Valores médios do estoque total de C (ESTC) e N (ESTN) no perfil amostrado (0-20 cm) e valores das probabilidades obtidas comparando contrastes ortogonais..... 19
- Tabela 6 - Valores das probabilidades obtidas comparando contrastes ortogonais, para as variáveis emissão de CO<sub>2</sub>, temperatura e umidade do solo. ....21
- Tabela 7 - Valores das probabilidades obtidas comparando contrastes ortogonais para as variáveis umidade do solo, C biomassa microbiana e quociente metabólico (Qmet). ....22
- Tabela 8 - Valores das probabilidades obtidas comparando contrastes ortogonais para as variáveis Diâmetro médio geométrico (DMG) e ponderado (DMP) .....23

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - Vista aérea com a localização do experimento.....   | 9  |
| Figura 2 - Croqui dos sistemas de manejo avaliados no estudo .....   | 10 |
| Figura 3 - Valores médios de COT, NT e relação C/N nas profundidades estudadas para diferentes consórcios agroflorestais.....          | 18 |
| Figura 4 - Valores médios da emissão de CO <sub>2</sub> , temperatura do solo e umidade do solo nos sistemas de manejo estudados ..... | 20 |
| Figura 5 - Valores médios de C biomassa microbiana, umidade do solo e quociente metabólico nos sistemas de manejo estudados .....      | 22 |
| Figura 6 - Valores médios de DMG e DMP nas profundidades estudadas para diferentes consórcios agroflorestais .....                     | 23 |

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor e segundo maior consumidor de café do mundo, sendo o agronegócio uma das principais atividades brasileiras, gerando emprego e distribuindo renda para a população. Duas espécies de café são produzidos no país: arábica (*Coffea arabica*) e conilon/robusta (*C. canephora*). O monocultivo do café faz com que os agricultores fiquem mais vulneráveis a oscilações do preço de mercado, que é influenciado pela ação de grandes empresas.

No sul do Estado do Espírito Santo o café conilon é cultivado sem o uso de componentes arbóreos, a pleno sol, e contribuiu para a devastação da cobertura vegetal do Bioma Mata Atlântica. Estima-se que originalmente o bioma ocupava quase 100% do território estadual, onde a exploração de madeira, o crescimento urbano e o longo período de atividades agropecuárias, principalmente o café, ocasionaram redução da cobertura florestal, restando cerca de 10% da mata original (INPE; SOS MATA ATLÂNTICA, 2015), podendo favorecer a ocorrência dos processos de degradação e perda de fertilidade do solo.

A agricultura significou a transformação de ecossistemas naturais em ecossistemas agrícolas ao privilegiar uma ou apenas algumas espécies no processo de obtenção de produtos, reduzindo a diversidade biológica, que intensificou-se com o desenvolvimento do processo civilizatório (LAGES, 2001). A supressão desses ecossistemas naturais por monoculturas associadas as condições climáticas e ao relevo acidentado da região altera os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, reduzindo a quantidade e qualidade da matéria orgânica, intensificando a erosão e aumentando as emissões de CO<sub>2</sub> para atmosfera (CORAZZA, 1999; BRASIL, 2009).

A exploração racional dos recursos naturais produtivos passou a ter maior destaque e importância nos últimos anos, em virtude da crescente preocupação mundial com a preservação e conservação do meio ambiente (MACEDO et al., 2000). Na busca por uma cafeicultura sustentável, surgem os cultivos de café consorciados com espécies arbóreas e/ou frutíferas, onde estas espécies consorciadas podem contribuir para a conservação do solo e melhorar suas características químicas e físicas por meio do aporte de resíduos vegetais. A formação de serapilheira promove a diminuição dos impactos das gotas de chuva e do escoamento superficial, a

manutenção da umidade do solo e contribui no fornecimento de matéria orgânica e nutrientes ao sistema, bem como maior estabilidade de agregados.

A arborização em cafezais promovem a dinâmica e interação dos processos ecológicos, melhorando a qualidade do solo, a ciclagem de nutrientes, atividades de microrganismos e aumento do sequestro de carbono, promovendo ainda uma menor vulnerabilidade econômica dos agricultores com maior diversidade de produtos e a possibilidade de agregar valor ao café pela melhoria da qualidade da bebida (GAMA-RODRIGUES et al., 2008; ARAÚJO et al., 2015). A manutenção da matéria orgânica do solo pode ser controlada pela decomposição dos resíduos vegetais, que por meio da ação de organismos do solo e das condições físicas e químicas determinam a taxa de liberação de nutrientes (GAMA-RODRIGUES et al., 2008), influenciando a retenção de água e a formação de agregados. De acordo com Wendling et al. (2005), a matéria orgânica é o principal agente de formação e estabilização dos agregados, e por isso a avaliação do diâmetro de partículas é importante para avaliar o modelo de agregação.

A taxa de fluxo de carbono varia de acordo com o sistema agrícola e as práticas de manejo adotadas, em que os sistemas com manejo agroecológico do solo têm maior eficiência em acumular carbono em relação ao sistema convencional (CHAVEZ, 2008).

Diante do exposto, torna-se necessário o estudo dos sistemas consorciados para identificação das melhores estratégias de manejo que possam contribuir para a estabilidade de um agroecossistema sustentável, sendo necessário uma avaliação do potencial de cada espécie em contribuir com o aporte e a qualidade da matéria orgânica, e seus reflexos sobre os atributos físicos e microbiológicos do solo e a taxa do fluxo de carbono.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo geral**

Avaliar a influência de diferentes consórcios agroflorestais sobre as características físicas, químicas e biológicas do solo em relação ao monocultivo de café a pleno sol.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Medir o potencial de emissão de C via CO<sub>2</sub> dos solos;
- Quantificar a matéria orgânica total e seus compartimentos sob diferentes sistemas de manejo;
- Determinar o efeito da matéria orgânica na estabilidade dos agregados do solo;

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Cafeeiro e componente arbóreo

O café conilon é nativo das florestas baixas da África Equatorial na bacia do rio Congo, cultivado em altitudes inferiores a 500 m e temperaturas médias entre 24 e 28°C (EMBRAPA, 2004). No Brasil, seu cultivo ocorre em altitudes semelhantes e temperaturas médias de 22-26°C.

O Espírito Santo (ES) é o principal produtor de café conilon, devendo participar com 68% do total a ser colhido pelo país (IBGE, 2015), sendo uma importante espécie em função do alto teor de cafeína e sólidos solúveis verificado nos seus grãos. A espécie é conhecida mundialmente como café robusta. “Robusta” traduz-se como rusticidade e resistência, sobretudo à ferrugem (FERRÃO et al., 2007).

Segundo levantamento da CEDAGRO (2012), as áreas cultivadas com café no ES apresentaram maior percentual de degradação do solo (22,39%) do total de áreas agrícolas degradadas no Estado (393.321,55 ha). Possivelmente esse resultado está relacionado a um conjunto de fatores como o manejo inadequado, baixa cobertura florestal, elevada declividade do relevo e exposição do solo às variações climáticas.

O cafeeiro é uma planta oriunda de ambiente sombreado e possui adaptações fisiológicas e morfológicas para isso, mas é uma espécie que se adaptou bem às condições de pleno sol (GUIMARÃES et al., 2004). O cultivo de café no estado do Espírito Santo é conduzido em grande parte das lavouras sem a manutenção da cobertura vegetal do solo, o que gera exposição do mesmo e potencializa a perda da matéria orgânica e nutrientes no processo erosivo (BRINATE et al., 2008), entretanto a arborização na agricultura é uma técnica que vem se propagando no estado, proporcionando a proteção de cafezais contra as adversidades climáticas e diminuindo impactos ao solo, promovendo a sustentação da cultura.

Segundo Fernandes (1986), a arborização adequada do cafezal pode propiciar radiação solar na medida adequada, favorecendo condições microclimáticas quando comparado a pleno sol; há um aumento do número de ramos primários e secundários, produção de internódios mais longos, redução do número de folhas, porém de maior tamanho, produção de frutos maiores, mais moles e açucarados e melhoria do aspecto vegetativo do cafeeiro.

A adição de material orgânico provenientes de deposições naturais ou podas de folhas, ramos e estruturas reprodutivas das árvores facilita o aporte da matéria orgânica do solo, maior diversidade de organismos e manutenção da fertilidade do solo, propiciando maior sustentabilidade ao cultivo arborizado em cafezais (THOMAZINI et al., 2013). Assim, contribui com a fisiologia, produtividade e fitossanidade dos cafeeiros (ARAÚJO et al., 2015).

A escolha da espécie arbórea para compor o consórcio é de fundamental importância, devendo apresentar rápido crescimento vegetativo, sistema radicular profundo, boa produção de biomassa, boa capacidade de rebrota e copa pouco densa (MACEDO et al., 2010), devendo também levar em consideração sua integração com o cafeeiro.

A diversificação das espécies no sistema produtivo pode ser mais rentável do que o monocultivo de café, tornando-se uma alternativa de renda para os agricultores (LOSS, 2007).

## **2.2 Matéria orgânica do solo (MOS)**

A MOS é constituída pelos resíduos vegetais das plantas, animais e serapilheira em diferentes estágios de decomposição, associada com partículas de silte, argila do solo e minerais complexos (CHAVEZ, 2008). A qualidade da MOS é influenciada pelo material orgânico de origem, pelas condições de decomposição, pela biossíntese e pelo tempo, comprovando que o tipo de cobertura vegetal tem efeito em relação ao teor e a distribuição dos componentes orgânicos em solos tropicais (LONGO e ESPÍNDOLA, 2000; BARRETO et al., 2008).

A biomassa microbiana do solo é fundamental para os processos de decomposição da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes e estruturação do solo, exercendo função importante no funcionamento e na sustentabilidade do agroecossistema, atuando na formação e qualidade dos solos (SALES, 2012).

A MOS é o principal reservatório de energia para os microrganismos e de nutrientes para as plantas. O declínio ou acréscimo em seu conteúdo serve para mensurar a preservação dos ecossistemas naturais e os desequilíbrios dos agroecossistemas; ou seja, é utilizado como critério na avaliação da sua sustentabilidade (KAISER et al., 1995).

O carbono é o principal constituinte da matéria orgânica do solo, servindo como fonte de energia para processos microbianos e respiração, influencia o armazenamento e ciclagem de nutrientes, está ligado à disponibilidade de água para as plantas, infiltração, formação de agregados, densidade e resistência do solo e outros indicadores de qualidade do solo (REEVES, 1997). Este conjunto reflete a importância da matéria orgânica na capacidade produtiva do solo, visto que condicionam as propriedades químicas, físicas e biológicas do mesmo.

