

MARINO SALGARELLO COELHO

**ADUBOS VERDE NA QUANTIDADE E QUALIDADE DA  
MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO DE CAFEZAIS EM SISTEMA  
DE CULTIVO ORGÂNICO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS-BRASIL  
2009

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

C672a  
2009

Coelho, Marino Salgarello, 1984-  
Adubos verde na quantidade e qualidade da matéria  
orgânica do solo de cafezais em sistema de cultivo orgânico  
/ Marino Salgarello Coelho. – Viçosa, MG, 2009.  
xi, 52f. : il (algumas col.) ; 29cm.

Orientador: Eduardo de Sá Mendonça.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Inclui bibliografia.

1. Adubação verde. 2. Adubos e fertilizantes orgânicos.  
3. Substâncias húmicas. 4. Húmus. 5. Agricultura familiar.  
I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

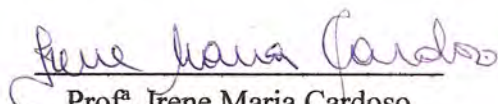
CDD 22.ed. 631.874

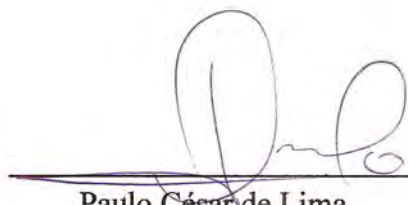
MARINO SALGARELLO COELHO

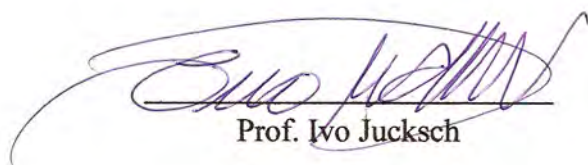
ADUBOS VERDE NA QUANTIDADE E QUALIDADE DA MATÉRIA  
ORGÂNICA DO SOLO DE CAFEZAIS EM SISTEMA DE CULTIVO  
ORGÂNICO

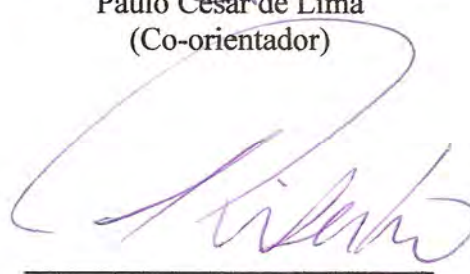
Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de Viçosa, como  
parte das exigências do Programa de Pós-  
Graduação em Solos e Nutrição de Plantas,  
para obtenção do título de *Magister  
Scientiae*.

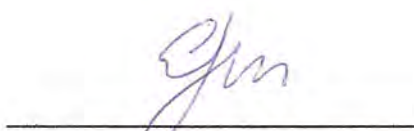
APROVADA: 16 de julho de 2009

  
Prof.<sup>a</sup> Irene Maria Cardoso  
(Co-orientadora)

  
Paulo César de Lima  
(Co-orientador)

  
Prof. Ivo Jucksch

  
Prof. Ivo Ribeiro da Silva

  
Prof. Eduardo de Sá Mendonça  
(Orientador)

*Aos meus pais Camilo e Adelle (in memoriam),*

*A Clariany,*

*Dedico.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pela força de vontade, saúde e a vida que me proporciona.

Aos meus pais Camilo e Adelle (in memoriam) pela educação, esforço e ensino de vida.

Aos meus irmãos Camilo, Gabriela e Mateus pelo companheirismo, amizade e descontração.

A Clariany pela atenção, carinho, amor e compreensão durante essa jornada.

A Universidade Federal de Viçosa pela oportunidade de realização da graduação e ao Departamento de Solos e Nutrição de Plantas pelos ensinamentos acadêmicos.

Ao CNPq pelo apoio financeiro e a EPAMIG pelo apoio na execução do projeto.

Ao Professor Eduardo pela orientação e amizade ao longo da graduação e pós-graduação.

A Professora Irene e ao pesquisador da EPAMIG Paulo Lima pelos inúmeros conselhos e orientações.

Aos agricultores familiares Dadinho e Jésus pela condução dos experimentos e pelos ensinamentos do campo.

Aos integrantes e frequentantes da famosa “República Pé de Pano” pelos cinco anos de convivência pela amizade e descontração.

Os técnicos do Laboratório de Matéria Orgânica e Resíduos Brás e Alysson pela ajuda na execução das análises e o companheirismo.

A Juliana Vanir pelo imenso auxílio na realização das análises químicas e interpretação.

Aos estagiários Lauro e Israel pela ajuda na execução das análises e pelo aprendizado.

Aos companheiros da pós graduação Edimaldo, Gigi, Jandeílson, Luiz Francisco Leonardo, Reginaldo e demais estudantes pelos momentos de amizade e descontração.

Aos professores e funcionários do Departamento de Solos pelo empenho e competência.

A todos que diretamente ou indiretamente contribuíram para a execução deste trabalho.

## **BIOGRAFIA**

MARINO SALGARELLO COELHO, filho de Adelle Marina Salgarello Coelho e Camilo de Lélis Coelho, nasceu em Conselheiro Lafaiete, Minas Gerais, no dia 31 de maio de 1984.

Em fevereiro de 2000, ingressou no curso de Técnico em Agropecuária na Escola Agrotécnica Federal de Barbacena, Minas Gerais, Brasil, concluindo-se em dezembro de 2002.

Em março de 2003, ingressou no curso de Agronomia na Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil, graduando-se em janeiro de 2008.

Em março de 2008, iniciou o curso de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas na Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil, submetendo-se à defesa de tese no dia 16 de julho de 2009.

## CONTEÚDO

|   |      |
|---|------|
| RESUMO .....  | viii |
| ABSTRACT .....  | x    |
| INTRODUÇÃO GERAL .....  | 1    |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....  | 3    |
| CAPITULO 1 - CARBONO E NITROGÊNIO TOTAL E NAS FRAÇÕES HÚMICAS<br>DE SOLOS SOB CULTIVO ORGÂNICO DE CAFÉ<br>..... | 4    |
| RESUMO .....  | 4    |
| ABSTRACT .....  | 5    |
| 1. INTRODUÇÃO .....   | 6    |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS .....   | 9    |
| 2.1 Área de Estudo .....  | 9    |
| 2.2 Fracionamento Químico da Matéria Orgânica do Solo .....   | 11   |
| 2.3 Estoque de Carbono e Nitrogênio no Solo e nas Frações Húmicas .....   | 12   |
| 2.4 Análise Estatística .....   | 12   |
| 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....   | 13   |
| 3.1 Teores de C e N totais e nas frações húmicas .....  | 13   |
| 3.2 Estoque de C e N totais e nas frações húmicas .....   | 19   |
| 4. CONCLUSÃO .....  | 22   |
| 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....   | 23   |



|   |    |
|---|----|
| CAPITULO 2 - IMPACTO DO USO DE LEGUMINOSAS NA QUALIDADE DA<br>MATÉRIA ORGÂNICA DE SOLOS SOB CULTIVO ORGÂNICO DE CAFÉ<br>..... | 27 |
| RESUMO .....  | 27 |
| ABSTRACT .....  | 28 |
| 1. INTRODUÇÃO .....   | 29 |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS .....   | 32 |
| 2.1 Área de Estudo .....  | 32 |
| 2.2 Caracterização dos Ácidos Húmicos e Fúlvicos .....  | 34 |
| 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....   | 37 |
| 3.1 Análise Elementar .....   | 37 |
| 3.2 Análise na Região do UV-Visível .....   | 39 |
| 3.3 Análise na Região do Infra Vermelho .....   | 42 |
| 4. CONCLUSÃO .....  | 46 |
| 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....   | 47 |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS .....  | 51 |

## RESUMO

COELHO, Marino Salgarello, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2009.  
**Adubos verde na quantidade e qualidade da matéria orgânica do solo de cafezais em sistema de cultivo orgânico.** Orientador: Eduardo de Sá Mendonça.  
Co-orientadores: Irene Maria Cardoso e Paulo César de Lima.

O uso de leguminosas como adubo verde é uma prática difundida entre os agricultores familiares da Zona da Mata Mineira, contribuindo para a manutenção dos sistemas orgânicos. Com a adição de materiais orgânicos ao solo, a formação das substâncias húmicas é um importante processo, que aumenta o tempo de ciclagem e contribui para a manutenção dos estoques de C e N no solo. Além dos estoques, o aporte constante de resíduos vegetais proporciona maior atividade biológica, aumento de cargas capazes de minimizar a perda de nutrientes do solo, aumenta a agregação e diminui a erosão. As leguminosas apresentam características diferentes entre si como a produção de biomassa, acúmulo de nutrientes e características químicas, características essas que influenciam na formação das substâncias húmicas no solo. Essas características também podem ser influenciadas pelo clima do local e, conseqüentemente, influenciando na formação e estabilização das substância húmicas do solo. Objetivou-se quantificar os teores e estoques de C e N no solo e nas substâncias húmicas e avaliar o impacto do uso de leguminosas como adubo verde na qualidade das substâncias húmicas em solos sob cultivo de café orgânico em duas condições edafoclimáticas distintas. Foram cultivadas nas entrelinhas do café quatro espécies de leguminosas: amendoim forrageiro (*Arachis pintoï*), calopogônio (*Calopogonium mucunoides*), estilosantes (*Stylozanthos guyanensis*), mucuna preta (*Stizolobium aterrimum*) e espécies espontâneas, com predomínio do capim marmelada (*Brachiaria plantaginea*), durante 4 anos em propriedades de agricultores familiares de Araponga - MG (face de exposição noroeste) e Pedra Dourada - MG (face de exposição sul) de agricultores familiares na região da Zona da Mata de Minas Gerais. Após 4 anos de manejo, foi realizada a coleta de solo em duas profundidades (0-5 e 5-20 cm) e analisado os teores de C e N total no solo e nas substâncias húmicas. Por meio de amostras coletadas em anéis volumétricos para a obtenção da densidade do solo. Para a avaliação qualitativa das substâncias húmicas, foram extraídas e purificadas para

obtenção dos ácidos fúlvicos (AF) e húmicos (AH). Foram realizadas análise elementar (CHNO), UV-Visível, Infra Vermelho e Termogravimetria do material purificado. O manejo com leguminosas e espécies espontâneas utilizadas como adubo verde pode manter os teores de COT, NT e os teores de C e N das SHs no solo, mantendo os valores próximos à mata nativa. No manejo após 4 anos de cultivo, apenas a fração húmica mais lábil (Fração ácidos Fúlvicos - FAF) teve efeito nos tratamentos, o que não foi observado nos teores das frações mais recalcitrantes (Fração Ácidos Húmicos - FAH e Fração Humina - FH). Os teores de C e N na FH foram superiores as outras frações. O efeito do uso da adubação verde foi verificado principalmente na superfície, com o aumento dos teores de C e N no solo. As condições edafoclimáticas promoveram efeito na formação e no estoque de C e N totais e das SHs, sendo que na propriedade sob condições de menor insolação (Pedra dourada), o solo apresentou maiores estoques de C e N. Foi verificado que os AH possuem maior peso molecular, maior hidrofobicidade e maior condensação, pela presença de maior proporção de compostos aromáticos e com maior teor de C, conferindo maior estabilidade estrutural em relação aos AF. A propriedade rural sob maior incidência de luz e temperatura e menor umidade, devido a face de exposição solar noroeste apresentou no AF, maior relação O/C, relação  $E_4/E_6$ , relação 3300/1700 e valor de ITG inferior, favorecendo a formação de AF com maior massa molar em relação ao encontrado na propriedade sob menor incidência de luz e temperatura e maior umidade. Nos AH, os tratamentos obtiveram pouco efeito devido ao tempo de manejo das leguminosas que foram por apenas 4 anos. Dentre as leguminosas, nos AF, o tratamento com calopogônio apresentou baixo teor de C e elevado teor de O em sua composição, corroborando para a perda de massa a temperatura baixa, caracterizando um material de fácil mineralização. Já o tratamento com estilosantes proporcionou AF com menor peso molecular.

## ABSTRACT

COELHO, Marino Salgarello, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2009.  
**Green manure in the quantity and quality of soil organic matter in the organic coffee systems cultivation.** Adviser: Eduardo de Sá Mendonça. Co-advisers: Irene Maria Cardoso and Paulo César de Lima.