A conversão de ecossistemas naturais para agricultura com métodos convencionais de preparo do solo provoca: redução nos teores de carbono orgânico no solo, resultando em redução da taxa de adição de matéria orgânica; aumento da emissão de C do solo via CO<sub>2</sub>, resultando em desequilíbrio no ciclo do efeito estufa natural (FERNANDES e FERNANDES, 2009).

Sistemas de cultivo de cafezais consorciado com espécies arbóreas é uma alternativa eficaz para aumentar os níveis de MOS por meio da adição de resíduos vegetais.

### **2.3 Emissão de CO<sub>2</sub>**

As emissões de CO<sub>2</sub> de solos agrícolas para a atmosfera são provenientes de interações entre o clima e as propriedades biológicas, químicas e físicas do solo. O solo é considerado o principal reservatório de carbono no ecossistema (BRUCE et al., 1999) e, da totalidade de carbono fixado pelas plantas, a emissão de CO<sub>2</sub> do solo é o principal fluxo de C que retorna para a atmosfera, devido alterações na magnitude desse fluxo que são provocadas pelo uso da terra, dentro dos limites impostos pelas condições climáticas e edáficas, acarretando em grandes alterações nas concentrações de CO<sub>2</sub> atmosférico (SCHLESINGER e ANDREWS, 2000). Por outro lado, os fatores que aumentam a entrada de C e/ou diminuem a respiração do solo, irão favorecer o acúmulo de C, criando um dreno de CO<sub>2</sub> atmosférico (SMITH e CONEN, 2004).

O CO<sub>2</sub> é produzido no solo pela respiração de raízes, microrganismos, fauna do solo e pela oxidação química dos compostos de carbono (LUNDEGARDH, 1927). A emissão deste gás é produto da atividade microbiana na decomposição da matéria orgânica do solo (MOS), da concentração de CO<sub>2</sub> previamente existente no solo e da respiração das raízes das plantas. A decomposição de MOS, formada pela

serapilheira proveniente de depósitos vegetais e pelas raízes finas no solo, é controlada por diversos fatores que incluem a temperatura do solo, conteúdo da umidade do solo, quantidade de carbono orgânico e o potencial de decomposição do carbono do solo (REICOSKY e LINDSTROM, 1993). O carbono que não é liberado para a atmosfera será incorporado no húmus do solo ou solubilizado na água de percolação.

A agricultura convencional, por meio de práticas como o desflorestamento e preparo do solo, tem influenciado no aumento da taxa de mineralização da MOS, acarretando na diminuição dos teores de C do solo (CERRI et al., 2001).

Os sistemas de manejo que aumentem a adição de resíduos vegetais e a retenção de C no solo constituem em alternativas para aumentar a capacidade de dreno do C-CO<sub>2</sub> atmosférico e mitigação do aquecimento global (AMADO et al., 2001; LOVATO et al., 2004). Os consórcios de cafezais com espécies arbóreas, por aumentar o depósito de biomassa vegetal, apresentam balanço positivo de C no solo.

## **2.4 Agregados do solo**

A estrutura do solo é formada pelo arranjo de partículas primárias classificadas em areia, silte e argila, dependendo do tamanho, associadas a partículas secundárias, que são formadas pela associação das partículas primárias com substâncias orgânicas e inorgânicas (SOPRANO, 2002).

De acordo com Tisdall e Oades (1982), dois processos são necessários para que o solo apresente agregados estáveis, sendo a formação dos agregados e sua posterior estabilização. Para isto, se torna necessário a ocorrência de processos físicos, químicos e biológicos.

A matéria orgânica do solo (MOS) apresenta papel fundamental na formação dos agregados, resultantes da aproximação e da ligação entre as partículas, e na sua estabilidade pela ação de agentes cimentantes ou aglutinadores, como a matéria orgânica e os óxidos de ferro (MEURER, 2000), que indiretamente afeta as demais propriedades físicas do solo, como densidade, porosidade, aeração e capacidade de retenção e infiltração da água (TISDALL e OADES, 1982).

Os agregados variam em tamanho, podendo ser divididos em: microagregados (agregados menores que 0,25 mm), formados pela interação das frações granulométricas entre si e destas com as moléculas orgânicas, cátions polivalentes e

argila; e macroagregados (agregados maiores que 0,25 mm), resultantes da ação mecânica de raízes finas e hifas de fungos (TISDALL e OADES, 1982). Segundo Feller e Beare (1997), a matéria orgânica protegida no interior de agregados permanece no solo por um período maior que a matéria orgânica livre. Por esse motivo, os agregados do solo tem um importante efeito sobre a retenção de C no solo (SIX et al., 2004).

À medida que se acumula material orgânico no solo ocorre influência da matéria orgânica sobre a agregação do mesmo, intensificando a atividade microbiana, resultando na produção de exsudatos que desempenham função na formação e na estabilidade dos agregados, retendo mais água e oxigênio e proporcionando o desenvolvimento de plantas e microrganismos (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006). Sendo assim, altos teores de carbono orgânico no solo se relaciona com agregados mais estáveis e maior biomassa vegetal (BAYER, 2004) aumentando a resistência à erosão hídrica.

Neste sentido, torna-se importante o uso de árvores no sistema que são responsáveis por vários benefícios ao solo, como proteção contra o impacto das gotas de chuva, manutenção do teor de matéria orgânica e melhoria dos atributos do solo (YOUNG, 1997).

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Localização e Caracterização da área de instalação do experimento

O experimento localiza-se em uma unidade de observação na Fazenda Experimental Bananal do Norte, pertencente ao Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER), localizada no distrito de Pacotuba, município de Cachoeiro de Itapemirim – ES (Figura 1), com latitude  $20^{\circ}45'15''$  S, longitude  $41^{\circ}17'05''$  W e altitude de 146 m. O clima da região é do tipo “Cwa”, com verão chuvoso e inverno seco de acordo com a classificação de Köpen, com precipitação média anual de 1.200 mm, temperatura mínima do mês mais frio variando de 11,8 a 18 °C e temperatura máxima do mês mais quente variando de 30,7 a 34 °C.

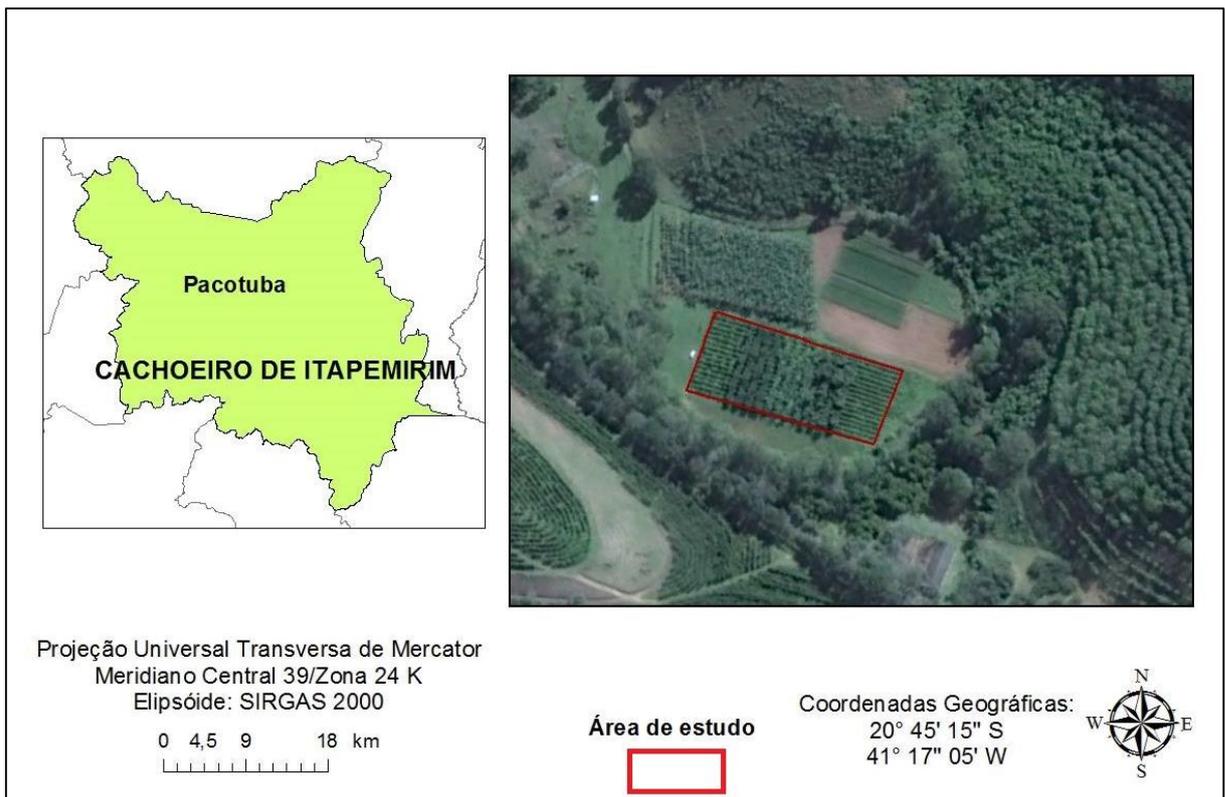


Figura 1 - Vista aérea com a localização do experimento. Imagem retirada do Google Earth®

### 3.2 Consórcios agroflorestais estudados

O experimento de campo foi instalado em janeiro de 2013 em um sistema orgânico, com cinco sistemas de manejo, sendo uma área de consórcio de espécies arbóreas ou frutíferas com cafeeiro. A variedade de café conilon plantada foi a “EMCAPER 8151”, denominada Robusta Tropical, material propagado por semente, manejado em sequeiro, com rusticidade e estabilidade na produção de grãos (Ferrão et al., 2007).

A área foi dividida em cinco sistemas de manejo, sendo um talhão com cafeeiro (*Coffea canephora*) a pleno sol (CSol) e o restante com quatro diferentes consórcios: com ingá de metro (CIng), com bananeira cultivar japira (CBan), com gliricídia (CGli) e com pupunha (CPup), respectivamente as espécies *Inga edullis*, *Musa spp.*, *Gliricidea sepium* e *Bactris gasipaes* (Figura 2).

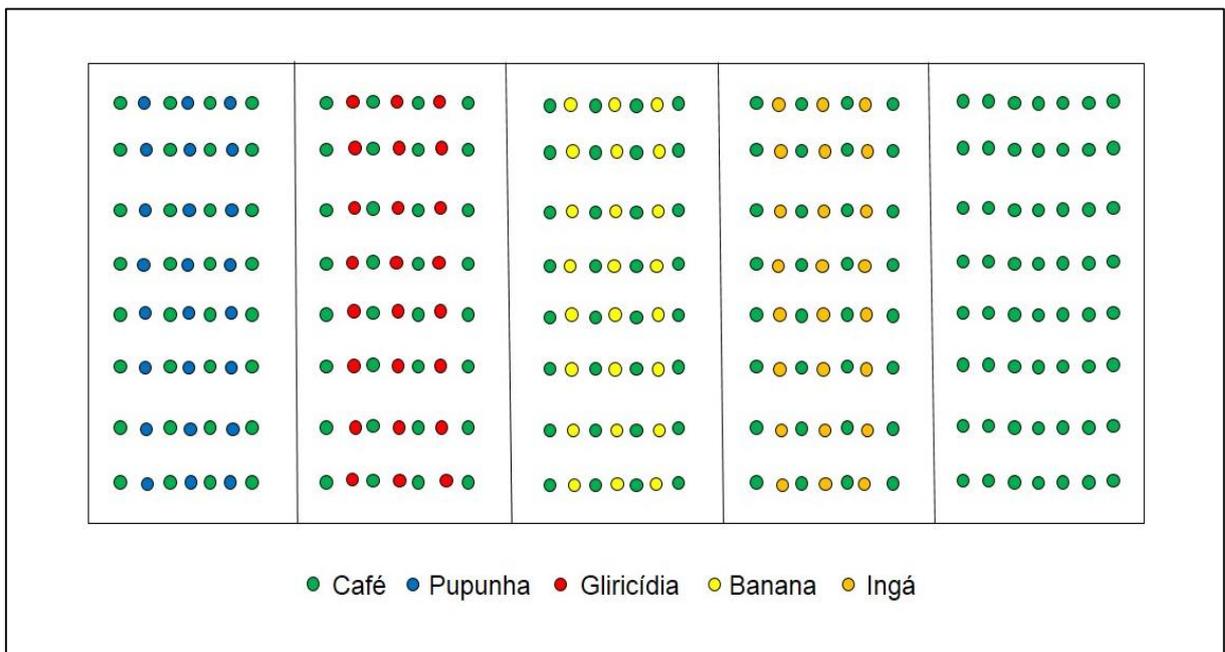


Figura 2 - Croqui dos sistemas de manejo avaliados no estudo

O café foi plantado no espaçamento 3,0 x 1,0 m. As espécies em consórcio foram instaladas nas linhas de plantio do cafeeiro no espaçamento de 3,0 x 6,0 m. Ficando 1/6 das covas ocupadas com as espécies associadas e 5/6 com cafeeiros, em uma proporção de 1:5. As densidades de plantio foram de 3.333 plantas/ha para

o cafeeiro a pleno sol, 2.777 plantas/ha para os cafeeiros consorciados e 556 plantas/ha para as espécies associadas.

Foi realizada irrigação suplementar das plantas apenas no período pós-plantio, desde então a cultura vem sendo manejada em sequeiro. A adubação de plantio foi conduzida com 300 g de superfosfato simples, 300 g de fosfato natural reativo, 200 g de calcário e 10 L/cova de esterco de galinha, seguindo as recomendações de Prezotti et al. (2007). Em cobertura foi aplicado 15 L/planta de esterco de galinha, parcelado em duas vezes (março e agosto). O manejo de plantas espontâneas é feito com roçadas nas entrelinhas e capinas nas linhas de plantio.

### **3.3 Condução das espécies consorciadas**

As podas da gliricídia e da ingazeira, iniciadas em março de 2014, foram conduzidas para formarem a copa acima de 4 m de altura. Na ingazeira, as podas anuais foram nos meses de agosto e março, já na gliricídia foram em agosto, com poda drástica permitindo 100% de luz, e em dezembro (2014) e março (2015) com raleamentos. As bananeiras foram manejadas com quatro pseudocaules por touceira, com “mãe, filha e duas netas”. A condução da pupunheira foi sem desbaste dos perfilhos. O corte dos perfilhos, para a obtenção de palmito, foi realizado quando ocorreu a formação do primeiro nó na base da planta (Yuyama et al., 2005).

### **3.4 Coleta e preparo das amostras de solo**

Amostras de solo foram coletadas no mês de agosto de 2015, após a adição dos resíduos provenientes de podas nas linhas do cafeeiro. Realizaram-se as coletas em quatro pontos escolhidos ao acaso, no centro das camadas 0-10 e 10-20 cm, nas linhas do cafeeiro nos diferentes sistemas de consórcio.

Foram coletadas amostras simples deformadas para caracterização textural e química, sendo analisado cada uma em separado e realizado a média entre elas, e amostras simples indeformadas para realização das avaliações físicas. Após a coleta do solo, as amostras deformadas passaram pelo processo de preparo de terra fina seca ao ar (TFSA) e passadas em peneira de 2 mm, para então serem utilizadas nas análises laboratoriais. Exceto as amostras destinadas à análise estrutural, onde foram destorroadas, secas ao ar e passadas em peneiras de 4 e 2 mm, os agregados retidos

na menor peneira foram selecionados para a análise laboratorial via úmida (Embrapa, 1997).

As análises foram realizadas no Laboratório de Solos e no Laboratório de Matéria Orgânica, ambos pertencentes ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES).

### **3.5 Caracterização química e física do solo**

Foram coletadas amostras simples do solo em cada sistema de manejo para caracterização química e física (Tabelas 1 e 2). O pH em água foi determinado na relação solo: solução de 1:2,5; a acidez potencial (H+Al) foi extraída com  $\text{Ca}(\text{OAc})_2$   $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  tamponado a pH 7,0 e quantificada por titulometria com  $\text{NaOH}$   $0,0606 \text{ mol L}^{-1}$ . Os teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e alumínio (Al) trocáveis foram extraídos com  $\text{KCl}$   $1 \text{ mol L}^{-1}$ , sendo determinados por espectroscopia de absorção atômica. O sódio (Na) e potássio (K) foram extraídos com Mehlich1 e quantificados por fotometria de chama. O fósforo disponível (P) foi extraído com Mehlich1 e quantificado por colorimetria. Todas as análises de rotina foram efetuadas segundo EMBRAPA (1997). A capacidade de troca catiônica efetiva (t) foi calculada pela soma dos cátions (Ca, Mg, Na, K e Al) e a capacidade de troca catiônica potencial (T) calculada pela soma de bases e acidez potencial.

A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta (50 rpm, 16h); a densidade do solo ( $D_s$ ) foi realizada pelo método do anel volumétrico (RUIZ, 2004); a resistência do solo a penetração foi medida com penetrômetro de impacto, conforme Stolf (1991); com os dados de  $D_s$  e  $D_p$ , foi determinada a porosidade total do solo (EMBRAPA, 1997).

Tabela 1 - Valores médios de atributos químicos e granulometria do solo nas profundidades estudadas (0-10 e 10-20 cm) nos diferentes sistemas de manejo, no ano de 2015

| Sistemas        | pH               | P                             | K      | Na    | Ca                              | Mg   | Al   | H+Al | SB   | t    | T           | V           | m    | Areia | Silte | Argila |
|-----------------|------------------|-------------------------------|--------|-------|---------------------------------|------|------|------|------|------|-------------|-------------|------|-------|-------|--------|
|                 | H <sub>2</sub> O | -----mg/dm <sup>3</sup> ----- |        |       | -----cmol/dm <sup>3</sup> ----- |      |      |      |      |      | -----%----- | -----%----- |      |       |       |        |
| <b>0-10 cm</b>  |                  |                               |        |       |                                 |      |      |      |      |      |             |             |      |       |       |        |
| CSol            | 6,60             | 91,09                         | 230,00 | 15,50 | 4,47                            | 0,90 | 0,00 | 3,51 | 6,02 | 6,02 | 9,53        | 63,22       | 0,00 | 52,50 | 5,25  | 42,25  |
| CIng            | 6,74             | 67,03                         | 188,50 | 16,75 | 3,64                            | 0,78 | 0,00 | 3,79 | 4,97 | 4,97 | 8,76        | 56,73       | 0,00 | 51,00 | 16,50 | 32,50  |
| CBan            | 6,58             | 53,48                         | 57,25  | 10,50 | 3,14                            | 0,65 | 0,00 | 2,99 | 3,98 | 3,98 | 6,97        | 57,08       | 0,00 | 58,50 | 4,25  | 37,25  |
| CGli            | 6,34             | 46,53                         | 291,25 | 23,50 | 3,50                            | 0,96 | 0,00 | 0,96 | 5,30 | 5,30 | 6,26        | 84,71       | 0,00 | 36,50 | 9,00  | 54,50  |
| CPup            | 6,74             | 56,24                         | 279,00 | 22,50 | 4,62                            | 1,10 | 0,00 | 1,04 | 6,52 | 6,52 | 7,57        | 86,21       | 0,00 | 27,25 | 14,75 | 58,00  |
| <b>10-20 cm</b> |                  |                               |        |       |                                 |      |      |      |      |      |             |             |      |       |       |        |
| CSol            | 5,95             | 36,94                         | 145,67 | 15,75 | 2,55                            | 0,51 | 0,00 | 3,02 | 3,50 | 3,50 | 6,52        | 53,73       | 0,00 | 56,75 | 6,25  | 37,00  |
| CIng            | 5,81             | 21,69                         | 120,25 | 14,25 | 2,53                            | 0,45 | 0,00 | 4,26 | 3,35 | 3,35 | 7,61        | 43,99       | 0,00 | 65,75 | 1,75  | 32,50  |
| CBan            | 5,61             | 24,51                         | 31,00  | 11,75 | 1,92                            | 0,35 | 0,00 | 3,57 | 2,40 | 2,40 | 5,97        | 40,16       | 0,00 | 61,25 | 5,00  | 33,75  |
| CGli            | 5,67             | 11,49                         | 161,67 | 22,00 | 2,81                            | 0,69 | 0,00 | 0,60 | 4,01 | 4,01 | 4,61        | 87,00       | 0,00 | 40,00 | 8,00  | 52,00  |
| CPup            | 5,56             | 19,34                         | 164,25 | 21,00 | 2,72                            | 0,60 | 0,00 | 0,60 | 3,83 | 3,83 | 4,44        | 86,42       | 0,00 | 26,50 | 23,00 | 50,50  |

CSol: Café conilon a pleno sol; CIng: Café conilon com ingá; CBan: Café conilon com banana; CGli: Café conilon com gliricídia; CPup: Café conilon com pupunha; pH: potencial hidrogeniônico; P: fósforo; K: potássio; Na: sódio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; Al: alumínio; H+Al: acidez potencial; SB: soma de bases; t: capacidade de troca catiônica efetiva; T: capacidade de troca catiônica potencial; V: saturação de bases; m: saturação de alumínio.