The use of leguminous as green manure is a widespread practice among family farms of Zona da Mata of Minas Gerais, contributing to the maintenance of the organic systems. With the addition of organic materials in the soil, the humic substances (HS) formation is an important process that increases the cycling time and contributes to soil C and N stocks maintenance. Beyond the stocks, the constant addition of vegetal waste provides larger biological activity, increase of loads capable to minimize the loss of nutrients of the soil, it increases the aggregation and it reduces the erosion. The leguminous present different characteristics amongst themselves as the biomass production accumulate nutrients and chemical characteristics. Those ones influence in the formation of the HS in the soil. Those characteristics can also be influenced by the climate of the place and, consequently, influencing in the formation and stabilization of the HS of the soil. The objective of this study was quantify the C and N contents and the stocks of soil and on HS and evaluate the impact of the leguminous use as green manure in the quality of the HS under cultivation of organic coffee in two different edaphic conditions. Four leguminous species were cultivated between the coffee lines: *Arachis pintoi*, *Calopogonium mucunoides*, *Stylozanthus guyanensis*, *Stizolobium aterrimum* and spontaneous species, with prevalence of the *Brachiaria plantaginea*, during 4 years in family farmers of Araponga-MG (northwest exposure) and Pedra Dourada-MG (south exposure) in the area of the Zona da Mata of Minas Gerais. After 4 years of manure, was collected the soil in two depths (0-5 and 5-20 cm) and analyzed the content of Total Organic Carbon (TOC) and Total Nitrogen (TN) in the soil and on HS. In the farms were collected soil samples in volumetric rings to calculate the soil density. For the qualitative evaluation of the HS, they were extracted and purified for obtaining of the fulvic acids (FA) and humic acids (HA). FA and HA were accomplished elementary analysis (CHNO), UV-visible spectroscopy, Infra Red spectroscopy and termogravimetric of the purified material. The manure with leguminous and spontaneous species used as green manure can maintain the content of

TOC, TN and the content of C and N on SH in the soil, maintaining the close values to the native forest. In the handling after 4 years of cultivation, just the humic fraction more labile (fulvic acids fraction - FAF) had effect in the treatments, what wasn't observed in the content of the most recalcitrant fractions (humic acids fraction - HAF and humin fraction - HF). The content of C and N in HF were more the other fractions. The edaphic conditions promoted effect in the formation and in the stock of C and total N and of HS, and in the farm under conditions of smaller sunstroke (Pedra Dourada), the soil presented larger stocks of C and N. The effect of the position in the landscape (face exposure) it was superior to the effect of the clay content. The analyses to evaluate the quality, was verified that HA possesses larger weight molecular, larger hidrofobicity and larger condensation, for the presence of larger proportion of aromatic compositions and with larger content of C, checking larger structural stability in relation to FA. The farm under larger light incidence and temperature and smaller humidity, due to face of exposure northwest solar presented in FA, larger relationship O/C, relationship E4/E6, relationship 3300/1700 and value of inferior ITG, favoring the formation of FA with larger mass molar in relation to the found in the farm under smaller light incidence and temperature and larger humidity. In HA, the treatments obtained little effect due to the time of handling of the leguminous that they were for only 4 years. Among the leguminous, in FA, the treatment with *Calopogonium mucunoides* presented low content of C and high content of O in his composition, corroborating for the mass loss the temperature lowers, characterizing a material of easy mineralization. Already the treatment with *Stylozanthos guyanensis* provided FA with smaller molecular weight.

## INTRODUÇÃO GERAL

A agricultura orgânica no Brasil atravessa momento de grande expansão em área, no número de produtores e consumidores. Os questionamentos sobre a qualidade dos agrícolas e os impactos negativos advindos da forma de produção está provocando expansão da agricultura orgânica no Brasil, tanto no que se refere a área cultivada, quanto ao número de produtores e consumidores dos produtos orgânicos. Dentre as várias práticas usadas pelos agricultores orgânicos, o manejo adequado do solo é um ponto chave para a manutenção do sistema produtivo.

As práticas que envolvem a adubação no cultivo orgânico em geral e no caso do café em particular geram dificuldades na necessidade de grande aporte de adubos orgânicos a base de esterco (na forma de composto ou misturado com matéria vegetal), nem sempre disponíveis nas propriedades na quantidade necessária para suprir as exigências nutricionais da lavoura. Neste intuito, o produtor orgânico e os técnicos trabalham para encontrar alternativas ao esterco, visando diminuir os custos e obter uma produção sustentável.

Na Zona da Mata mineira, o uso de espécies leguminosas, intercaladas nas linhas de plantio do cafeeiro, acrescentado à prática da roçada e a cobertura morta sob o pé de café, têm sido apontadas como alternativas para a resolução desse problema (MOURA et al., 2005). A adubação verde com leguminosas, além de contribuir para a melhoria da fertilidade do solo, poderá reduzir problemas como o acúmulo excessivo de fósforo em solos intemperizados, os gastos com capinas, os custos com o transporte de adubos orgânicos, e aumento da ciclagem de nutrientes e manutenção da microbiota fornecendo a maior parte do nitrogênio e potássio para a nutrição de cafeeiros conduzidos em sistemas orgânicos (LIMA et al., 2002).

As espécies espontâneas também podem atuar como adubo verde, exercendo papéis importantes na cobertura do solo e na ciclagem de fósforo, potássio e magnésio (FAVERO, 1998).

Por meio de vários processos de síntese e re-síntese dos materiais orgânicos aportados ao solo, são formadas as Substâncias Húmicas (SH). Essas frações da matéria orgânica do solo possuem elevada recalcitrância e conseqüentemente elevado tempo de ciclagem, dando origem a moléculas amorfas, que nos solos tropicais, contribuem com

praticamente a totalidade do conteúdo do material orgânico do solo, e proporcionam melhorias como o aumento da CTC, agregação do solo e retenção de água (CUNHA et al., 2005)

Mudanças no uso e manejo do solo podem induzir alterações na matéria orgânica do solo e nas emissões de gases para a atmosfera, levando o solo a atuar como fonte de Carbono para a atmosfera. Com isso, a compreensão sobre as SH podem auxiliar no desenvolvimento de práticas de manejo que favoreçam a manutenção dos estoques de C e N no solo e potencialize seu papel de dreno de carbono (WENDLING, 2007).

O objetivo geral deste trabalho foi analisar a adubação verde na quantidade e qualidade das substâncias húmicas em duas localidades sob diferentes condições edafoclimáticas.

A dissertação foi dividida em dois capítulos. O primeiro capítulo teve como objetivo quantificar os teores e estoques de C e N no solo e nas substâncias húmicas, e a influência na formação e estabilização das SH em áreas de cultivo de café orgânico em duas localidades sob condições edafoclimáticas diferentes. O objetivo do segundo capítulo foi avaliar o uso de leguminosas como adubo verde na qualidade de ácidos húmicos e fúlvicos em áreas de cultivo de café orgânico em condições edafoclimáticas diferentes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CUNHA, T.J.F.; CANELLAS, L.P.; SANTOS, G.A.; RIBEIRO, L.P. Fracionamento da matéria orgânica humificada de solos brasileiros. In: CANELLAS, L.P.; SANTOS, G.A. Humosfera: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas. 1ª Ed. Campos dos Goytacazes. 2005. p. 54-80.
- FAVERO, C. Potencial de plantas espontâneas e de leguminosas para adubação verde. Viçosa-MG:UFV. 84p. Tese (Mestrado), 1998.
- LIMA, P.C.; MOURA, W.M.; AZEVEDO, M.S.F.R.; CARVALHO, A.F. Estabelecimento de cafezal orgânico. Informe Agropecuário, 23:33-52, 2002.
- MOURA, W.M.; LIMA, P.C.; SOUZA, H.N.; CARDOSO, I.M.; MENDONÇA, E.S.; PERTEL, J. Pesquisas em sistemas agroecológicos e orgânicos da cafeicultura familiar na Zona da Mata mineira. Informe Agropecuário, 26:46-75, 2005.
- WENDLING, B. Carbono e nitrogênio no solo sob diferentes usos e manejos e sua modelagem pelo Century. Viçosa-MG: UFV. 122 p. Tese (Doutorado), 2007.



## **CAPÍTULO 1**

### **CARBONO E NITROGÊNIO TOTAL E NAS FRAÇÕES HÚMICAS DE SOLOS SOB CULTIVO ORGÂNICO DE CAFÉ.**

#### **RESUMO**

O uso de leguminosas é uma prática difundida, em que o aporte de resíduos contribui para a manutenção dos sistemas orgânicos e a manutenção dos estoques de C e N no solo. A formação das substâncias húmicas é um importante processo na manutenção dos estoques de C e N e no maior tempo de ciclagem desses elementos. Objetivou-se quantificar os teores e os estoques de C e N no solo e nas substâncias húmicas em áreas de cultivo de café orgânico em duas condições edafoclimáticas distintas. Foram cultivadas as espécies leguminosas amendoim forrageiro, calopogônio, estilosantes, mucuna e espécies espontâneas durante 4 anos em duas propriedades de agricultores familiares. Após 4 anos foi realizado a coleta de solo em duas profundidades (0-5 e 5-20 cm) e analisado os teores de Carbono Orgânico Total (COT) e Nitrogênio Total (NT) e C e N nas substâncias húmicas. O manejo com leguminosas e espécies espontâneas utilizadas como adubos verdes possuem capacidade de manutenção dos teores de COT, NT e dos teores de C e N das SHs no solo, mantendo-se em valores próximos aos encontrados em mata natural. As espécies espontâneas foram eficientes nos estoques de C e N no solo tanto quanto as leguminosas estudadas. O manejo com leguminosas e espécies espontâneas após 4 anos de cultivo aumentou os teores de C<sub>faf</sub>. Os teores de C e N na fração húmica foram superiores as outras frações húmicas do solo. As condições edafoclimáticas influenciaram na formação e no estoque de C e N totais e das SH, sendo que na propriedade sob condições de menor temperatura e insolação apresentou, de modo geral, maiores estoques de C e N. O efeito da condição climática foi superior ao efeito do teor de argila na manutenção da matéria orgânica do solo na região de mar de morros.

Palavras-chave: agricultura familiar, Mata Atlântica, leguminosa, matéria orgânica.

## CHAPTER 1

### TOTAL CARBON AND NITROGEN STOCKS AND IN HUMIC SUBSTANCES ON ORGANIC COFFEE CULTIVATION

#### ABSTRACT

The leguminous use is a practice, in that the contribution of residues contributes to the maintenance of the organic systems and the maintenance of the stocks of C and N in the soil. The Humic Substance (HS) formation is an important process in the maintenance of the stocks of C and N in the largest time of ciclagem of those elements. The objective of this stud was quantify the content and the stocks of C and N in the soil and in the HS in areas of cultivation of organic coffee in two edaphic conditions. Four leguminous species were cultivated between the coffee lines: *Arachis pintoi*, *Calopogonium mucunoides*, *Stylozanthes guyanensis*, *Stizolobium aterrimum* and spontaneous species, with prevalence of the *Brachiaria plantaginea*, during 4 years in family farmers of Araponga-MG (northwest exposure) and Pedra Dourada-MG (south exposure) in the area of the Zona da Mata of Minas Gerais. After 4 years the soil samples was collected in two depths (0-5 and 5-20 cm) and analyzed the content of Total Organic Carbon (TOC) and Total Nitrogen (TN) and C and N in HS. In the farms were collected soil samples in volumetric rings to calculate the soil density. The manure with leguminous and spontaneous species used as green manure can maintain the content of TOC, TN and the content of C and N on SH in the soil, maintaining the close values to the native forest. In the handling after 4 years of cultivation, just the humic fraction more labile (fulvic acids fraction - FAF) had effect in the treatments, what wasn't observed in the content of the most recalcitrant fractions (humic acids fraction – HAF and humin fraction - HF). The content of C and N in HF were more the other fractions. The edaphic conditions promoted effect in the formation and in the stock of C and total N and of HS, and in the farm under conditions of smaller sunstroke (Pedra Dourada), the soil presented larger stocks of C and N. The effect of the position in the landscape (face exposure) it was superior to the effect of the clay content.

**Key words:** family agriculture, Atlantic Forest, leguminous, organic matter.

## 1. INTRODUÇÃO

A partir do ano de 2008 até 2012, alguns países industrializados se comprometeram a reduzir as emissões dos gases do efeito estufa em mais de 5 % em relação ao ano de 1990, em concordância ao Protocolo de Kyoto (UNITED NATIONS, 1998). Segundo o Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2009), entre o período industrial e o ano de 2005, a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera cresceu de 270 para 379 ppm e de N<sub>2</sub>O de 270 para 319 ppb. Esse crescimento é atribuído principalmente à atividade antrópica ligada à queima de combustíveis fósseis e à destruição de matas para implantação de culturas e formação de pastagens (REES, et al., 2005).

O solo é um grande reservatório de Carbono (C). Estimativas mostram que há no mundo de 1500 a 1600 Pg de C no primeiro metro de solo enquanto a estimativa da biosfera é de 560 Pg (LAL, 2004). JOBBÁGY e JACKSON (2000) analisando os três primeiros metros do perfil do solo estimaram estoque de 2344 Pg de C no solo. Com isso, estratégias de manejo que visam à conservação e o aporte de C e Nitrogênio (N) ao solo podem, a curto prazo, contribuir para a diminuição das concentrações de CO<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>O na atmosfera, ao mesmo tempo que, manejos incorretos podem acarretar aumento da emissão desses gases para a atmosfera (LAL, 2004).

Uma destas estratégias é o manejo orgânico das culturas, os quais podem contribuir para conservar e aumentar os estoques de C no solo, além de manter sua produtividade e melhorar a sua qualidade. Essas práticas vêm de encontro a um dos problemas dos solos da Zona da Mata Mineira. Na região existem vários agricultores familiares que desenvolvem sistemas agroecológicos de produção, e como principal cultura, o café. Os produtores utilizam diversas estratégias na manutenção e aporte de C e N no solo, sendo o uso de leguminosas como adubos verdes uma técnica difundida nas comunidades para a manutenção dos sistemas produtivos (MOURA, et al., 2005).