Tabela 2 - Valores médios de densidade do solo (Ds) e de partículas (Dp), resistência do solo à penetração (RP) e porosidade total (PT) nos sistemas de manejo estudados, nas diferentes profundidades

| Sistemas | Ds (g/cm <sup>3</sup> ) |       | Dp (g/cm <sup>3</sup> ) |       | RP (Mpa) |       | PT (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ) |       |
|----------|-------------------------|-------|-------------------------|-------|----------|-------|--------------------------------------|-------|
|          | 0-10                    | 10-20 | 0-10                    | 10-20 | 0-10     | 10-20 | 0-10                                 | 10-20 |
| CSol     | 1,53                    | 1,45  | 2,56                    | 2,64  | 1,09     | 1,56  | 0,40                                 | 0,45  |
| CIng     | 1,48                    | 1,43  | 2,57                    | 2,58  | 0,84     | 1,12  | 0,42                                 | 0,45  |
| CBan     | 1,52                    | 1,46  | 2,53                    | 2,62  | 0,97     | 1,51  | 0,40                                 | 0,44  |
| CGli     | 1,35                    | 1,32  | 2,58                    | 2,59  | 0,79     | 1,16  | 0,48                                 | 0,49  |
| CPup     | 1,20                    | 1,24  | 2,52                    | 2,56  | 0,73     | 0,99  | 0,53                                 | 0,51  |

CSol: Café conilon a pleno sol; CIng: Café conilon com ingá; CBan: Café conilon com banana; CGli: Café conilon com gliricídia; CPup: Café conilon com pupunha.

### 3.6 Determinações experimentais

#### 3.6.1 Carbono e nitrogênio orgânico do solo

As amostras de TFSA foram submetidas à trituração em moinho de bola e passadas em peneira de 0,210 mm. Foram determinados os conteúdos de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT) e relação carbono:nitrogênio (C/N) nas camadas 0-10 e 10-20 cm.

O COT foi quantificado por oxidação da matéria orgânica via úmida com K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 0,167 mol L<sup>-1</sup> em meio sulfúrico com aquecimento externo. Para o cálculo do COT foi considerado o volume da solução de Sal de Mohr gasto para titular a amostra, solução controle aquecida e não aquecida. O NT foi quantificado por meio de digestão sulfúrica seguida de digestão Kjeldahl (MENDONÇA e MATOS, 2005). A relação C/N foi obtida pela razão entre os conteúdos de COT e N total.

Para o cálculo do estoque de C (EST<sub>C</sub>) e N (EST<sub>N</sub>) em Mg ha<sup>-1</sup> em cada profundidade (0-10 e 10-20 cm), utilizou-se a seguinte equação: conteúdo de COT ou NT (dag kg<sup>-1</sup>) x Ds x e; onde Ds = densidade do solo (g/cm<sup>3</sup>); e = espessura da camada de solo (cm), somaram-se os estoques das profundidades (0-10 e 10-20 cm) (MAIA et al., 2007).

### 3.6.2 Emissões de CO<sub>2</sub> (E CO<sub>2</sub>)

Foram realizadas amostragens de emissão de CO<sub>2</sub> do solo durante três meses (agosto, setembro e novembro de 2015). Em cada parcela experimental foram realizadas, por mês, quatro medidas de emissão de CO<sub>2</sub> nas linhas de café, utilizando um analisador portátil modelo LI-8100 – (LiCor, EUA) acoplado a uma câmara dinâmica que quantifica a concentração de CO<sub>2</sub> em seu interior através da espectrometria de absorção óptica na região espectral do infravermelho. A câmara de solo foi instalada sobre uma base de PVC com 0,10 m de diâmetro, previamente inseridas no solo. Em cada ponto foram realizadas medidas com duração média de 1,5 minutos cada e a concentração de CO<sub>2</sub> no interior da câmara foi obtida a cada três segundos. A cada emissão de CO<sub>2</sub> foi tomada a temperatura e umidade do solo com sensor específico, modelo ProCheck, para a camada de 0-10 cm.

### 3.6.3 Carbono da biomassa microbiana

Na profundidade de 0-10 cm, foram coletadas amostras deformadas de solo para determinação do Carbono da Biomassa Microbiana (C biomassa microbiana) e determinação do quociente metabólico (Qmet). As amostras permaneceram acondicionadas em geladeira até a realização da análise. A extração e determinação do C da biomassa microbiana foram realizadas pelo método da irradiação-extração descrita segundo MENDONÇA e MATOS (2005) adaptado de ISLAM e WEIL (1998), que utiliza energia eletromagnética (micro-ondas), causando efeito na transferência de energia e temperatura, para levar ao rompimento celular e liberação de compostos intracelulares. A solução extratora utilizada foi de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. O quociente metabólico (Qmet) foi calculado pela relação entre a emissão de CO<sub>2</sub> e o C da biomassa microbiana.

### 3.6.4 Estabilidade de agregados

Para a determinação da distribuição das classes de agregados, foi utilizado o tamisamento via úmida, com o aparelho preconizado por Yoder (1936), que foi calibrado para funcionar durante 15 min, com 26 oscilações por min, num intervalo espacial de 5 cm de amplitude entre o ponto máximo e mínimo. A umidade residual foi determinada utilizando-se uma amostra adicional. Cada amostra foi colocada em placas de Petri e umedecida com água destilada, com auxílio de um atomizador manual, durante 30 min. As amostras foram transferidas para o aparelho de Yoder,

adaptado com peneiras de malhas de 2,0, 1,0, 0,5, 0,25 e 0,105 mm de abertura. Após o término das oscilações, o conteúdo retido em cada uma das peneiras foi secado em estufa a 105°C, durante 24 horas, e em seguida foi pesado. A classe menor do que 0,105 mm foi calculada por diferença, tomando-se o peso inicial menos a umidade residual e o peso das demais classes como base. Todos esses procedimentos foram realizados conforme Embrapa (1997).

### 3.7 Análise dos dados

A análise estatística foi realizada no software SisVar®, em que, foram avaliados contrastes ortogonais comparando os sistemas de manejo. Compararam-se: Café a pleno sol versus todos os consórcios agroflorestais (CSol vs. CIng + CBan + CGli + CPup); Café a pleno sol versus consórcios com leguminosas (CSol vs. CIng + CGli); Café a pleno sol versus café com pupunha (CSol vs. CPup); e Café com pupunha versus consórcios com leguminosas (CPup vs. CIng + CGli) (Tabela 3). O nível de significância foi de 10%.

Tabela 3 - Contrastes ortogonais utilizados na comparação dos sistemas com Café a pleno sol (CSol), Café com ingá (CIng), Café com banana (CBan), Café com gliricídia (CGli) e Café com Pupunha (CPup)

| <b>Sistemas de manejo</b> | <b>C1</b> | <b>C2</b> | <b>C3</b> | <b>C4</b> |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| CSol                      | -4        | -2        | -1        | 0         |
| CIng                      | 1         | 1         | 0         | -1        |
| CBan                      | 1         | 0         | 0         | 0         |
| CGli                      | 1         | 1         | 0         | -1        |
| CPup                      | 1         | 0         | 1         | 2         |

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Carbono e nitrogênio orgânico do solo

A Figura 3 apresenta os valores médios de COT, NT e relação C/N para os diferentes consórcios agroflorestais. Os contrastes estão representados na Tabela 4. Os maiores valores de COT e NT foram encontrados na profundidade 0-10 cm. Os teores tendem a diminuir com o aumento da profundidade no perfil do solo para todos os consórcios estudados. Até a profundidade de 20 cm o sistema CPup apresentou valores superiores e significativos ( $p < 0,10$ ) para COT quando comparado ao sistema CSol e aos consórcios com leguminosas (CIng + CGli). Na profundidade 10-20 cm, os consórcios agroflorestais (CIng + CBan + CGli + CPup) apresentaram valores superiores e significativos para COT quando comparados com o CSol.

O CPup e o CGli apresentaram maiores valores de COT e NT até a profundidade de 20 cm quando comparados aos demais sistemas, já o CBan apresentou os menores valores, devido exportação de NT via retirada de frutos. Para NT, o CGli apresentou maior teor na profundidade de 0-10 cm e CPup apresentou valores superiores e significativos ( $p < 0,10$ ) na profundidade de 10-20 cm quando comparado ao sistema CSol e aos consórcios com leguminosas (CIng + CGli).

No CGli ocorreu a menor variação para COT (10,96 a 12,36 g/kg) ao longo do perfil amostrado. Esse padrão associado a tendência de NT diminuir com a profundidade, aumentaram a relação C/N em profundidade no CGli. No entanto, para os demais sistemas a relação C/N diminuiu com o aumento da profundidade do solo.

O solo sob CGli, por apresentar a menor relação C/N, pode estar favorecendo a decomposição da matéria orgânica e a liberação de nutrientes.

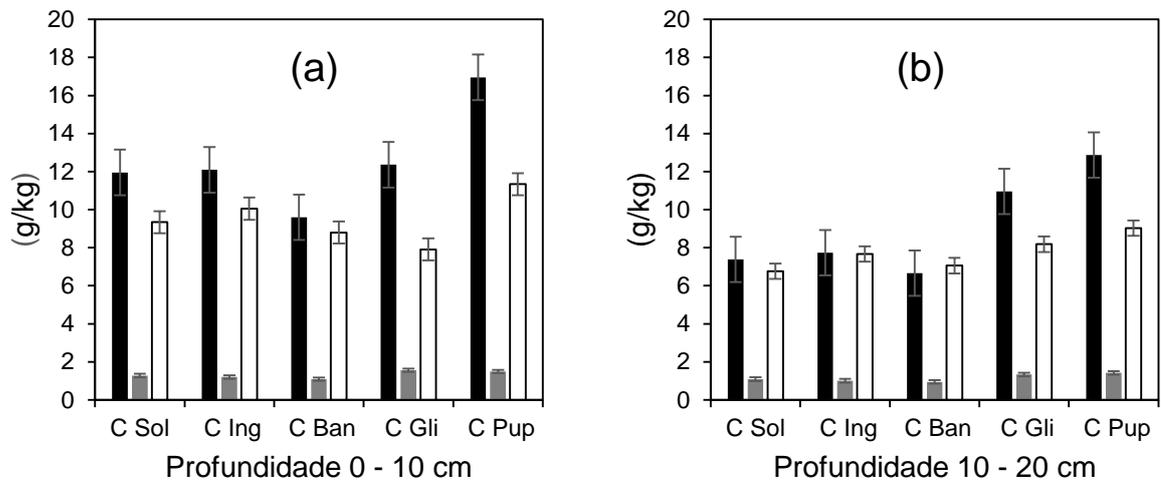


Figura 3 - Valores médios de COT (■), NT (■) e relação C/N (valor adimensional) (□) nas profundidades de 0 - 10 cm (a) e 10 - 20 cm (b) para diferentes consórcios agroflorestais. As barras verticais indicam o erro padrão das médias amostrais

Tabela 4 - Valores das probabilidades obtidas comparando contrastes ortogonais para as variáveis C orgânico total, N total e relação C/N

| Contrastes      | COT     | NT      | C/N     |
|-----------------|---------|---------|---------|
| <b>0-10 cm</b>  |         |         |         |
| C1              | 0,504   | 0,666   | 0,678   |
| C2              | 0,834   | 0,488   | 0,989   |
| C3              | 0,004** | 0,222   | 0,163   |
| C4              | 0,002** | 0,458   | 0,108** |
| <b>10-20 cm</b> |         |         |         |
| C1              | 0,105** | 0,368   | 0,170   |
| C2              | 0,176   | 0,441   | 0,210   |
| C3              | 0,004** | 0,013** | 0,074** |
| C4              | 0,022** | 0,026** | 0,379   |

C1: Café a pleno sol (CSol) vs. Consórcios agroflorestais (CIng + CBan + CGli + CPup); C2: Café a pleno sol (CSol) vs. Café com leguminosas (CIng + CGli); C3: Café a pleno sol (CSol) vs. Café com pupunha (CPup); C4: Café com pupunha (CPup) vs. Café com leguminosas (CIng + CGli); \*\*significativo em 10%.