As leguminosas além de proteger o solo contra a erosão e diminuir a ocorrência de espécies espontâneas, fornecem N às plantas por meio da fixação biológica e incorporam quantidades consideráveis de material orgânico ao solo (LIMA et al., 2002). Segundo RICCI et al. (2005), leguminosas como a crotalária (*Crotalaria juncea*) podem

produzir até 16 Mg ha<sup>-1</sup> por corte de massa seca e incorporar ao solo 200 kg ha<sup>-1</sup> de N por corte por meio da fixação biológica.

As leguminosas respondem diferentemente às condições climáticas locais. MATOS et al. (2008) obtiveram produção de biomassa diferenciada entre as mesmas leguminosas conforme a mudança edafoclimática, enfatizando a necessidade de estudos de adaptabilidade de espécies utilizadas no manejo. As condições edáficas também promovem diferenças nos estoques de C e N no solo. Solos com teores de argila mais elevados tendem a possuir maiores estoques de C e N devido às interações entre os colóides minerais e orgânicos e à proteção física da matéria orgânica nos agregados contra o ataque de microrganismos (VENZKE FILHO et al., 2008).

Nas regiões montanhosas a exposição solar interfere no clima local. No hemisfério sul a trajetória do sol sofre uma declinação para o norte, acarretando em menor irradiação na face voltada para o sul, corroborando com a diminuição da temperatura e aumento da umidade no solo nessa face (FERREIRA et al., 2005). EGLI, et al. (2009) em estudo no hemisfério norte (onde a trajetória do sol ocorre o inverso em relação ao hemisfério sul), encontrou valores de carbono orgânico do solo maiores na face norte, indicando que locais que possuem menor temperatura e maior umidade estocam mais C.

Dentre os compartimentos da matéria orgânica do solo (MOS), as substâncias húmicas (SH) possuem maior recalcitrância, baixa taxa de ciclagem e, conseqüentemente, o maior compartimento em climas tropicais e o que mais contribui para a manutenção dos estoques de C e N no solo (SILVA e MENDONÇA, 2007). As SH são fracionadas em Fração Humina (FH), Fração Ácidos Fúlvicos (FAF) e Fração Ácidos Húmicos (FAH), por meio de uso de soluções alcalinas e ácidas (SCHIAVO et al., 2007).

Ao longo do manejo do solo, ocorrem processos de formação e estabilização das SH, e as relações entre as SH nos indicam como esse manejo influencia a sua condensação, estabilidade estrutural e o grau de humificação da MOS (CUNHA et al., 2005). A relação SH/COT indica o grau de humificação da MOS, a relação  $(C_{FAH} + C_{FAF})/C_{FH}$  indica a estabilidade das SH, sendo valores maiores atribuído a SH mais instáveis e a relação  $C_{FAH}/C_{FAF}$  é um indicador da condensação da matéria orgânica solúvel, sendo quanto maior os valores, maior sua condensação (MORENO, 1996).

Há muitos estudos sobre adubação verde, principalmente de produção de biomassa, acúmulo de nutrientes e dinâmica do N, mas poucos enfatizando o estoque de C e N no solo e o seu papel na formação e estabilização das SH. O objetivo do trabalho foi quantificar os teores de COT e NT e dos estoques de C e N no solo e nas substâncias húmicas e a influencia na formação e estabilização das SH em áreas de cultivo de café orgânico em duas localidades sob condições edafoclimáticas distintas.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Área de Estudo

A partir de 1993, uma parceria entre o Sindicato dos Produtores Rurais de várias cidades da Zona da Mata, o Departamento de Solos da UFV, EPAMIG/CTZM e o CTA-ZM busca alternativas para a manutenção dos sistemas produtivos da região. Este trabalho foi conduzido em pesquisas de campo, onde os próprios agricultores executaram as atividades de condução do experimento, visando maior aproximação do pesquisador e o agricultor.

O experimento foi conduzido em duas unidades experimentais, instaladas em áreas de agricultores familiares A propriedade localizada no município de Araponga-MG está situada a 20° 38' de latitude sul e 42° 31' de longitude oeste, a uma altitude média de 950 m, temperatura média anual máxima de 34,2 °C e mínima de 12,1°C, precipitação de 1320 mm e a lavoura possui face de exposição ao sol noroeste. A propriedade localizada no município de Pedra Dourada-MG está situada a 20° 50' de latitude sul e 42° 08' de longitude oeste, com altitude média de 690 m, temperatura média anual máxima de 33,5 °C e mínima de 11,4 °C, precipitação de 1277 mm e a lavoura possui face de exposição ao sol sul. Os solos das duas áreas de estudo foram classificados como Latossolo Vermelho-Amarelo e as características químicas e físicas das duas localidades na época da montagem do experimento na profundidade de 0-20 cm estão presentes na Tabela 1.

Em cada unidade foram plantadas quatro cultivares de café resistente à ferrugem (Oeiras, Icatu, Obatã e Catucaí) em espaçamento 2,8–3,0 x 0,5–0,8m, em delineamento em 4 blocos casualizados, com 30 a 40 plantas por bloco, dispostas linearmente. Os cafezais foram conduzidos em sistema orgânico desde a formação das mudas e, no início do experimento, todas as lavouras encontrava-se em fase de formação (segundo e terceiro ano pós-plantio).

Anteriormente ao plantio das leguminosas, foi realizada a correção dos solos de acordo com as recomendações da Comissão de Fertilidade do Solo para o Estado de Minas Gerais (RIBEIRO et al., 1999). A adubação e correção do solo de Araponga foi realizada aplicando-se 260 kg ha<sup>-1</sup> de calcário, 64 kg ha<sup>-1</sup> de gesso, 125 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de potássio e 800 kg ha<sup>-1</sup> de termofosfato, respectivamente. Já em Pedra

Dourada utilizou-se 1200 kg ha<sup>-1</sup> de calcário e 300 kg ha<sup>-1</sup> de gesso, 125 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de potássio e 800 kg ha<sup>-1</sup> de termofosfato.

Tabela 1: Análise química e física dos solos das propriedades

| <b>Análise química</b>  | Araponga | Pedra Dourada |
|---|----------|---------------|
| pH em água (1:2,5)  | 5,24     | 5,04          |
| Alumínio trocável (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>  | 0,47     | 0,59          |
| Fósforo (mg/dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>   | 1,00     | 2,92          |
| Potássio (mg/dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>  | 59,8     | 53,5          |
| Cálcio (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>2</sup>   | 1,74     | 0,99          |
| Magnésio (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>2</sup>   | 0,74     | 0,47          |
| Carbono orgânico (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>3</sup>   | 29,0     | 36,8          |
| Zinco (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>   | 1,17     | 1,56          |
| Ferro (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>   | 40,7     | 14,7          |
| Manganês (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>  | 10,4     | 20,2          |
| Cobre (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>   | 0,50     | 0,38          |
| <b>Análise granulométrica</b>   | Araponga | Pedra Dourada |
| Areia 0-5 cm (%)  | 38       | 38            |
| Areia 5-20 cm (%)   | 34       | 37            |
| Argila 0-5 cm(%)  | 53       | 46            |
| Argila 5-20 cm(%)   | 52       | 49            |
| Classe textural   | Argiloso | Argiloso      |
| <sup>1</sup> - Mehlich-1; <sup>2</sup> - Ca <sup>+2</sup> , Mg <sup>+2</sup> , Al <sup>+3</sup> : KCl 1 mol L <sup>-1</sup> ; <sup>3</sup> - C org. Walkley Black |          | (MATOS, 2005) |

Foram cultivadas nas entrelinhas do café quatro espécies de leguminosas herbáceas: amendoim forrageiro (*Arachis pintoi*), calopogônio (*Calopogonium mucunoides*), estilosantes (*Stylozanthos guyanensis*) e mucuna preta (*Stizolobium aterrimum*). Em uma parcela não foi plantada nenhuma leguminosa, mas manteve-se no local as espécies espontâneas, com predomínio do capim marmelada (*Brachiaria plantaginea*). As parcelas foram de 2 x 2m, compreendendo um esquema fatorial 2 x 5 x 4 (dois locais, e cinco tratamentos (leguminosas e espontâneas) e quatro blocos).

No primeiro ano de cultivo, foi realizada 3 adubações de 150g de torta de mamona por planta, 60g de sulfato de potássio por planta e mais 150g m<sup>-2</sup> de calcário na linha e na rua. No segundo ano, na rua aplicou-se 120g m<sup>-2</sup> de calcário, 80 g m<sup>-2</sup> de termofosfato e 20 g m<sup>-2</sup> de sulfato de potássio. Já na rua foi aplicado 400g de torta de mamona por planta dividido em 4 aplicações ao longo do período de chuvas mais 200g

por planta de sulfato de potássio. No terceiro e quarto ano, na rua foi aplicado 120g m<sup>-2</sup> de calcário, 80 g m<sup>-2</sup> de termofosfato e 20 g m<sup>-2</sup> de sulfato de potássio. Na linha foi aplicado 750g por planta de torta de mamona dividida em 3 aplicações e 200g por planta de sulfato de potássio.

As leguminosas foram semeadas por 4 anos consecutivos, sempre no início do período chuvoso. Quando as leguminosas atingiram o estágio de floração (em média 150 dias), a parte aérea foi cortada, pesadas e uniformemente disposta sob a saia do cafeeiro (Tabela 2). Este processo ocorreu por quatro anos consecutivos de experimentação. O manejo com as espécies espontâneas foi idêntico ao das leguminosas.

Tabela 2: Produção de fitomassa de adubos verde e espécies espontâneas em duas propriedades com diferentes condições edafoclimáticas.

| Adubo verde  | Araponga                        | Pedra Dourada  |
|--------------|---------------------------------|----------------|
|              | ----- Mg.ha <sup>-1</sup> ----- |                |
| Amendoim     | 5.96 (± 0,38)                   | 4.95 (± 0,30)  |
| Calopogônio  | 9.92 (± 1,44)                   | 7.18 (± 0,75)  |
| Estilosantes | 9.07 (± 0,79)                   | 11.84 (± 0,90) |
| Mucuna       | 12.40 (± 0,98)                  | 12.15 (± 1,12) |
| Espontâneas  | 6.42 (± 0,83)                   | 4.74 (± 2,32)  |

Valores entre parênteses representam o desvio-padrão da média (n=4), sendo n o número de anos.

Um mês após o corte no quarto ano, foi realizada a coleta de amostras de solo nas ruas do cafezal para posteriores análises. As coletas das amostras de solo foram realizadas nas profundidades de 0-5 e 5-20 cm. Todo o material foi seco ao ar e peneirado em peneira de 2 mm, para obtenção da TFSA. Foi realizada também a coleta de amostras de solo, nas mesmas profundidades, em uma mata nativa localizada nas proximidades de Araponga, para a comparação entre os estoques de C e N na área de cultivo e na área nativa.

## 2.2 Fracionamento Químico da Matéria Orgânica do Solo

A MOS foi fracionada quimicamente conforme a metodologia adotada da Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (SWIFT, 1996). As SH foram extraídas com o uso de um meio básico (NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup>) e centrifugação, para



separação por filtração da fração humina (fh) do extrato alcalino. O extrato alcalino foi acidificado com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> até atingir pH 2 e centrifugado, para separação por filtração da fração ácidos húmicos (fah) e fração ácidos fúlvicos (faf). Cada fração foi completada até o volume de 50 mL. De cada fração obtida foi realizada a quantificação de carbono orgânico total (COT), carbono na fração humina (Cfh), carbono na fração ácidos húmicos (Cfah) e carbono na fração ácidos fúlvicos (Cfaf) pelo método de YEOMANS e BREMNER (1988) e nitrogênio total (NT), nitrogênio na fração humina (Nfh), nitrogênio na fração ácidos húmicos (Nfah) e nitrogênio na fração ácidos fúlvicos (Nfaf) pelo método descrito por MENDONÇA e MATOS (2005).

### 2.3 Estoque de Carbono e Nitrogênio no Solo e nas Frações Húmicas

Os teores de COT foram obtidos pelo método de YEOMANS e BREMNER (1988) e NT pelo método descrito por MENDONÇA e MATOS (2005). Foi calculado o estoque de COT e NT e de C e N em cada fração húmica nas duas profundidades. Foram realizadas, nas duas localidades, amostragens da densidade do solo pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997). O cálculo dos estoques foi realizado utilizando a fórmula:

$$\text{Estoque de C e N (Mg ha}^{-1}\text{)} = \frac{\text{TE x DS x VS}}{1000}, \text{ em que:}$$

**TE** é os teores de C e N totais e nas frações húmicas em g kg<sup>-1</sup>;

**DS** é a densidade do solo em Mg m<sup>-3</sup>;

**VS** é o volume do solo em m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>;e

**1000** é a conversão de g kg<sup>-1</sup> para kg kg<sup>-1</sup>.

### 2.4 Análise Estatística

Foram realizadas análises de variância, considerando um esquema fatorial 2 x 5 (dois locais e cinco tratamentos (espécies espontâneas e leguminosas)), com teste de média (Tukey a 5 % de probabilidade) para a comparação dos tratamentos. Para a realização das análises estatísticas foi utilizado o programa SAEG versão 9.1(FUNARBE, 2006).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Teores de C e N totais no solo e nas frações húmicas

O solo de Araponga, na profundidade de 0-5 cm, apresentaram maiores teores de COT ( $2,9 \text{ g kg}^{-1}$ ) e carbono na fração húmica (Cfh) ( $1,86 \text{ g kg}^{-1}$ ) em relação ao de Pedra Dourada (Figura 1). Entretanto, nas frações mais lábeis das SH apresentou valores menores no carbono da fração ácidos húmicos (Cfah) ( $2,37 \text{ g kg}^{-1}$ ) e carbono da fração ácidos fúlvicos (Cfaf) ( $1,64 \text{ g kg}^{-1}$ ). Na profundidade de 5-20 cm não houve diferença entre o COT nos diferentes locais, mas nas SH, o solo de Pedra Dourada apresentou maior teor no Cfaf ( $0,95 \text{ g kg}^{-1}$ ), Cfah ( $2,11 \text{ g kg}^{-1}$ ) e Cfh ( $1,48 \text{ g kg}^{-1}$ ) em relação ao de Araponga. O maior teor de argila no solo de Araponga favorece a proteção química e coloidal da matéria orgânica devido à interação dos colóides orgânicos e minerais e uma maior proteção física dificultando o acesso de microrganismos à matéria orgânica (SILVA E MENDONÇA, 2007; VENZKE FILHO et al., 2008). Essas interações proporcionam elevados teores de COT e Cfh no solo de Pedra Dourada.

O teor de C na profundidade de 5-20 cm em relação à profundidade de 0-5 cm no COT ( $3,30 \text{ g kg}^{-1}$ ), Cfh ( $3,56 \text{ g kg}^{-1}$ ) e Cfah ( $0,58 \text{ g kg}^{-1}$ ) é um indicativo de que a prática do não revolvimento do solo e a deposição da biomassa vegetal na superfície do solo contribuem para maior teor de C na superfície. O efeito das leguminosas quando não incorporadas se restringem aos primeiros 10 cm do solo e diferenças menores no COT são esperadas quando as leguminosas são incorporadas ao solo (NASCIMENTO et al., 2003; FARIA et al., 2004). O efeito da profundidade não é notado no Cfaf possivelmente pela maior mobilidade dessa fração, sendo percolada no solo.

Quanto à participação das SH, há a predominância da Cfh no solo, sendo que na propriedade de Araponga possui 56,3% na profundidade de 0-5 cm e 46,9% na profundidade de 5-20 cm, enquanto no solo da propriedade de Pedra Dourada possui 46,5% na profundidade de 0-5 cm e 43,8% na profundidade de 5-20 cm. O teor maior do Cfh é característico de solos de regiões tropicais onde as condições climáticas proporcionam alta taxa de mineralização de resíduos e atividade biológica, dificultando o processo de humificação e mantendo os teores da fração mais recalcitrante devido à maior interação coloidal e física com a fração mineral do solo. A menor interação do Cfah e do Cfaf com a fração mineral do solo pode levar a iluviação no perfil,

diminuindo a diferença destas profundidades (CUNHA, et al., 2005; FONTANA, et al., 2006).

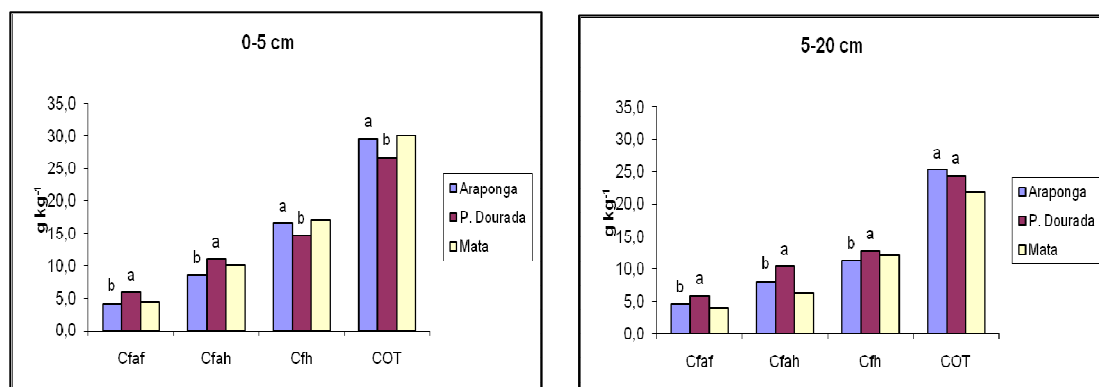


Figura 1: Teor de Carbono Orgânico Total (COT) e na fração húmica (Cfh), ácidos fúlvicos (Cfaf) e ácidos húmicos (Cfah) nas profundidades de 0-5 e 5-20 cm no municípios de Araçonga e Pedra Dourada na Zona da Mata Mineira.

Os teores de COT não foram diferentes entre os tratamentos dentro da mesma propriedade (Tabela 2). Comparados com o solo de mata nativa, os teores de COT estão similares, mostrando que todos os tratamentos mantiveram os teores de C próximos aos encontrados em solos preservados da região. A semelhança entre nos teores de C no solo pode estar relacionada ao curto período do manejo das leguminosas no experimento (HEINRICHS et al., 2005).

Tabela 2: Teores de COT e nas frações húmicas do solo sob adubação verde e espécies espontâneas em duas propriedades com diferentes condições edafoclimáticas

| Tratamentos   | Cfaf             | Cfah     | Cfh      | COT      | Cfaf              | Cfah     | Cfh      | COT      |
|---------------|------------------|----------|----------|----------|-------------------|----------|----------|----------|
|               | -----0-5 cm----- |          |          |          | -----5-20 cm----- |          |          |          |
| Araçonga      |                  |          |          |          |                   |          |          |          |
| Amendoim      | 4,09 Aab         | 7,87 Ba  | 16,43 Aa | 28,90 Aa | 4,69 Bab          | 8,26 Aa  | 11,46 Aa | 24,95 Aa |
| Calopogônio   | 4,19 Bab         | 8,85 Ba  | 16,82 Aa | 29,94 Aa | 4,77 Aab          | 7,79 Ba  | 11,67 Aa | 25,32 Aa |
| Estilosantes  | 3,81 Ab          | 8,47 Aa  | 15,46 Aa | 29,26 Aa | 4,25 Ab           | 7,51 Aa  | 10,87 Aa | 24,80 Aa |
| Mucuna        | 4,33 Aab         | 8,51 Aa  | 16,94 Aa | 29,74 Aa | 4,48 aAb          | 8,35 Aa  | 10,79 Aa | 25,05 Aa |
| Espontâneas   | 4,57 Aa          | 9,26 Aa  | 16,73 Aa | 29,72 Aa | 4,97 Ba           | 8,68 Ba  | 11,44 Ba | 25,72 Aa |
| Pedra Dourada |                  |          |          |          |                   |          |          |          |
| Amendoim      | 5,26 Aa          | 10,55 Aa | 13,76 Aa | 28,25 Aa | 5,58 Aa           | 10,31 Aa | 11,17 Aa | 22,16 Aa |
| Calopogônio   | 5,45 Aa          | 10,83 Aa | 14,54 Aa | 23,52 Ba | 5,77 Aa           | 10,10 Aa | 12,78 Aa | 23,01 Aa |
| Estilosantes  | 5,69 Aa          | 10,43 Aa | 13,97 Ba | 27,30 Aa | 5,84 Aa           | 9,85 Aa  | 11,89 Aa | 25,40 Aa |
| Mucuna        | 6,52 Aa          | 10,56 Aa | 14,60 Aa | 25,99 Aa | 5,78 Aa           | 9,79 Aa  | 11,65 Aa | 22,97 Aa |
| Espontâneas   | 6,29 Aa          | 12,45 Aa | 16,25 Aa | 27,98 Aa | 6,18 Aa           | 11,37 Aa | 15,56 Aa | 28,19 Aa |
| Mata          |                  |          |          |          |                   |          |          |          |
|               | 4,49             | 10,09    | 16,92    | 30,02    | 4,08              | 6,21     | 12,07    | 21,79    |

Letras maiúsculas iguais entre mesmo tratamento e propriedades diferentes e minúsculas iguais na mesma propriedade e mesma coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tuckey a 5% de probabilidade.

Os teores de C<sub>fh</sub> e C<sub>fah</sub> também não diferiram entre os tratamentos na mesma propriedade. Os teores de C<sub>fah</sub> não diferiram entre os tratamentos na propriedade de Pedra Dourada, mas em Araponga, mas o teor do C<sub>fah</sub> no solo sob o tratamento com espécies espontâneas foi maior que o solo sob o tratamento com estilosantes. As características bioquímicas da leguminosa estilosantes aportada ao solo mostram baixo teor de lignina, e sendo esse composto um importante precursor na formação das SH no solo, atuando em várias rotas de formação, pode afetar a formação das SH e a perda do material aportado através da mineralização do C (SILVA e MENDOÇA, 2007; MATOS et al., 2008). Já as espécies espontâneas possuem relação C/N alta que desfavorece a mineralização do C aportado e dificulta a perda desse elemento no solo retardando a decomposição dos resíduos vegetais e aumentando o tempo de ciclagem, o que propicia uma condição favorável para a formação das SH (ESPINDOLA, et al., 2006).

O C<sub>fah</sub> foi a fração que sofreu maiores modificações entre os tratamentos, sendo um indicativo de que entre as várias rotas de formação das SH conhecidas, essa é a primeira fração a sofrer modificações conforme a adoção do manejo de aporte de leguminosas e espécies espontâneas constantes. Notou-se um crescimento no teor de C<sub>fah</sub> na profundidade de 5-20 cm, possivelmente por se apresentar na forma solúvel na faixa de pH do solo, ocorrendo menor interação com a fração mineral do solo em relação as outras frações húmicas, acarretando na percolação do material ao longo do perfil (STEVENSON, 1994; SILVA e MENDONÇA, 2007).

Comparando os teores de C entre as propriedades agrícolas na profundidade de 0-5 cm, o teor do C<sub>fh</sub> foi maior no tratamento com estilosantes na propriedade de Araponga. Os teores de C<sub>fah</sub> foram menores nos solos sob os tratamentos com amendoim e calopogônio na propriedade de Araponga. Já na profundidade 5-20 cm, os valores de C<sub>fh</sub> no solo sob espécies espontâneas e C<sub>fah</sub> no solo sob espécies espontâneas e calopogônio foram menores na propriedade de Araponga. As condições ambientais favorecem maiores teores de C na propriedade de Pedra Dourada mesmo esta propriedade se encontrando em local de menor altitude. A face de exposição solar voltada para o sul proporciona ao solo da propriedade de Pedra Dourada um ambiente local com menor incidência de luz, temperatura amena e maior umidade do solo, contribuindo assim para o aumento na fixação do C no solo (FERREIRA et al., 2005; EGLI et al., 2009).

Os teores de N total e N nas SH, com exceção na Nfh na profundidade de 0-5 cm, foram maiores na propriedade de Pedra Dourada (Figura 2).

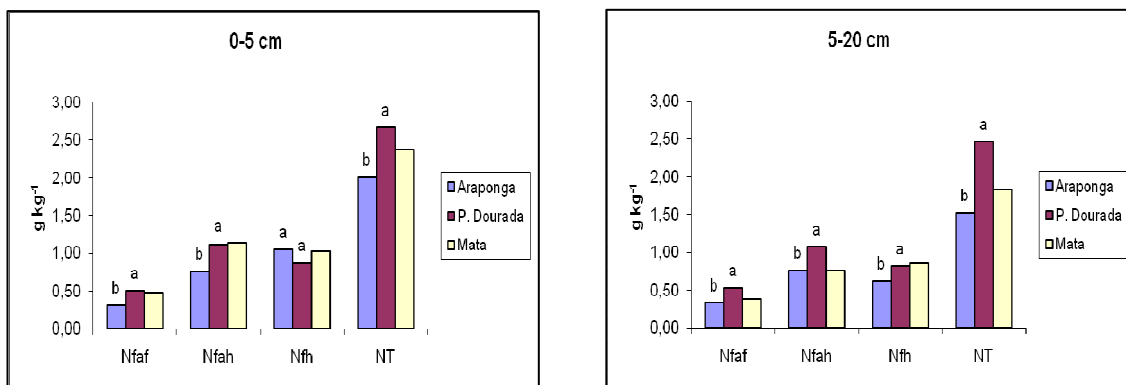


Figura 2: Teor de Nitrogênio total (NT) e na fração humina (Nfh), ácidos fúlvicos (Nfaf) e ácidos húmicos (Nfah) nas profundidades de 0-5 e 5-20 cm nos municípios de Araponga e Pedra Dourada na Zona da Mata Mineira.