Os estoques de C e N nos diferentes sistemas de manejo estão representados na Tabela 5. No CPup foram verificados os maiores estoques de C e N (34,23 e 3,47 Mgha<sup>-1</sup>, respectivamente) enquanto o CBan apresentou os menores valores (19,36 e 2,42 Mgha<sup>-1</sup>, respectivamente). Os estoques de C e N no CPup são superiores e significativamente diferentes do CSol e dos consórcios com leguminosas (CIng + CGli) ( $p < 0,10$ ). Nesse contexto, o CPup pode ter contribuído para aumentar os estoques de C através da maior cobertura vegetal em relação a CSol. Por outro lado, em relação aos CIng e CGli, provavelmente, por apresentar um porte menor e estar mais próximo ao solo, contribuindo com maior deposição de matéria orgânica ao longo do tempo.

Tabela 5 - Valores médios do estoque total de C (ESTC) e N (ESTN), em Mgha<sup>-1</sup> no perfil amostrado (0-20 cm) e valores das probabilidades obtidas comparando contrastes ortogonais (C1, C2, C3 e C4)

|  | CSol  | CIng  | CBan  | CGli  | CPup  | C1    | C2    | C3      | C4      |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|---------|
| <b>EST<sub>C</sub></b><br><b>(Mg/ha)</b> | 23,01 | 23,59 | 19,36 | 27,75 | 34,23 | 0,203 | 0,331 | 0,002** | 0,006** |
| <b>EST<sub>N</sub></b><br><b>(Mg/ha)</b> | 2,82  | 2,63  | 2,42  | 3,45  | 3,47  | 0,452 | 0,386 | 0,036** | 0,097** |

C1: Café a pleno sol (CSol) vs. Consórcios agroflorestais (CIng + CBan + CGli + CPup); C2: Café a pleno sol (CSol) vs. Café com leguminosas (CIng + CGli); C3: Café a pleno sol (CSol) vs. Café com pupunha (CPup); C4: Café com pupunha (CPup) vs. Café com leguminosas (CIng + CGli); \*\*significativo em 10%.

#### 4.2 Emissões de C via CO<sub>2</sub> (C-CO<sub>2</sub>)

Os valores médios da emissão de C-CO<sub>2</sub>, a temperatura e umidade do solo nos diferentes sistemas de manejo, na camada superficial do solo, nas três épocas estudadas, estão apresentados na Figura 4. Os contrastes estão apresentados na Tabela 6. O C1 evidenciou diferenças significativas ( $p < 0,10$ ) para os meses de agosto e setembro, em que CSol apresentou valores superiores para emissão de C via CO<sub>2</sub>, quando comparado com os consórcios agroflorestais (CIng + CBan + CGli + CPup). No CIng foram observados menores potenciais para perda de C via CO<sub>2</sub> em todas as épocas estudadas. Para o mês de agosto, o C2 e o C4 mostraram que os consórcios com leguminosas

(CIng + CGli) perderam menos ( $p < 0,10$ ) C via  $\text{CO}_2$  quando comparado ao sistema de café a pleno sol (CSol) e ao consórcio com pupunha (CPup), respectivamente.

CSol e CPup que apresentam maiores médias de temperatura do solo também apresentaram as maiores médias de emissão de  $\text{CO}_2$ , em todas as épocas avaliadas.

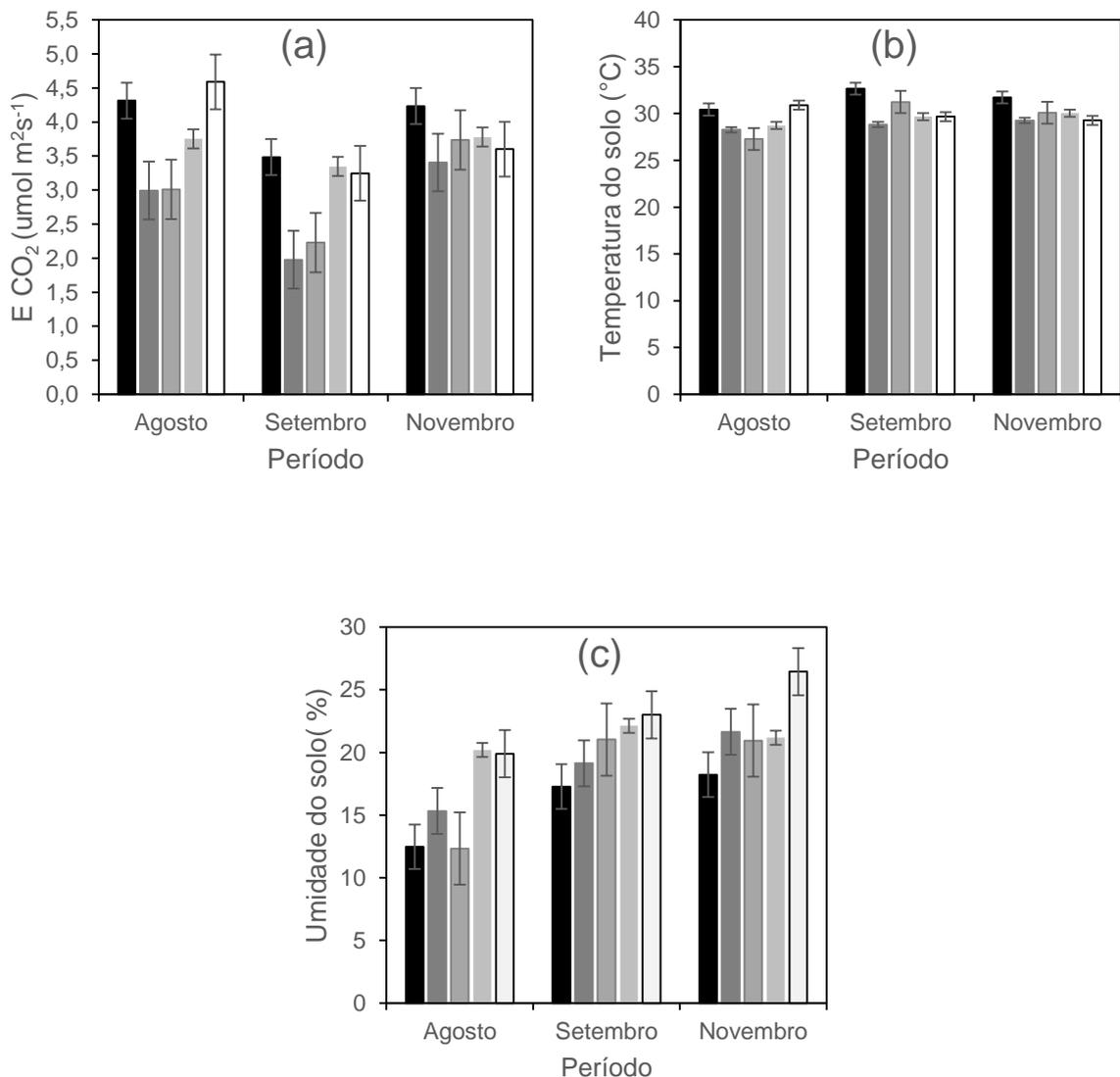


Figura 4 - Valores médios da emissão de  $\text{CO}_2$  (a), temperatura do solo (b) e umidade do solo (c) nos sistemas de manejo na profundidade de 0-5 cm nos três períodos estudados. As barras verticais indicam o erro padrão das médias amostrais. (■) CSol: Café conilon a pleno sol; (■) CIng: Café com Ingá; (■) CBan: Café com Banana; (■) CGli: Café com Gliricídia; (□) CPup: Café com Pupunha

Tabela 6 - Valores das probabilidades obtidas comparando contrastes ortogonais, para as variáveis emissão de CO<sub>2</sub>, temperatura e umidade do solo.

| Contrastes           | Emissão C-CO <sub>2</sub> | Temperatura do solo | Umidade do solo |
|----------------------|---------------------------|---------------------|-----------------|
| <b>Agosto 2015</b>   |                           |                     |                 |
| C1                   | 0,065**                   | 0,009**             | 0,015**         |
| C2                   | 0,033**                   | 0,006**             | 0,007**         |
| C3                   | 0,566                     | 0,512               | 0,002**         |
| C4                   | 0,008**                   | 0,001**             | 0,226           |
| <b>Setembro 2015</b> |                           |                     |                 |
| C1                   | 0,098**                   | 0,007**             | 0,000**         |
| C2                   | 0,112                     | 0,003**             | 0,001**         |
| C3                   | 0,676                     | 0,019**             | 0,000**         |
| C4                   | 0,251                     | 0,667               | 0,191           |
| <b>Novembro 2015</b> |                           |                     |                 |
| C1                   | 0,422                     | 0,000**             | 0,009**         |
| C2                   | 0,435                     | 0,000**             | 0,062**         |
| C3                   | 0,505                     | 0,000**             | 0,001**         |
| C4                   | 0,990                     | 0,146               | 0,006**         |

C1: Café a pleno sol (CSol) vs. Consórcios agroflorestais (CIng + CBan + CGli + CPup); C2: Café a pleno sol (CSol) vs. Café com leguminosas (CIng + CGli); C3: Café a pleno sol (CSol) vs. Café com pupunha (CPup); C4: Café com pupunha (CPup) vs. Café com leguminosas (CIng + CGli); \*\*significativo em 10%.

### 4.3 Carbono da biomassa microbiana

Valores médios do C biomassa microbiana e quociente metabólico (Qmet) nos sistemas de manejo no mês de agosto são verificados na Figura 5. Os contrastes estão apresentados na Tabela 7. Os valores de umidade do solo mostram que a cobertura do solo favoreceu a maior retenção de água no solo para CGli (18,37%), CPup (17,11%), CBan (12,24%) e CIng (12,18%) em relação a CSol (10,76%). As maiores médias para C biomassa microbiana foram apresentadas no CGli (520,91 mg/kg), CIng (504,55 mg/kg) e CPup (444,55 mg/kg). A quantidade de CO<sub>2</sub> emitida

por unidade de biomassa expressada pelo Qmet, indica que CSol apresenta um nível maior de perturbação quando comparado com os consórcios agroflorestais.