Em Araponga os maiores teores de N estão no Nfh, com 49,4 % na profundidade de 0-5 cm e 36,5% na profundidade de 5-20 cm em relação às SH. Na propriedade de Pedra Dourada, os maiores teores N estão na Nfah com 44,0% na profundidade de 0-5 cm e 45,0% na profundidade de 5-20 cm. De modo geral, o N é mais bem distribuído entre as frações, mostrando uma composição química diferente entre as frações das SH com o C predominado pela Cfh e o N mais distribuído entre as frações. O maior teor de Nfh em Araponga pode estar ligado ao maior teor de argila nessa propriedade (VENZKE FILHO et al., 2008), que favorece a interação SH-argila, indicando predomínio da rota de polimerização na formação das SH (Silva e Mendonça, 2007).

Os teores de N Total, Nfaf e Nfah não diferiram entre os tratamentos (Tabela 3). Na propriedade de Pedra Dourada os teores de N total foram acima dos valores de N encontrados na mata 0,29 g kg⁻¹ na profundidade de 0-5 cm e na 0,63 g kg⁻¹ profundidade 5-20 cm.

O solo sob tratamento com espontâneas na propriedade de Pedra Dourada na profundidade de 5-20 cm obteve o maior teor de Nfh em relação aos outros tratamentos. As espécies espontâneas têm maior capacidade de imobilização de N em relação às leguminosas devido a lenta decomposição de plantas gramíneas (presentes em sua maioria nas espécies espontâneas) e a rápida mineralização das leguminosas e liberação do N no solo (ESPINDOLA et al., 2006).

Tabela 3: Teores de N total e nas frações húmicas do solo sob adubação verde e espécies espontâneas em duas propriedades com diferentes condições edafoclimáticas

| Tratamentos   | Nfaf                          | Nfah    | Nfh     | NT      | Nfaf               | Nfah    | Nfh     | NT      |
|---------------|-------------------------------|---------|---------|---------|--------------------|---------|---------|---------|
|               | -----g kg <sup>-1</sup> ----- |         |         |         |                    |         |         |         |
|               | ----- 0-5 cm-----             |         |         |         | ----- 5-20 cm----- |         |         |         |
| Araponga      |                               |         |         |         |                    |         |         |         |
| Amendoim      | 0,29 Ba                       | 0,72 Ba | 1,08 Aa | 2,06 Aa | 0,28 Ba            | 0,76 Ba | 0,64 Aa | 1,70 Ba |
| Calopogônio   | 0,33 Ba                       | 0,72 Ba | 1,09 Aa | 1,73 Aa | 0,39 Aa            | 0,71 Aa | 0,65 Aa | 1,13 Aa |
| Estilosantes  | 0,30 Aa                       | 0,69 Ba | 0,93 Aa | 2,05 Aa | 0,32 Ba            | 0,69 Ba | 0,58 Ba | 1,58 Ba |
| Mucuna        | 0,32 Ba                       | 0,82 Aa | 1,06 Aa | 2,05 Ba | 0,33 Aa            | 0,76 Aa | 0,59 Aa | 1,53 Aa |
| Espontâneas   | 0,29 Ba                       | 0,85 Aa | 1,05 Aa | 2,10 Aa | 0,35 Ba            | 0,87 Ba | 0,64 Ba | 1,64 Ba |
| Pedra Dourada |                               |         |         |         |                    |         |         |         |
| Amendoim      | 0,49 Aa                       | 1,10 Aa | 0,87 Ba | 2,48 Aa | 0,51 Aa            | 1,02 Aa | 0,72 Ab | 2,50 Aa |
| Calopogônio   | 0,52 Aa                       | 1,08 Aa | 0,83 Aa | 2,64 Aa | 0,49 Aa            | 0,97 Aa | 0,78 Ab | 2,08 Aa |
| Estilosantes  | 0,46 Aa                       | 1,05 Aa | 0,76 Aa | 2,48 Aa | 0,50 Aa            | 1,04 Aa | 0,69 Ab | 2,31 Aa |
| Mucuna        | 0,49 Aa                       | 1,08 Aa | 0,75 Aa | 2,64 Aa | 0,51 Aa            | 1,05 Aa | 0,77 Ab | 2,61 Aa |
| Espontâneas   | 0,58 Aa                       | 1,29 Aa | 1,15 Aa | 3,03 Aa | 0,63 Aa            | 1,25 Aa | 1,10 Aa | 2,77 Aa |
| Mata          |                               |         |         |         |                    |         |         |         |
|               | 0,48                          | 1,14    | 1,02    | 2,37    | 0,38               | 0,76    | 0,86    | 1,83    |

Letras maiúsculas iguais entre mesmo tratamento e propriedades diferentes e minúsculas iguais na mesma propriedade e mesma coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tuckey a 5% de probabilidade.

Houve diferença nos teores de N entre os mesmos tratamentos nas duas propriedades estudadas. No N total, o solo sob os tratamentos mucuna na profundidade de 0-5 cm e amendoim, estilosantes e espontâneas na profundidade de 5-20 cm para, no Nfh no solo sob o tratamento amendoim na profundidade de 0-5 cm e nos solos sob os tratamentos estilosantes e espontâneas na profundidade de 5-20 cm, no Nfah para os solos sob os tratamentos com amendoim, calopogônio e estilosantes na profundidade 0-5 cm e amendoim, estilosantes e espontâneas na profundidade de 5-20 cm e no Nfaf para os solos sob os tratamentos com amendoim, calopogônio, estilosantes e espécies espontâneas na profundidade 0-5 cm e amendoim, estilosantes e espécies espontâneas na profundidade de 5-20 cm. As características bioquímicas diversas dos materiais estudados, associado à condição edáfica de cada propriedade promove diferenças na produção de massa seca, acúmulo de nutrientes, aporte de nutrientes ao solo e formação do compartimento protegido do solo, diferenças essas que proporcionam resultados diferentes para o uso das mesmas plantas, acarretando em diferentes teores de elementos entre as propriedades e as espécies (MATOS et al., 2008; EGLI et al., 2009).

A relação CSH/COT no solo de Pedra Dourada apresentou valor alto comparado com o solo de Araponga e na mata (Tabela 4), indicando um ambiente mais favorável a humificação da MOS. Esse resultado se deve a menor taxa de decomposição da matéria

orgânica e menor perda de N na propriedade rural de Pedra Dourada, caracterizando um ambiente mais conservador.

Tabela 4: Relações entre os teores de C nas Substancias Húmicas e relação C/N em duas propriedades com diferentes condições edafoclimáticas

| Propriedade | Cfah+Cfaf/Cfh | CSH/COT | 0-5 cm    |       |
|-------------|---------------|---------|-----------|-------|
|             |               |         | Cfah/Cfaf | C/N   |
| Araponga    | 0,79          | 0,99    | 2,05      | 15,44 |
| P. Dourada  | 1,15          | 1,22    | 1,95      | 10,31 |
| Mata        | 0,86          | 1,05    | 2,25      | 12,69 |
| 5-20 cm     |               |         |           |       |
| Araponga    | 1,13          | 0,95    | 1,78      | 18,97 |
| P. Dourada  | 1,28          | 1,21    | 1,79      | 11,00 |
| Mata        | 0,85          | 1,03    | 1,52      | 11,92 |

Em Araponga a relação (Cfah+Cfaf)/Cfh foi menor em relação a Pedra Dourada, indicando maior estabilidade da MOS. Entretanto, os valores encontrados nos dois locais e na mata foram maiores que os encontrados na literatura (CANELLAS et al., 2004; DIAS et al., 2007). Esse índice nos dá idéia da estabilidade estrutural da MOS, sendo que menores valores indicam maior estabilidade pela presença maior da FH, que é a fração mais estável dentre as SH (CUNHA et al., 2007; MORENO, 1996). Na profundidade de 0-5 cm a relação foi menor, possivelmente pela iluviação da FAF e FAH ao longo do perfil. O solo da propriedade de Pedra Dourada apresenta maior grau de humificação e menor estabilidade de SH, o que indica que há nessa propriedade uma MOS mais humificada, mas com maior ciclagem de C e nutrientes em relação a propriedade de Araponga.

Na relação Cfah/Cfaf foi observado valores superiores a 1, demonstrando o domínio da FAH em relação a FAF. Valores acima de 1 são geralmente encontrados em regiões tropicais, onde a mineralização da matéria orgânica é muito expressiva, principalmente para a FAF, que é uma fração com menor estabilidade em relação às outras frações húmicas (STEVENSON, 1994; CANELLAS et al., 2004). Os valores da relação Cfah/Cfaf na profundidade de 5-20 cm são menores, devido à iluviação da FAF, que é a fração húmica com maior mobilidade no solo (DIAS et al., 2007).

### 3.2 Estoque de C e N totais e nas frações húmicas

A densidade do solo foi  $1,010 \text{ Mg m}^{-3}$  em Araponga,  $1,084 \text{ Mg m}^{-3}$  em Pedra Dourada e  $0,948 \text{ Mg m}^{-3}$  na Mata, que foram utilizadas no cálculo dos estoques. Na soma dos estoques nas duas profundidades, o COT não diferiu entre os solos dos dois locais, entretanto, o estoque das frações húmicas do solo na propriedade de Pedra Dourada foi superior no Cfaf ( $3,60 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), Cfah ( $6,04 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) e na Cfh ( $3,29 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) em relação ao solo da propriedade de Araponga (Figura 3). Os solos de Pedra Dourada também apresentaram valores superiores no NT ( $2,13 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), Nfaf ( $0,47 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), Nfah ( $0,81 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) e Nfh ( $0,32 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) em relação à propriedade de Araponga.

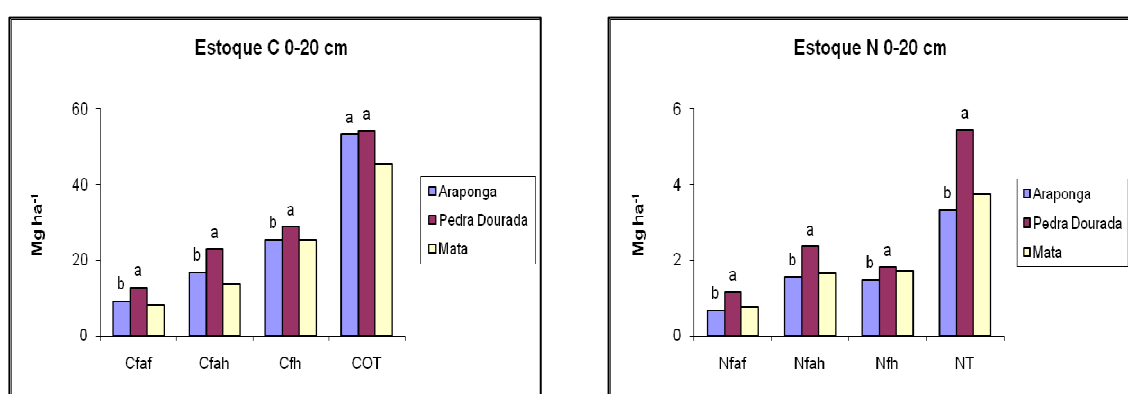


Figura 3: Estoque de Carbono Orgânico Total (COT) e na fração humina (Cfh), ácidos fúlvicos (Cfaf) e ácidos húmicos (Cfah), Nitrogênio total (NT) e na fração humina (Nfh), ácidos fúlvicos (Nfaf) e ácidos húmicos (Nfah) na profundidade de 0-20 cm nos municípios de Araponga e Pedra Dourada na Zona da Mata Mineira. Valores em  $\text{Mg ha}^{-1}$ .

Os estoques de Cfaf e Cfah se apresentaram superiores aos encontrados na mata. O estoque de N na propriedade de Araponga se manteve em todas as frações abaixo dos valores estimados para a mata enquanto que na propriedade de Pedra Dourada o Cfaf e Cfah foram superiores. Apesar do ganho do estoque de C, o aumento foi verificado apenas nas frações mais lábeis das substâncias húmicas, que pelas rotas de formação, são as primeiras a se formarem e que possuem menor tempo de ciclagem no solo (SILVA e MENDONÇA, 2007).

Os estoques de COT e NT não apresentaram diferença estatística, mas o solo sob tratamento com espécies espontâneas na propriedade de Pedra Dourada foi o que apresentou maiores estoques de COT ( $61,01 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) e NT ( $6,14 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) (Tabela 5). Esse fato pode ser explicado pelo grande volume de raízes que as gramíneas possuem contribuindo para o estoque de C e N no solo. O tipo de manejo também é condição importante no estoque de C ao solo, podendo até possuir valores acima dos encontrados em matas (SILVA e MENDONÇA, 2007). O aumento dos teores de N aportados ao



solo nos tratamentos com leguminosas através da fixação biológica de N aumenta a atividade biológica no solo e pode desencadear um processo conhecido como efeito priming, que pode consumir tanto as formas de C lábeis como a do material protegido, principalmente no inicialmente ao aporte dos resíduos, diminuindo o estoque de C no solo onde há o cultivo das leguminosas, principalmente em ambientes onde a ciclagem é mais expressiva (KUZYAKOV et al., 2000). Entretanto, a medida que o aporte se torna constante, o N passa a ser peça fundamental na estabilização da MOS, sendo constituinte primordial para a formação das frações húmicas mais recalcitrantes (STEVENSON, 1994).

Apesar da deposição do material ter sido na superfície, não foi observado maior proporção dos estoques de C e N na profundidade de 0-5 cm. Na região da superfície ocorrem aportes constantes do material, entretanto o material está sujeito à maior mineralização, ao passo que ao longo do perfil, a MOS fica protegida diminuindo as perdas e mantendo estoques consideráveis de C e N (FARIA et al., 2004; NASCIMENTO et al., 2003).

Tabela 5: Estoque de C e N no solo e nas Substâncias Húmicas sob adubação verde e espécies espontâneas em duas propriedades com diferentes condições edafoclimáticas.

| Tratamentos   | C <sub>FAF</sub> | C <sub>FAH</sub> | C <sub>FH</sub> | C Total | N <sub>FAF</sub> | N <sub>FAH</sub> | N <sub>FH</sub> | N Total |
|---------------|------------------|------------------|-----------------|---------|------------------|------------------|-----------------|---------|
| 0,00 - 0,05 m |                  |                  |                 |         |                  |                  |                 |         |
| Araponga      |                  |                  |                 |         |                  |                  |                 |         |
| Amendoim      | 2,07 ab          | 3,97 a           | 8,29 a          | 14,59 a | 0,15 a           | 0,37 a           | 0,55 a          | 1,04 a  |
| Calopogônio   | 2,12 ab          | 4,47 a           | 8,49 a          | 15,11 a | 0,17 a           | 0,36 a           | 0,55 a          | 0,87 a  |
| Estilosantes  | 1,92 b           | 4,27 a           | 7,80 a          | 14,77 a | 0,15 a           | 0,35 a           | 0,47 a          | 1,03 a  |
| Mucuna        | 2,19 ab          | 4,29 a           | 8,55 a          | 15,01 a | 0,16 a           | 0,41 a           | 0,54 a          | 1,04 a  |
| Espontaneas   | 2,31 a           | 4,67 a           | 8,44 a          | 15,00 a | 0,15 a           | 0,43 a           | 0,53 a          | 1,06 a  |
| Média         | 2,12             | 4,34             | 8,32            | 14,90   | 0,16             | 0,38             | 0,53            | 1,01    |
| Pedra Dourada |                  |                  |                 |         |                  |                  |                 |         |
| Amendoim      | 2,85 a           | 5,72 a           | 7,46 a          | 15,31 a | 0,27 a           | 0,60 a           | 0,47 a          | 1,35 a  |
| Calopogônio   | 2,95 a           | 5,87 a           | 7,88 a          | 12,75 a | 0,28 a           | 0,59 a           | 0,45 a          | 1,43 a  |
| Estilosantes  | 3,08 a           | 5,65 a           | 7,57 a          | 14,80 a | 0,25 a           | 0,57 a           | 0,41 a          | 1,35 a  |
| Mucuna        | 3,54 a           | 5,72 a           | 7,92 a          | 14,09 a | 0,26 a           | 0,58 a           | 0,41 a          | 1,43 a  |
| Espontaneas   | 3,41 a           | 6,75 a           | 8,81 a          | 15,17 a | 0,31 a           | 0,70 a           | 0,62 a          | 1,64 a  |
| Média         | 3,17             | 5,94             | 7,93            | 14,42   | 0,27             | 0,61             | 0,47            | 1,44    |
| Mata          |                  |                  |                 |         |                  |                  |                 |         |
|               | 2,13             | 4,78             | 8,02            | 14,24   | 0,23             | 0,54             | 0,48            | 1,12    |
| 0,05 - 0,20 m |                  |                  |                 |         |                  |                  |                 |         |
| Araponga      |                  |                  |                 |         |                  |                  |                 |         |
| Amendoim      | 7,11 ab          | 12,50 a          | 17,35 a         | 37,78 a | 0,43 a           | 1,16 a           | 0,98 a          | 2,58 a  |
| Calopogônio   | 6,78 ab          | 11,80 a          | 17,67 a         | 38,34 a | 0,59 a           | 1,07 a           | 0,99 a          | 1,72 a  |
| Estilosantes  | 6,44 b           | 11,36 a          | 16,46 a         | 37,56 a | 0,48 a           | 1,04 a           | 0,88 a          | 2,39 a  |
| Mucuna        | 6,79 ab          | 12,64 a          | 16,34 a         | 37,94 a | 0,51 a           | 1,15 a           | 0,90 a          | 2,31 a  |
| Espontaneas   | 7,53 a           | 13,15 a          | 17,32 a         | 38,94 a | 0,53 a           | 1,32 a           | 0,97 a          | 2,48 a  |
| Média         | 6,93             | 12,29            | 17,03           | 38,11   | 0,51             | 1,15             | 0,94            | 2,29    |
| Pedra Dourada |                  |                  |                 |         |                  |                  |                 |         |
| Amendoim      | 9,07 a           | 16,76 a          | 19,14 a         | 36,04 a | 0,84 a           | 1,65 a           | 1,17 b          | 4,07 a  |
| Calopogônio   | 9,39 a           | 16,42 a          | 20,78 a         | 37,42 a | 0,80 a           | 1,58 a           | 1,27 b          | 3,38 a  |
| Estilosantes  | 9,50 a           | 16,01 a          | 19,34 a         | 41,30 a | 0,81 a           | 1,70 a           | 1,12 b          | 3,76 a  |
| Mucuna        | 9,41 a           | 15,91 a          | 18,95 a         | 37,36 a | 0,84 a           | 1,71 a           | 1,26 b          | 4,25 a  |
| Espontaneas   | 10,04 a          | 18,49 a          | 25,31 a         | 45,84 a | 1,02 a           | 2,04 a           | 1,78 a          | 4,50 a  |
| Média         | 9,48             | 16,72            | 20,70           | 39,59   | 0,86             | 1,73             | 1,32            | 3,99    |
| Mata          |                  |                  |                 |         |                  |                  |                 |         |
|               | 5,81             | 8,83             | 17,17           | 30,99   | 0,54             | 1,08             | 1,23            | 2,60    |
| 0,05 - 0,20 m |                  |                  |                 |         |                  |                  |                 |         |
| Araponga      |                  |                  |                 |         |                  |                  |                 |         |
| Amendoim      | 9,17 ab          | 16,47 a          | 25,64 a         | 52,37 a | 0,58 a           | 1,52 a           | 1,52 a          | 3,62 a  |
| Calopogônio   | 8,89 ab          | 16,27 a          | 26,16 a         | 53,45 a | 0,76 a           | 1,44 a           | 1,54 a          | 2,59 a  |
| Estilosantes  | 8,36 b           | 15,64 a          | 24,26 a         | 52,33 a | 0,63 a           | 1,39 a           | 1,35 a          | 3,42 a  |
| Mucuna        | 8,98 ab          | 16,93 a          | 24,89 a         | 52,95 a | 0,67 a           | 1,57 a           | 1,43 a          | 3,35 a  |
| Espontaneas   | 9,83 a           | 17,82 a          | 25,77 a         | 53,94 a | 0,67 a           | 1,75 a           | 1,50 a          | 3,54 a  |
| Média         | 9,05             | 16,63            | 25,34           | 53,01   | 0,66             | 1,53             | 1,47            | 3,30    |
| Pedra Dourada |                  |                  |                 |         |                  |                  |                 |         |
| Amendoim      | 11,92 a          | 22,48 a          | 26,60 a         | 51,35 a | 1,10 a           | 2,25 a           | 1,64 ab         | 5,42 a  |
| Calopogônio   | 12,34 a          | 22,29 a          | 28,66 a         | 50,17 a | 1,09 a           | 2,16 a           | 1,72 ab         | 4,81 a  |
| Estilosantes  | 12,59 a          | 21,66 a          | 26,91 a         | 56,10 a | 1,05 a           | 2,27 a           | 1,54 b          | 5,11 a  |
| Mucuna        | 12,94 a          | 21,63 a          | 26,87 a         | 51,44 a | 1,10 a           | 2,29 a           | 1,66 ab         | 5,68 a  |
| Espontaneas   | 13,45 a          | 25,24 a          | 34,12 a         | 61,01 a | 1,33 a           | 2,74 a           | 2,41 a          | 6,14 a  |
| Média         | 12,65            | 22,66            | 28,63           | 54,01   | 1,13             | 2,34             | 1,79            | 5,43    |
| Mata          |                  |                  |                 |         |                  |                  |                 |         |
|               | 7,94             | 13,61            | 25,19           | 45,23   | 0,77             | 1,63             | 1,71            | 3,72    |

Médias com a mesma letra na mesma propriedade e profundidade não diferem estatisticamente pelo teste Tuckey a 5% de significância.

#### 4. CONCLUSÕES

O manejo com leguminosas e espécies espontâneas utilizadas como adubos verdes possuem capacidade de manutenção dos teores de COT, NT e dos teores de C e N das SHs no solo, mantendo-se em valores próximos aos encontrados em mata natural. As espécies espontâneas foram eficientes nos estoques de C e N no solo tanto quanto as leguminosas estudadas.

O manejo com leguminosas e espécies espontâneas após 4 anos de cultivo aumentou os teores na fração húmica mais lábil (FAF), o que não foi verificado nas frações mais recalcitrantes (FAH e FH). Os teores de C e N na FH foram superiores as outras frações húmicas do solo.

As condições edafoclimáticas influenciam na formação e no estoque de C e N totais e das SH, sendo que na propriedade sob condições de menor temperatura e insolação apresentou, de modo geral, maiores estoques de C e N. O efeito da condição climática foi superior ao efeito do teor de argila na manutenção da matéria orgânica do solo na região de mar de morros.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BREMER NETO, H.; VICTÓRIA FILHO, R.; MOURÃO FILHO, F.A.A.; MENEZES, G.M.; CANALI, E. Estado nutricional e produção de laranja 'Pêra' em função da vegetação intercalar e cobertura morta. *Pesq. agropec. bras.*, 43:29-35, 2008.
- CANELLAS, L.P.; ESPINDOLA, J.A.A.; REZENDE, C.E.; CAMARGO, P.B.; ZANDONADI, D.B.; RUMJANEK, V.M.; GUERRA, J.G.M.; TEIXEIRA, M.G.; BRAZ-FILHO, R. Organic matter quality in a soil cultivated with perennial herbaceous legumes. *Sci. Agric.*, 61:53-61, 2004.
- CANELLAS, L.P.; MENDONÇA, E.S.; DOBBS, L.B.; BALDOTTO, M.A.; VELLOSO, A.C.X.; SANTOS, G.A.; AMARAL SOBRINHO, M.B. Reações da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. 2ª Ed. Porto Alegre, Metrópole, 2008. p. 45-63.
- CUNHA, T.J.F.; CANELLAS, L.P.; SANTOS, G.A.; RIBEIRO, L.P. Fracionamento da matéria orgânica humificada de solos brasileiros. In: CANELLAS, L.P.; SANTOS, G.A. *Humosfera: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas*. 1ª Ed. Campos dos Goytacazes. 2005. p. 54-80.
- DIAS, B.O.; SILVA, C.A.; SOARES, E.M.B.; BETTIOL, W. Estoque de carbono e quantificação de substâncias húmicas em latossolo submetido a aplicação contínua de lodo de esgoto. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:701-711, 2007.
- EGLI, M.; SARTORI, G.; MIRABELLA, A.; FAVILLI, F.; GIACCAI, D.; DELBOS, E. Effect of North and South exposure on organic matter in high Alpine soils. *Geoderma*, 149:124-136, 2009.
- EMBRAPA. *Manual de métodos de análise de solo*. 2ª ed. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- ESPINDOLA, J.A.A.; GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D.L.; TEIXEIRA, M.G.; URQUIAGA, S. Decomposição e liberação de nutrientes acumulados em

- leguminosas herbáceas perenes consorciadas com bananeiras. R. Bras. Ci. Solo, 30:321-328, 2006.
- FARIA, C.M.B.; SOARES, J.M.; LEÃO, P.C.S. Adubação verde com leguminosas em videira no submédio São Francisco. R. Bras. Ci. Solo, 28:641-648, 2004.
- FERREIRA, F.P.; AZEVEDO, A.C.; WAPPLER, D.; KANIESKI, A.J.; GIRELLI, D.; PEDROTTI, J. Exposição solar e propriedades do solo em Santa Maria – Rs. R. bras. Agrociência, 11:377-381, 2005.
- FONTANA, A.; PEREIRA, M.G.; LOSS, A.; CUNHA, T.J.F.; SALTON, J.C. Atributos de fertilidade e frações húmicas de um Latossolo Vermelho no Cerrado. Pesq. agropec. bras., 41:847-853, 2006.
- FUNARBE. Sistema para análises estatísticas – SAEG, versão 9.1. Viçosa, 2006.
- HEINRICHS, R.; VITTI, G.C; MOREIRA, A.; FIGUEIREDO, P.A.M.; FANCELLI, A.; CORAZZA, E.J. Características químicas de solo e rendimento de fitomassa de adubos verdes e de grãos de milho, decorrente do cultivo consorciado. R. Bras. Ci. Solo, 29:71-79, 2005.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2007: Synthesis Report. Disponível em <<http://www.ipcc.ch/ipccreports/assessments-reports.htm>>. Acesso em 10 de abril de 2009.
- JOBÁGY, E.G. e JACKSON, R. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. Ecological Applications, 10:423– 436, 2000.
- KUZYAKOV, Y.; FRIEDEL, J.K.; STAHR, K. Review of mechanisms and quantification of priming effects. Soil Biology e Biochemistry, 32:1485-1498.
- LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. Geoderma 123:1 –22, 2004.
- LIMA, P.C.; MOURA, W.M; AZEVEDO, M.S.F.R; CARVALHO, A.F. Estabelecimento de cafezal orgânico. Informe Agropecuário, 23:33-52, 2002.
- MATOS, E.S.; MENDONÇA, E.S.; LIMA, P.C.; COELHO, M.S.; MATEUS, R.F.; CARDOSO, I.M. Green manure in coffee systems in the region of Zona da Mata, Minas Gerais: characteristics and kinetics of carbon and nitrogen mineralization. R. Bras. Ci. Solo, 32:2027-2035, 2008.