O C1 e C2 mostram que o CSol possui valor superior e significativo ( $p < 0,10$ ) de Qmet em relação aos consórcios agroflorestais (CIng + CBan + CGli + CPup) e em relação as leguminosas (CIng + CGli) no período avaliado.

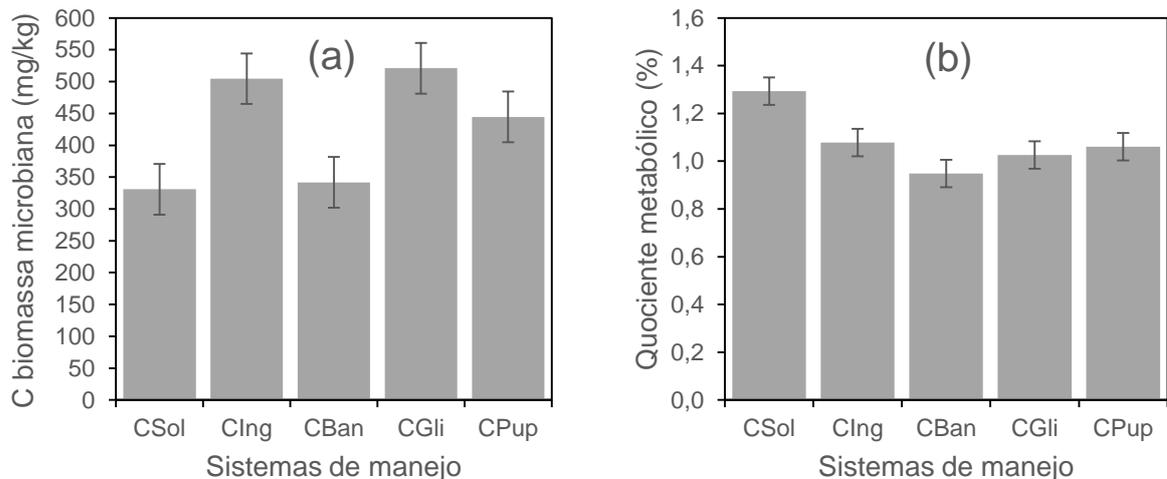


Figura 5 - Valores médios de C biomassa microbiana (a) e quociente metabólico (b) nos sistemas de manejo na profundidade de 0-10 cm. As barras verticais indicam o erro padrão das médias amostrais

Tabela 7 - Valores das probabilidades obtidas comparando contrastes ortogonais para as variáveis umidade do solo, C biomassa microbiana e quociente metabólico (Qmet)

| Contrastes | C Biomassa microbiana | Qmet    |
|------------|-----------------------|---------|
| C1         | 0,001**               | 0,002** |
| C2         | 0,001**               | 0,002** |
| C3         | 0,012**               | 0,004** |
| C4         | 0,065**               | 0,150   |

C1: Café a pleno sol (CSol) vs. Consórcios agroflorestais (CIng + CBan + CGli + CPup); C2: Café a pleno sol (CSol) vs. Café com leguminosas (CIng + CGli); C3: Café a pleno sol (CSol) vs. Café com pupunha (CPup); C4: Café com pupunha (CPup) vs. Café com leguminosas (CIng + CGli); \*\*significativo em 10%.

#### 4.4 Estabilidade de agregados

A Tabela 8 apresenta os valores dos diâmetros médios ponderados (DMP) e geométricos (DMG) e os contrastes ortogonais para os diferentes sistemas de manejo, nas duas profundidades estudadas. Os maiores valores médios de DMP e DMG foram obtidos na profundidade 0-10 cm, em que, tendem a diminuir com o aumento da profundidade no perfil do solo para todos os sistemas estudados. Neste experimento os valores dos índices de agregação do solo seguiram a ordem decrescente: CPup > CGli > CIng > CBan > CSol.

Os sistemas agroflorestais (CIng + CBan + CGli + CPup) apresentaram diâmetros maiores e significativos ( $p < 0,10$ ) quando comparados ao CSol na profundidade 0-10 cm, para DMP, e na profundidade 10-20 cm, para DMG (Tabela 8, C1). O CPup evidenciou maiores e significativos ( $p < 0,10$ ) diâmetros médios (DMG e DMP) em relação ao CSol nas duas profundidades estudadas (Tabela 8, C3), apresentando o mesmo comportamento quando relacionado aos sistemas com leguminosas (CIng + CGli) na profundidade 10-20 cm (Tabela 8, C4).

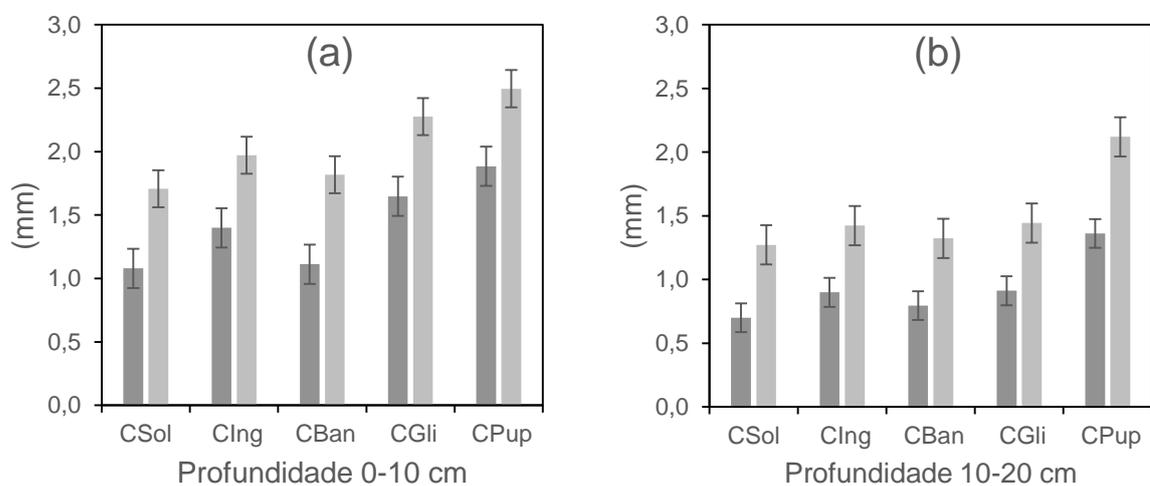


Figura 6 - Valores médios de DMG (■) e DMP (□) nas profundidades de 0 - 10 cm (a) e 10 - 20 cm (b) para diferentes consórcios agroflorestais. As barras verticais indicam o erro padrão das médias amostrais

Tabela 8 - Valores das probabilidades obtidas comparando contrastes ortogonais, para as variáveis Diâmetro médio ponderado (DMP) e Diâmetro médio geométrico (DMG)

| <b>Contrastes</b> | <b>DMP</b> | <b>DMG</b> |
|-------------------|------------|------------|
| <b>0-10 cm</b>    |            |            |
| C1                | 0,102**    | 0,114      |
| C2                | 0,147      | 0,134      |
| C3                | 0,024**    | 0,026**    |
| C4                | 0,192      | 0,225      |
| <b>10-20 cm</b>   |            |            |
| C1                | 0,111      | 0,030**    |
| C2                | 0,427      | 0,144      |
| C3                | 0,002**    | 0,001**    |
| C4                | 0,003**    | 0,004**    |

C1: Café a pleno sol (CSol) vs. Consórcios agroflorestais (CIng + CBan + CGli + CPup); C2: Café a pleno sol (CSol) vs. Café com leguminosas (CIng + CGli); C3: Café a pleno sol (CSol) vs. Café com pupunha (CPup); C4: Café com pupunha (CPup) vs. Café com leguminosas (CIng + CGli); \*\*significativo em 10%.

## 5 DISCUSSÃO

A deposição de material orgânico no solo, proveniente de resíduos vegetais à medida que vão sendo humificados, associado ao manejo do solo, influenciam na quantidade, qualidade e distribuição de carbono na superfície do solo (MAFRA et al., 2008; PEZARICO et al, 2013). Maiores teores de COT e NT encontrados na camada superficial de 0-10 cm, demonstram a maior influência dos resíduos vegetais deixados em superfície pelos diferentes sistemas de manejo.

Oliveira Junior et al. (2008) após estudar diferentes sistemas de manejo em cafezais, observou tendência de redução dos teores de COT com aumento da profundidade e Maia et al. (2008), encontraram maiores teores de NT na camada de 0–6 cm, diminuindo com o aumento da profundidade do solo nos agrossistemas estudados. Maiores teores de COT e NT nas camadas superficiais estão relacionados ao maior teor de matéria orgânica na superfície que contribui para maior proteção do solo à processos erosivos.

Os valores superiores de COT para CPup em relação aos evidenciados nos consórcios CGli e CIng e os baixos valores em CBan, podem estar relacionados as diferenças na textura do solo (Tabela 1). Silva e Mendonça (2007), afirmam que sob condições ambientais semelhantes, solos com textura mais argilosa geralmente apresentam maior teor de C, estando essa influência relacionada a capacidade da MOS em interagir com a fração mineral proporcionando proteção física e coloidal da MOS à ação microbiana.

Os baixos teores de NT encontrados para CIng, podem estar relacionados ao tempo de adoção do experimento. Estudo realizado por Carneiro et al. (2008) observou efeito de leguminosas florestais no NT do solo em áreas mineradas, porém este efeito foi observado somente após 10 anos. Pode estar relacionado também a questão da baixa taxa de decomposição dos resíduos de ingá em relação aos outros materiais devido ao maior teor de polifenóis e lignina dos resíduos de ingá.

O CSol apresentou maiores valores de emissão de C-CO<sub>2</sub> em relação aos consórcios agroflorestais e aos consórcios com leguminosas, isto pode ser explicado ao fato do sistema de café a pleno sol, apesar de possuir menor C biomassa microbiana, apresentaram maior atividade respiratória devido maior temperatura do solo apresentando desequilíbrio e liberando maiores teores de C para a atmosfera. Este comportamento é ampliado pelo menor depósito de resíduos vegetais, sendo

reflexo do baixo valor do COT observado nesse sistema. Matias et al (2009), afirmam que o maior depósito de cobertura vegetal favorece o maior valor pra C biomassa microbiana, principalmente em superfície, sendo reflexo do aumento de COT.

Nos meses de agosto e setembro, meses de baixa pluviosidade na região, o sistema CSol apresentou temperaturas do solo superiores e significativas ( $p < 0,10$ ) quando comparado a todos os consórcios agroflorestais.