- MENDONÇA, E.S.; MATOS, E.S. *Matéria orgânica do solo: métodos de análises*. 1ª Ed. Viçosa, UFV, 2005. 107 p.
- MORENO, J.L. *La matéria oránica en los agrosistemas*. Madri, Ministério Agricultura, 1996. 176p.
- MOURA, W.M.; LIMA, P.C.; SOUZA, H.N.; CARDOSO, I.M.; MENDONÇA, E.S.; PERTEL, J. *Pesquisas em sistemas agroecológicos e orgânicos da cafeicultura familiar na Zona da Mata mineira*. *Informe Agropecuário*, 26:46-75, 2005.
- NASCIMENTO, J.T.; SILVA, I.F.; SANTIAGO, R.D.; SILVA NETO, L.F. *Efeito de leguminosas nas características químicas e matéria orgânica de um solo degradado*. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, 7:457-462, 2003.
- REES, R.M.; BINGHAM, I.J.; BADDELEY, J.A.; WATSON, C.A. *The role of plants and land management in sequestering soil carbon in temperate arable and grassland ecosystems*. *Geoderma*, 128:130– 154, 2005.
- RICCI, M.S.F.; ALVES, B.J.R.; MIRANDA, S.C.; OLIVEIRA, F.F. *Growth rate and nutritional status of an organic coffee cropping system*. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)*, 62:138-144, 2005.
- SCHIAVO, J. A., CANELLAS, L. P., MARTINS, M. A. *Revegetação de cava de extração de argila com acacia mangium. I - atributos químicos do solo, ácidos fúlvicos e húmicos*. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:1153-1162, 2007
- SILVA, I.R.; MENDONÇA, E.S. *Matéria Orgânica do Solo*. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.L. *Fertilidade do Solo*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, 2007. p. 275-374.
- STEVENSON, F.J. *Humus chemistry: genesis, composition, reactions*. Second edition ed, John Wiley & Sons, 1994. 496p.
- SWIFT, R.S. *Organic matter characterization*. In: SPARKS, K. *Methods of soil analysis part 3: chemical methods*. Soil Sci. Soc. Am., Madison, 1996, p. 1011– 1020.
- TISDALL, J.M.; OADES, J.M. *Organic matter and water-stable aggregates in soils*. *J. Soil Sci.*, 33:141-163, 1982.

UNITED NATIONS. Kyoto protocol to the united nations framework convention on climate change. 1998. 20p.

VENZKE FILHO, S. P.; FEIGL, B.J.; PICCOLO, M.C.; SIQUEIRA NETO, M.; CERRI, C.C. Biomassa microbiana do solo em sistema de plantio direto na região de Campos Gerais - Tibagi, PR. R. Bras. Ci. Solo, 32:599-610, 2008.

YEOMANS, J.C. e BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 19: 1467-1476, 1988.

## **CAPÍTULO 2**

### **USO DE LEGUMINOSAS NA QUALIDADE DA MATÉRIA ORGÂNICA DE SOLOS SOB CULTIVO ORGÂNICO DE CAFÉ**

#### **RESUMO**

O aporte de resíduos orgânicos, associado ao processo de humificação promove melhoria das características do solo e garantem ao agricultor a manutenção do sistema produtivo. As leguminosas visam, além do fornecimento de nutrientes para o café, melhorar a qualidade da matéria orgânica do solo com a formação das substâncias húmicas. O objetivo deste trabalho foi avaliar o uso de leguminosas como adubo verde na qualidade das substâncias húmicas em diferentes condições edafoclimáticas. Foram cultivadas as espécies leguminosas amendoim forrageiro, calopogônio, estilosantes, mucuna e espécies espontâneas durante 4 anos em duas propriedades de agricultores familiares. Após 4 anos foi realizado a coleta de solo, extração e purificação das SH para obtenção dos ácidos fúlvicos (AF) e húmicos (AH). Foram realizadas análise elementar (CHNO), espectros no UV-Visível e Infra Vermelho e Termogravimetria do material purificado. Os resultados mostraram que AH possuem maior peso molecular, hidrofobicidade, condensação, e compostos aromáticos com maior teor de C, conferindo estabilidade estrutural em relação aos AF. O ambiente voltado para face sul, com menor incidência de luz, menor temperatura e maior umidade, possui substâncias húmicas estruturalmente estáveis e resistentes a degradação. O tratamento com calopogônio apresentou baixo teor de C e elevado teor de O na composição do AF, caracterizando compostos de menor estabilidade estrutural, indicando ser o calopogônio material de fácil mineralização. Os tratamentos estilosantes, mucuna e espontâneas favoreceram a formação de AF com maior estabilidade estrutural do que o tratamento com e calopogônio, portanto materiais de mais difícil decomposição. Nos AH, o uso das leguminosas influenciaram pouco suas características estruturais, provavelmente devido ao tempo de adoção do manejo das leguminosas (4 anos).

Palavras-chave: agricultura familiar, leguminosa, ácidos fúlvicos, ácidos húmicos.



## CHAPTER 2

### LEGUMINOUS USE IN THE SOIL ORGANIC MATTER QUALITY UNDER ORGANIC COFFEE CULTIVATION

#### ABSTRACT

The contribution of organic residues, associate to the humification process promotes improvement of the characteristics of the soil and they guarantee to the farmer the maintenance of the productive system. The leguminous seek, besides the supply of nutrients for the coffee, to improve the quality of the organic matter of the soil with the Humic Substances (HS) formation. The objective of this work was to evaluate the leguminous use as green manure in the quality of the HS in different edaphic conditions. Four leguminous species were cultivated between the coffee lines: *Arachis pintoi*, *Calopogonium mucunoides*, *Stylozanthes guyanensis*, *Stizolobium aterrimum* and spontaneous species, with prevalence of the *Brachiaria plantaginea*, during 4 years in family farmers of Araponga-MG (northwest exposure) and Pedra Dourada-MG (south exposure) in the region of the Zona da Mata of Minas Gerais. After the manure, was collected the soil and extracted and purified for obtaining of the fulvic acids (FA) and humic acids (HA). FA and HA were accomplished elementary analysis (CHNO), UV-visible spectroscopy, Infra Red spectroscopy and termogravimetric. HA possesses larger weight molecular, larger hidrofobicity and larger condensation, for the presence of larger proportion of aromatic compositions and with larger content of C, checking larger structural stability in relation to FA. The under larger light incidence and temperature and smaller humidity, due to face of exposure northwest solar presented in FA, larger relationship O/C, relationship E4/E6, relationship 3300/1700 and value of inferior ITG, favoring the formation of FA with larger mass molar in relation to the the farm under smaller light incidence and larger humidity. In HA, the treatments obtained little effect due to the time of handling of the leguminous that they were for only 4 years. Among the leguminous, in FA, the treatment with *Calopogonium mucunoides* presented low content of C and high content of O in his composition, corroborating for the mass loss the temperature lowers, characterizing a material of easy mineralization. Already the treatment with *Stylozanthes guyanensis* provided FA with smaller molecular weight.

**Key words:** family agriculture, leguminous, fulvic acids, humic acids.

## 2. INTRODUÇÃO

A matéria orgânica do solo (MOS) é dividida em compartimentos conforme o grau de decomposição e de estabilização. O compartimento ativo, composto pelos microrganismos e compostos orgânicos solúveis, o compartimento lento composto pelos resíduos recentemente aportados e o compartimento passivo que possui maior recalcitrância e tempo de ciclagem longo (STEVENSON, 1994). Dentre estes compartimentos, o compartimento passivo é o principal constituinte da MOS, que tem como principal componente as substâncias húmicas (SH). As SH contribuem com cerca de 85 a 90 % do carbono orgânico do solo (ANDREUX, 1996).

O uso de leguminosas como adubo verde é uma prática amplamente usada por agricultores familiares da Zona da Mata Mineira. Essa região é caracterizada por um relevo montanhoso e solos de baixa fertilidade natural (MOURA et al., 2005). Existem vários estudos mostrando que a adubação verde promove melhorias nas características químicas e físicas do solo (FARIA et al., 2004; SILVA et al., 2007) enquanto outros mostram que o uso de leguminosas não alteraram essas características (NASCIMENTO et al., 2005; BREMER NETO et al., 2008; CANELLAS et al., 2004).

MATOS et al., (2008) estudando diversas espécies leguminosas quanto a produção de biomassa, taxa de decomposição e liberação de nutrientes no solo, encontrou resultados contrastantes em áreas de características edafoclimáticas distintas do local, atribuído principalmente pelas diferenças em temperatura, altitude e exposição solar da área. Em ambientes de relevo montanhoso, a exposição solar é uma característica importante a ser considerada quando se estuda a dinâmica da MOS. No hemisfério sul, a trajetória do sol sofre declinação para o norte, acarretando em menor irradiação na face voltada para o sul, corroborando para diminuição da temperatura e aumento da umidade no solo nesta face (FERREIRA et al., 2005). Neste contexto, EGLI, et al. (2009), no hemisfério norte, (que ocorre o inverso em relação ao hemisfério sul), encontraram valores de carbono orgânico do solo maiores na face norte, indicando que locais que possuem menor temperatura e maior umidade estocam mais C, além de diferenças na atividade microbiana e na dinâmica da ciclagem do material aportado.

As SH são separadas em fração húmica (FH), fração ácidos fúlvicos (FAF) e fração ácidos húmicos (FAH), por meio de uso de soluções alcalinas e ácidas (SCHIAVO et al., 2007). As SH são quimicamente distintas, havendo diferenciações na

coloração, composição elementar (C, H, N, O e S), massa molecular, presença de grupos funcionais e grau de polimerização (STEVENSON, 1994).

A composição elementar das SH indica que elas possuem variação nos teores de C, H, N e O, sendo que no geral apresentam uma ordem de grandeza  $C > O > H > N$  e as razões entre estes elementos nos permite inferir sobre o grau de maturidade do material (CUNHA et al., 2005). A razão H/C tem sido usada como indicador direto do grau de aromaticidade/alifacidade, sendo valores maiores para a relação um indicativo de proporção mais alta de compostos alifáticos na estrutura das SH. Já a relação O/C é um indicativo da presença dos grupamentos carboxílicos e carboidratos, quanto maior o valor da relação maior condensação da MOS (SILVA e MENDONÇA, 2007).

A espectroscopia na região do UV-Visível nos permite avaliar uma série de características importantes tais como o grau de humificação, capacidade de complexação, constantes de dissociação, além de ser de fácil manuseio, rapidez e baixo custo operacional (CERETTA et al., 2008). Já a espectroscopia na faixa do Infravermelho (IV) fornece maior quantidade de bandas de absorção bem definidas. Essas bandas fornecem um conjunto de informações estruturais relevantes sobre as SH e sua reatividade (CANELLAS e RUMJANEK, 2005b). A mais poderosa aplicação da espectroscopia do Infra Vermelho é a possibilidade se estabelecer a identidade da amostra e se verificar as diferenças entre os manejos adotados. O uso de relações entre pontos de absorção em específicos grupos de compostos nos espectros de IV é uma alternativa para a avaliação dos manejos aplicados. As relações de absorção 2900/3300 e 2900/1600 relacionam os grupamentos C-H (baixa polaridade) com os grupamentos OH e COO<sup>-</sup> (alta polaridade), indicando a característica de hidrofobicidade da molécula. Já a relação 3300/1700 relaciona a proporção de grupamentos OH em relação aos grupamentos C=O, sendo quanto menor o valor da relação, maior o grau de aromaticidade da substância (CANELLAS et al., 2004).