Os resultados indicam que com as elevações na temperatura do solo também ocorreram maiores e significativos ( $p < 0,10$ ) fluxos de  $\text{CO}_2$ , porém a umidade do solo apresentou menores valores. Esse resultado é mais expressivo no sistema CSol. Moitinho et al., (2013) e Schwendenmann et al. (2003), identificaram que o principal fator para explicar as variações temporais no fluxo de  $\text{CO}_2$  foi o conteúdo de água presente no solo, onde o fluxo de  $\text{CO}_2$  diminuiu nos períodos em que o solo apresentava elevada umidade, provavelmente devido à menor difusão de gás e taxa de produção de  $\text{CO}_2$ . Linn e Doran (1984), em contrapartida, observaram que as emissões de  $\text{CO}_2$  e  $\text{N}_2\text{O}$  foram intensificadas em condições de umidade do solo mais elevada. Flutuações na temperatura do solo também podem explicar as variações nas taxas de respiração do solo (DUIKER & LAL, 2000). Iamaguti, et al. (2015) observaram relação direta entre o fluxo de  $\text{CO}_2$  e a temperatura do solo, uma vez que, dependendo do sistema de preparo, aumenta-se a taxa de emissão de  $\text{CO}_2$  do solo devido maior área de contato do solo com os resíduos e ao aumento na temperatura do solo. Diante do exposto, pode-se dizer que não há um determinante único no processo de emissão de  $\text{CO}_2$  do solo; entretanto, a intensidade do fluxo dependerá das práticas adotadas de manejos do solo e da cultura (LAL, 2004).

Os resultados obtidos mostram que no período estudado, os consórcios agroflorestais tem a capacidade de emitir menos C- $\text{CO}_2$  em relação ao CSol, estando relacionado à maior capacidade dos consórcios em armazenar água e reduzir a temperatura do solo, provavelmente devido a maior adição de resíduos vegetais no solo, bem como pelo microclima ameno devido a presença arbórea. Os consórcios com leguminosas emitiram menor C- $\text{CO}_2$  quando comparados ao CPup (Tabela 6), possivelmente devido ao menor depósito de material vegetal e menor sombreamento do solo no CPup.

O C da biomassa microbiana dos consórcios agroflorestais apresentou maiores valores em relação a CSol (Tabela 7), indicando que os nutrientes ficam imobilizados temporariamente, possibilitando a fixação dos mesmos nesse compartimento da

matéria orgânica, o que resulta em menores perdas de nutrientes no sistema solo-planta (ROSCOE et al., 2006). Este resultado indica que a incorporação de resíduos vegetais, a manutenção da serapilheira, a diversificação de espécies e o não revolvimento do solo influenciam de forma positiva na biomassa microbiana, inclusive por favorecer a manutenção da umidade do solo (GLAESER et al., 2010). Cruz et al. (2013), observaram influência significativa entre o C da biomassa microbiana e o teor de umidade, evidenciando que quanto maior o teor de umidade maior será a biomassa microbiana do solo. Giácomo et al. (2005), mostraram que o teor de umidade influenciou de forma significativa o aumento do C da biomassa microbiana em diferentes coberturas florestais.

O quociente metabólico ( $Q_{met}$ ) é a taxa de respiração por unidade de biomassa microbiana e indica a eficiência dos microrganismos no processo de mineralização da matéria orgânica (THOMAZINI, 2014). Os consórcios agroflorestais apresentaram as menores taxas de  $Q_{met}$ , indicando maior estabilidade dos agroecossistemas e maior a proporção de carbono incorporada aos tecidos microbianos (TÓTOLA e CHAER, 2002).

O CSol apresentou os maiores valores de  $Q_{met}$  ( $p < 0,10$ ) (Figura 5), indicando maior perda da matéria orgânica via emissão de  $C-CO_2$ ; que refletem em alta demanda de C pelos microrganismos, se o sistema não pode repor o C que é perdido via respiração, então ocorrerá perda da biomassa microbiana (ANDERSON e DOMSCH, 2010). Assim, uma proporção de C da biomassa está sendo perdida via  $CO_2$  e não incorporada ao solo.

De acordo com Zalamena et al. (2008), os maiores valores de DMP e DMG caracterizam um solo mais agregado. Nos consórcios agroflorestais, devido a presença de grande quantidade de restos vegetais em diferentes estágios de decomposição e pela maior atividade microbiana (Figura 5) em relação ao CSol, apresentaram maior estabilidade dos agregados. Estes resultados evidenciam o efeito benéfico dos consórcios agroflorestais em proporcionar maiores teores de C ao solo, que atua como agente cimentante entre as partículas e agregados do solo, promovendo a formação de agregados estáveis (LOSS, 2009).

Moraes (2009) afirma que em cultivos com maior diversidade vegetal ocorre maior desenvolvimento do sistema radicular e, conseqüentemente, maior exploração do solo e liberação de exsudatos. Reichert et al. (2003) relataram que plantas de coberturas afetam diretamente a estabilidade estrutural através da ação do sistema

radicular nos agregados superficiais e indiretamente por meio do aumento da matéria orgânica do solo. Nesse sentido, tem-se um ambiente favorável à agregação e formação de agregados de maior diâmetro.

Menores valores observados no CSol, tanto para DMP quanto para DMG, evidencia a influência do sistema convencional na redução da estabilidade de agregados do solo. O sistema de café a pleno sol com menor aporte orgânico comparado aos consórcios agroflorestais, reduz a quantidade de matéria verde que poderia se decompor e se transformar em matéria orgânica, acarretando na redução dos parâmetros de estabilidade (RIBEIRO, 2015).

Os valores de DMP e DMG dos agregados diminuíram da camada 0-10 cm para a de 10-20 cm do solo, tais valores podem ser associados com a diminuição dos teores de COT à medida que a profundidade aumentou. Corroborando com o que foi observado por Lima et al. (2003) e por Luciano et al. (2010), estudando a influência de diferentes sistemas de manejo nos atributos físicos do solo.

Os índices de estabilidade (DMG e DMP) via úmida indicam a resistência do solo ao impacto das gotas da chuva (RUIZ, 2004), quanto maior for o agregado, maior será o DMP e os espaços porosos entre agregados, aumentando a infiltração e diminuindo a erosão. Diante do exposto e dos resultados obtidos para DMG e DMP, o CSol é o sistema com maior probabilidade de sofrer erosão resultante da ação da chuva. Observou-se que os índices de agregação foram maiores nos consórcios com arbóreas e/ou frutíferas, indicando que a maior quantidade de árvores no sistema fornecerá maior proteção da área e, conseqüentemente, maior agregação.

Os consórcios agroflorestais apresentaram menor densidade do solo, maior porosidade, menor resistência à penetração e maior estabilidade de agregados quando comparados ao CSol (Tabelas 2 e 8). Os melhores valores para os consórcios agroflorestais seguem a ordem: CPup > CGli > CIng > CBan. Estes resultados corroboram com os obtidos por Carvalho et al., (2004), que verificaram resultados semelhantes para as medidas de propriedades físicas citadas, comparando solo sob sistema agroflorestal e solo sob sistema de café a pleno sol.

A matéria orgânica é um dos principais agentes de variação do tamanho, formação e estabilidade de agregados e a diminuição no seu conteúdo pode ser uma das principais causas da deterioração da estrutura do solo (CASTRO FILHO et al., 1998; WENDLING et al., 2005), favorecendo o menor diâmetro dos agregados, podendo favorecer a formação de camadas compactadas, que reduz a atividade

biológica e a macroporosidade no perfil do solo, aumentando a densidade, refletindo em maior resistência do solo à penetração (JIMENEZ et al., 2008).

## 6 CONCLUSÃO

Os sistemas de café consorciados com espécies arbóreas e/ou frutíferas são sistemas que estão em transição, apresentando acúmulos superiores de C na camada superficial do solo, provenientes do aporte contínuo de resíduos vegetais. Estes sistemas apresentam um metabolismo mais eficiente do C indicado pelos menores valores do quociente metabólico. Sendo assim, mais C é incorporado ao solo pela biomassa microbiana e menos C é perdido via CO<sub>2</sub> nos processos de respiração do solo. Os melhores valores dos atributos dos solos para os consórcios agroflorestais seguem a ordem decrescente: CPup > CGli > CIng > CBan. A presença de espécies vegetais arbóreas no sistema também contribui na maior proteção do solo ao impacto das gotas da chuva, acarretando em agregados maiores e mais estáveis. Ao contrário, o sistema de café a pleno sol proporciona um menor aporte de material orgânico ao solo.

Diante do exposto, a arborização em cafezais é uma estratégia de manejo que contribui para a estabilidade de um agroecossistema sustentável. Entretanto, torna-se necessário a continuidade de estudos nesse experimento para observar a influência da arborização a longo prazo.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMADO, T.J.C. et al. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 189-197, 2001.
- ANDERSON, T. e DOMSCH, K.H. Soil Biology & Biochemistry Soil microbial biomass: The eco-physiological approach. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 42, p. 2039-2043, 2010.
- ARAÚJO, A.V. et al. Microclima e crescimento vegetativo do café conilon consorciado com bananeiras. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 2, p. 214-222, 2015.
- BARRETO, A.C. et al. Fracionamento físico e químico do carbono orgânico total em um solo de mata submetido a diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1471-1478, 2008.
- BAYER, C. et al. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 39, p. 677-683, 2004.
- BRASIL. Ministério de Ciência e Tecnologia. **Inventário brasileiro das emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa**. 2009. Disponível em: <[http://www.cntdespoluir.org.br/Documents/PDFs/Invent%C3%A1rio%20brasileiro%20de%20emiss%C3%B5es%20de%20GHG%20\(2009\)%20-%20Preliminar.pdf](http://www.cntdespoluir.org.br/Documents/PDFs/Invent%C3%A1rio%20brasileiro%20de%20emiss%C3%B5es%20de%20GHG%20(2009)%20-%20Preliminar.pdf)>. Acesso em: 22 out. 2015.
- BRINATE, S.V.B. et al. **Avaliação dos atributos físicos de solos sob cultivo de café na microrregião do Caparaó-ES**. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA JÚNIOR-II INICJR, 2008, São José dos Campos. Resumos expandidos. São José dos Campos, p. 12-16, 2008.
- BRUCE, J.P. et al. Carbon sequestration in soils. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 5, p. 382-389, 1999.
- CARNEIRO, M.A.C. et al. Carbono orgânico, nitrogênio total, biomassa e atividade microbiana do solo em duas cronosseqüências de reabilitação após a mineração de bauxita. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.32, p. 621-632, 2008.
- CARVALHO, R.; GOEDERT, W.J.; ARMANDO, M.S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1153-1155, 2004.
- CEDAGRO. **Levantamento de áreas agrícolas degradadas no Estado do Espírito Santo**. Vitória, ES. 62p. 2012.
- CHAVEZ, L.F. **Emissões de CO<sub>2</sub> do solo sob preparo convencional e plantio direto em Latossolo Vermelho do Rio Grande do Sul**. 2008. 80p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 527-538, 1998.

CERRI, C.C. et al. Emissões e remoções de dióxido de carbono pelos solos por mudanças de uso da terra e calagem. **Relatórios de referência do Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa**. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 41p, 2001.

CORAZZA, E.J. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p.425-432, 1999.

CRUZ, N.N.L. et al. Carbono e Nitrogênio da biomassa microbiana e do solo em área degradada revegetada com tamboril no sul do Piauí. In: XXXIII CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2013, Uberlândia. Resumos expandido, 2013. DUIKER, S.W. e LAL, R. Carbon budget study using CO<sub>2</sub> flux measurements from a no till system in central Ohio. **Soil and Tillage Research**, v. 54, p. 21-30, 2000.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (CNPS). 2 ed. rev. atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPS, 212p, 1997.

FELLER, C.; BEARE, M.H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, v. 79, p. 69-116, 1997.

FERNANDES, D.R. Manejo do cafezal. In: **Cultura do café**; fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa do Potássio e do Fosfato, 1986.

FERNANDES, F.A. e FERNANDES, A.H.B.M. **Cálculo dos estoques de carbono do solo sob diferentes condições de manejo**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2009. 4p. (Embrapa Pantanal. Comunicado Técnico, 69). Disponível em: <[http://www.cpap.embrapa.br/publicacoes/download.php?arq\\_pdf=COT69](http://www.cpap.embrapa.br/publicacoes/download.php?arq_pdf=COT69)>. Acesso em: 27 set. 2015.

FERRÃO, R.G. et al. **Café Conilon**. Vitória: Incaper, 702p, 2007.

GAMA-RODRIGUES, E. F. da G. et al. Atributos químicos e microbianos de solos sob diferentes coberturas vegetais no norte do Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v 32, p.1521-1530, 2008.

GIÁCOMO, R.G.; PEREIRA, M.G.; FERNANDES, M.M. Carbono da biomassa da serrapilheira e do solo em áreas com diferentes tipos de vegetação na floresta nacional Mário Xavier, RJ. **Revista da Universidade Rural - Série Ciências da Vida, Seropédica**, v. 25, n. 2, 2005.

GLAESER, D.F. et al. Biomassa Microbiana do Solo sob Sistemas de Manejo Orgânico em Cultivos de Café. **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, v. 14, n. 2, p. 103-114, 2010.

GUIMARÃES, R.J.; MENDES, A.N.G.; THEODORO, V.C.A. **Manejo da lavoura cafeeira**. UFLA. Lavras, 2004.

IAMAGUTI, J.L. et al. Preparo do solo e emissão de CO<sub>2</sub>, temperatura e umidade do solo em área canavieira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 5, p. 497-504, 2015.

INPE; SOS MATA ATLANTICA. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica, período 2014 – 2015**: Relatório técnico. São Paulo, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - **IBGE** - 2015. Disponível em:<<http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 10 nov. 2015.

ISLAM K.R. e WEIL, R.R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. **Biol and Fert Soils**. p. 400-410, 1998.

JIMENEZ, R. L. et al. Crescimento de plantas de cobertura sob diferentes níveis de compactação em um Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 2, p. 116–121, 2008.

KAISER, E.A.; MARTENS, R.; HEINEMEYER, O. Temporal changes in soil microbial biomass carbon in an arable soil. **Plant and Soil**, v.170, p. 287-295, 1995.

LAGES, V.N. **Agricultura familiar e desenvolvimento sustentável**. In: AGRICULTURA FAMILIAR E O DESAFIO DA SUSTENTABILIDADE. Rio de Janeiro: Oficina Social, Centro de Tecnologia, Trabalho e Cidadania, p. 47-66, 2001.

LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**, Amsterdam, v. 123, n. 1-2, p. 122, 2004.

LIMA, C.L.R. et al. Estabilidade de agregados de um planossolo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 199-205, 2003.

LINN, D.M. e DORAN, J.W. Effect of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and non-tilled soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 48, p. 1267- 1272, 1984

LOSS, A. et al. Distribuição dos agregados e carbono orgânico influenciados por 59 manejos agroecológicos. **Acta Scientiarum. Agronomy**. Maringá, v. 31, n. 3, p. 523-528, 2009.

LONGO, R.M.; ESPÍNDOLA, C.R. C-orgânico, N-total e substâncias húmicas sob influência da introdução de pastagens (*Brachiaria* sp.) em áreas de Cerrado e floresta amazônica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 723-729, 2000.

LOSS, F.R. Sistema agroflorestral: café, banana e ingá. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.2 n.2. 2007.

LOVATO, T. et al. Adição de carbono orgânico e nitrogênio e sua relação com estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 175-187, 2004.

LUCIANO, R.V. et al. Propriedades físicas e carbono orgânico do solo sob plantio direto comparados à mata natural, num Cambissolo Háplico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 9, n. 1, p. 09-19, 2010.

LUNDEGARDH, H. Carbon Dioxide Evolution and Crop Growth. **Soil Sci.**, v. 23, p. 417-453, 1927.

MACEDO, R.L.G.; VENTURIM, N.; TSUKAMOTO FILHO, A.A. Princípios de agrossilvicultura como subsídio do manejo sustentável. **Informe Agropecuário**, v. 21, p. 93-98, 2000.

MACEDO, R.L.G.; VALE, A.B. do; VENTURIN, N. **Eucalipto em sistemas agroflorestrais**. UFLA. Lavras, 331p, 2010.

MAFRA, A.L. et al. Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 217-224, 2008.

MAIA, S.M.F. et al. Frações de nitrogênio em luvisolo sob sistemas agroflorestrais e convencional no semi-árido cearense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 381-392, 2008.

MAIA, S.M.F. et al. **Organic carbon pools in a Luvisol under agroforestry and conventional farming systems in the semi-arid region of Ceará, Brazil**. Agroforestry System. p. 127-138, 2007.

MATIAS, M. da C.B. da S. Biomassa microbiana e estoques de C e N do solo em diferentes sistemas de manejo, no Cerrado do Estado do Piauí. **Acta Scientiarum. Agronomy**. v. 31, n. 3, p. 517-521, 2009.

MENDONÇA, E.S. e MATOS, E.D.S. **Matéria Orgânica do Solo: Métodos de Análises**. Viçosa: [s.n.], 77p, 2005.

MEURER, J.E. **Introdução à ciência do solo**, In: MEURER, E.J. Fundamentos de química do solo, gênese, Porto Alegre, p. 11-21, 2000.

MOITINHO, M.R. et al. Efeito do preparo do solo e resíduo da colheita de cana-de-açúcar sobre a emissão de CO<sub>2</sub>. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p. 1720-1728, 2013.

MORAES, A.G.L. et al. Distribuição dos Agregados e Diâmetro Médio Ponderado Avaliados em Diferentes Sistemas de Produção Orgânica. **Rev. Bras. de Agroecologia**, v. 4, n. 2, 2009.

MOREIRA, F.M.S. e SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA. 729p, 2006. REEVES, D.W. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. **Soil Till. Res.**, v. 43, p. 131-167, 1997.

OLIVEIRA JÚNIOR, A.C. et al. Indicadores químicos de qualidade da matéria orgânica de solo da sub-bacia do Rio das Mortes sob manejos diferenciais de cafeeiro. **Quim. Nova**, v. 31, n. 7, p. 1733-1737, 2008.

PEZARICO, C.R. et al. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. **Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 56, p. 40-47, 2013.

PREZOTTI, L.C. et al. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo**. 5 ed. Vitória: SEEA/Incaper/CEDAGRO, 305p, 2007.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria, v. 27, n. 2, p. 29-48, 2003.

REICOSKY, D.C. e LINDSTROM, N.J. Fall tillage method: effect on short-term carbon dioxide flux from soil. **Agronomy Journal**, v. 85, p. 1237-1245, 1993.

RIBEIRO, J.J. **Nitrogênio, carbono e agregação do solo sob sistemas de uso no território do Caparaó-ES**. 2015. 62p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2015.

ROSCOE, R. et al. Biomassa microbiana do solo: fração mais ativa da matéria orgânica. In: **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, p. 163-198, 2006.

RUIZ, H.A. **Métodos de análises físicas do solo**. Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Solos. 2004

SALES, K.R. do R.N. **Qualidade do carbono em frações da matéria orgânica e classes de agregados de solos sob sistemas agroflorestais de cacau por espectroscopia na região do infravermelho**. 2012. 89p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2012.

SCHLESINGER, W.H. e ANDREWS, J.A. Soil respiration and the carbon cycle. **Biogeochemistry**, v. 48, p. 7-20, 2000.

SCHWENDENMANN, L. et al. Spatial and temporal variation in soil CO<sub>2</sub> efflux in an old-growth neotropical rain forest. **La Salva Biogeochemistry**, v. 64, p. 111–128, 2003.

SILVA, I. R. e MENDONÇA, E. de S. Matéria Orgânica do solo. In: **Fertilidade do Solo**, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1 ed, p. 275-374, 2007.

SIX, J. et al. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil Tillage Res.**, v. 79, p. 7–31, 2004.

SMITH, K.A. e CONEN, F. Impacts of land management on fluxes of trace greenhouse gases. **Soil Use and Management**, v. 20, p. 255-263, 2004.

SOPRANO, E. **Estabilidade de agregados e dispersão de argila em função da calagem**. 2002. 106p. Dissertação (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

SOUZA, F.F. et al. **Características das principais variedades de café cultivadas em Rondônia**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2004. 21p. (Embrapa Rondônia. Documentos, 93). Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/54346/1/Doc93-cafe.pdf>. Acesso em 15 ago. 2015.

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**, Campinas, v. 15, p. 229-235, 1991.

THOMAZINI, A. et al. Indicadores participativos de qualidade do cafeeiro conilon e do solo em sistema agroflorestal e convencional. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.29, Supplement 1, p. 1469-1478, 2013.

THOMAZINI, A. **Matéria orgânica do solo e emissão de C-CO<sub>2</sub> em diferentes manejos e cultivos agrícolas**. 2014. 97p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2014.

TISDALL, J.M. e OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, v. 33, p. 141-163, 1982.

TÓTOLA, M.R. e CHAER, G.M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: **Tópicos em ciência do solo**, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 2, p. 199-275, 2002.

WENDLING, B. et al. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 5, p. 487-494, 2005.

YOUNG, A. **Agroforestry for soil management**. 2 ed. Nairobi: CAB Internacional, 320p, 1997.

YUYAMA, K. et al. Efeito da densidade de plantas e da adubação NPK na produção inicial de palmito de pupunheira. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 29, p. 373-378, 2005.

ZALAMENA, J. **Impacto do uso da terra nos atributos químicos e físicos de solos do rebordo do Planalto – RS**, 2008. 79p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.