A análise termogravimétrica, apesar de não propiciar uma identificação individual dos compostos que formam os ácidos húmicos e fúlvicos, fornece algumas informações sobre parâmetros básicos devido a perda de massa em temperaturas específicas. Em temperaturas inferiores a 200° C, moléculas alifáticas, grupos polares e aromáticos simples são degradados, na faixa de 200 a 300° C há a degradação de frações poliaromáticas e a temperaturas superiores a 400° C há a degradação das frações poliheterocíclicas (PERTUSATTI, 2007; BENITES et al., 2005). As derivadas dos gráficos da termogravimetria são caracterizados por 3 picos. O primeiro se refere a

umidade e se encontra na faixa de 0 a 105°C, e os outros dois são a perda por ignição no primeiro evento (105-350°C) e (PPI) no segundo evento (350-650°C). A razão entre a PPI no segundo evento e PPI no primeiro evento é chamado de Índice Termogravimétrico (ITG), sendo que quanto maior os valores, maior é a proporção de compostos recalcitrantes nas substâncias (SHURYGINA et al., 1971). De modo geral a FAF apresenta menor ITG em relação à FAH, evidenciando a maior quantidade de cadeias alifáticas e facilidade de termodegradação do material (BENITES et al., 2005; CUNHA et al., 2007; MORAIS, 2007).

Os estudos referentes ao uso de leguminosas se restringem principalmente a produção de biomassa vegetal, acúmulo de nutriente e dinâmica do N, e há poucos enfatizando o seu papel na formação e, principalmente, na qualidade das SH, justificando a realização desse trabalho. O objetivo do trabalho foi avaliar o impacto do uso de leguminosas como adubo verde na qualidade das Substâncias Húmicas em diferentes condições edafoclimáticas na Zona da Mata de Minas Gerais.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Área de Estudo

A partir de 1993, uma parceria entre o Sindicato dos Produtores Rurais de várias cidades da Zona da Mata, o Departamento de Solos da UFV, EPAMIG/CTZM e o CTA-ZM busca alternativas para a manutenção dos sistemas produtivos da região. Este trabalho foi conduzido em pesquisas de campo, onde os próprios agricultores executaram as atividades de condução do experimento, visando maior aproximação do pesquisador e o agricultor.

O experimento foi conduzido em duas unidades experimentais, instaladas em áreas de agricultores familiares A propriedade localizada no município de Araponga-MG está situada a 20° 38' de latitude sul e 42° 31' de longitude oeste, a uma altitude média de 950 m, temperatura média anual máxima de 34,2 °C e mínima de 12,1°C, precipitação de 1320 mm e a lavoura possui face de exposição ao sol noroeste. A propriedade localizada no município de Pedra Dourada-MG está situada a 20° 50' de latitude sul e 42° 08' de longitude oeste, com altitude média de 690 m, temperatura média anual máxima de 33,5 °C e mínima de 11,4 °C, precipitação de 1277 mm e a lavoura possui face de exposição ao sol sul. Os solos das duas áreas de estudo foram classificados como Latossolo Vermelho-Amarelo e as características químicas e físicas das duas localidades na época da montagem do experimento na profundidade de 0-20 cm estão presentes na Tabela 1.

Em cada unidade foram plantadas quatro cultivares de café resistente à ferrugem (Oeiras, Icatu, Obatã e Catucaí) em espaçamento 2,8–3,0 x 0,5–0,8m, em delineamento em 4 blocos casualizados, com 30 a 40 plantas por bloco, dispostas linearmente. Os cafezais foram conduzidos em sistema orgânico desde a formação das mudas e, no início do experimento, todas as lavouras encontrava-se em fase de formação (segundo e terceiro ano pós-plantio).

Anteriormente ao plantio das leguminosas, foi realizada a correção dos solos de acordo com as recomendações da Comissão de Fertilidade do Solo para o Estado de Minas Gerais (RIBEIRO et al., 1999). A adubação e correção do solo de Araponga foi realizada aplicando-se 260 kg ha<sup>-1</sup> de calcário, 64 kg ha<sup>-1</sup> de gesso, 125 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de potássio e 800 kg ha<sup>-1</sup> de termofosfato, respectivamente. Já em Pedra

Dourada utilizou-se 1200 kg ha<sup>-1</sup> de calcário e 300 kg ha<sup>-1</sup> de gesso, 125 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de potássio e 800 kg ha<sup>-1</sup> de termofosfato.

Tabela 1: Análise química e física dos solos das propriedades

| <b>Análise química</b>   | Araponga | Pedra Dourada |
|--|----------|---------------|
| pH em água (1:2,5)   | 5,24     | 5,04          |
| Alumínio trocável (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup> | 0,47     | 0,59          |
| Fósforo (mg/dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>                          | 1,00     | 2,92          |
| Potássio (mg/dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>                         | 59,8     | 53,5          |
| Cálcio (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>2</sup>            | 1,74     | 0,99          |
| Magnésio (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>2</sup>          | 0,74     | 0,47          |
| Carbono orgânico (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>3</sup>                  | 29,0     | 36,8          |
| Zinco (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>                            | 1,17     | 1,56          |
| Ferro (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>                            | 40,7     | 14,7          |
| Manganês (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>                         | 10,4     | 20,2          |
| Cobre (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>                            | 0,50     | 0,38          |
| <b>Análise granulométrica</b>  | Araponga | Pedra Dourada |
| Areia 0-5 cm (%)   | 38       | 38            |
| Areia 0-5 cm (%)   | 37       | 34            |
| Argila 5-20 cm(%)  | 46       | 53            |
| Argila 5-20 cm(%)  | 49       | 52            |
| Classe textural  | Argiloso | Argiloso      |

<sup>1</sup> - Mehlich-1; <sup>2</sup> - Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, Al<sup>+3</sup> : KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; <sup>3</sup> - C org. Walkley Black (MATOS, 2005)

Foram cultivadas nas entrelinhas do café quatro espécies de leguminosas herbáceas: amendoim forrageiro (*Arachis pintoi*), calopogônio (*Calopogonium mucunoides*), estilosantes (*Stylozanthos guyanensis*) e mucuna preta (*Stizolobium aterrimum*). Em uma parcela não foi plantada nenhuma leguminosa, mas manteve-se no local as espécies espontâneas, com predomínio do capim marmelada (*Brachiaria plantaginea*). As parcelas foram de 2 x 2m, compreendendo um esquema fatorial 2 x 5 x 4 (dois locais, e cinco tratamentos (leguminosas e espontâneas) e quatro blocos).

No primeiro ano de cultivo, foi realizada 3 adubações de 150g de torta de mamona por planta, 60g de sulfato de potássio por planta e mais 150g m<sup>-2</sup> de calcário na linha e na rua. No segundo ano, na rua aplicou-se 120g m<sup>-2</sup> de calcário, 80 g m<sup>-2</sup> de termofosfato e 20 g m<sup>-2</sup> de sulfato de potássio. Já na rua foi aplicado 400g de torta de mamona por planta dividido em 4 aplicações ao longo do período de chuvas mais 200g

por planta de sulfato de potássio. No terceiro e quarto ano, na rua foi aplicado 120g m<sup>-2</sup> de calcário, 80 g m<sup>-2</sup> de termofosfato e 20 g m<sup>-2</sup> de sulfato de potássio. Na linha foi aplicado 750g por planta de torta de mamona dividida em 3 aplicações e 200g por planta de sulfato de potássio.

As leguminosas foram semeadas por 4 anos consecutivos, sempre no início do período chuvoso. Quando as leguminosas atingiram o estágio de floração (em média 150 dias), a parte aérea foi cortada, pesadas e uniformemente disposta sob a saia do cafeeiro (Tabela 2). Este processo ocorreu por quatro anos consecutivos de experimentação. O manejo com as espécies espontâneas foi idêntico ao das leguminosas.

Tabela 2: Produção de fitomassa de adubos verde e espécies espontâneas em duas propriedades com diferentes condições edafoclimáticas.

| Adubo verde  | Araponga                        | Pedra Dourada  |
|--------------|---------------------------------|----------------|
|              | ----- Mg.ha <sup>-1</sup> ----- |                |
| Amendoim     | 5.96 (± 0,38)                   | 4.95 (± 0,30)  |
| Calopogônio  | 9.92 (± 1,44)                   | 7.18 (± 0,75)  |
| Estilosantes | 9.07 (± 0,79)                   | 11.84 (± 0,90) |
| Mucuna       | 12.40 (± 0,98)                  | 12.15 (± 1,12) |
| Espontâneas  | 6.42 (± 0,83)                   | 4.74 (± 2,32)  |

Valores entre parênteses representam o desvio-padrão da média (n=4), sendo n o número de anos.

Um mês após o corte no quarto ano, foi realizada a coleta de amostras de solo nas ruas do cafezal para posteriores análises. As coletas das amostras de solo foram realizadas nas profundidades de 0-5 e 5-20 cm. Todo o material foi seco ao ar e peneirado em peneira de 2 mm, para obtenção da TFSA. Para a purificação, as amostras nas duas profundidades foram juntadas, respeitando as proporções. Foi realizada também a coleta de amostras de solo, nas mesmas profundidades, em uma mata nativa localizada nas proximidades de Araponga, para a comparação entre os estoques de C e N na área de cultivo e na área nativa.

## 2.2 Caracterização dos Ácidos Húmicos e Fúlvicos

Os ácidos húmicos (AH) e ácidos fúlvicos (AF) foram extraídos, purificados e liofilizados conforme a IHSS (SWIFT, 1996). A extração foi realizada utilizando solução alcalina (NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup>, na proporção de 10 ml por grama de solo) para

solubilização das frações ácidos húmicos e fulvicos e separação por centrifugação. Após a separação por centrifugação, o extrato húmico foi acidificado à pH 2,0 pra separação das duas frações por centrifugação. Os AF foram purificados usando duas colunas com as resinas XAD-8 e Amberlite IR 120<sup>+</sup> para a eliminação de impurezas e sais, sendo em seguida congelados e liofilizados, obtendo o material seco para análises. Os AH foram purificados por meio de 15 ataques com solução de HF 10% + HCl 0,5% para a remoção da fração mineral ligada ao AH, logo após foram dialisadas em água desionizada para a retirada de sais, congelados e liofilizados, obtendo o material seco para análises.

Foi realizada a análise elementar dos AF e AH utilizando o analisador elementar (Perkin-Elmer 2400), quantificando diretamente os teores de C, H e N, e obtendo o teor de O por diferença. O teor de umidade e cinzas foi obtido por termogravimetria, e essas foram usadas na correção. As razões atômicas foram calculadas da seguinte forma:

$$H/C = [(\%H / 1) / (\%C / 12)],$$

$$C/N = [(\%C / 12) / (\%N / 14)] \text{ e}$$

$$O/C = [(\%O / 16) / (\%C / 12)].$$

A análise termogravimétrica dos AF e AH foi realizada em um analisador termogravimétrico (TGA-50 SHIMADZU), usando amostras de aproximadamente 10 mg, em ambiente a vácuo. O peso inicial foi estabilizado a 30 °C e a curva de aquecimento a 5 °C/min até 105 °C, com tempo de espera de 10 min, seguido de aquecimento a 5 °C/min até 600 °C e a manutenção a essa temperatura por 30 min para a obtenção das cinzas. O índice termogravimétrico (ITG) foi calculado a partir da razão entre as perdas de massa no intervalo de 350 a 600 °C e 105 a 350 °C.

As leituras na faixa do UV-Visível foram feitas em um espectrofotômetro de varredura (HITACHI U-2000), utilizando células de quartzo com caminho ótico de 1cm. As leituras na faixa do visível, tanto de varredura quanto de determinação das absorvâncias em 465 e 665 nm, foram tomadas nas soluções de AF e AH purificados, diluídos apropriadamente em solução de bicarbonato de sódio (CHEN et al., 1977). As leituras na faixa do ultravioleta foram tomadas nas soluções de AF e AH purificados, diluídos em soluções com pH ajustado para 2,0 (com HCl) e 12,0 (com NaOH). Os espectros diferenciais foram calculados pela diferença entre os espectros obtidos em pH 12,0 e 2,0 (BLOOM e LEENHEER, 1989).



Os espectros no infravermelho dos AF e AH foram obtidos na faixa de 4.000-400  $\text{cm}^{-1}$ , em pastilhas de KBr (2 mg da substância húmica + 200 mg de KBr seco), utilizando um espectrômetro de infravermelho com transformada de Fourier, (FTIR Spectrum 1000). Cada espectro foi obtido pela média de 128 leituras, com uma resolução de 4  $\text{cm}^{-1}$ . As bandas de absorção foram qualificadas conforme as atribuições obtidas na literatura (Quadro 1). As relações foram calculadas obtendo o valor da absorção nos determinados pontos.

Quadro 1: Regiões de absorção no infravermelho de AF e AH

| Frequência ( $\text{cm}^{-1}$ ) | Descrição   | Referência Bibliográfica  |
|---------------------------------|---|---|
| 3.695                           | Deformação axial de O-H em caulinita  | RUSSEL (1987)   |
| 3.620                           | Deformação axial de O-H em caulinita e gibbsita   | RUSSEL (1987)   |
| 3.440-3.380                     | Deformação axial de O-H em grupo fenólico (Contribuição de OH alifático, $\text{H}_2\text{O}$ e amina)                                  | BAES e BLOOM (1989)<br>STEVENSON (1982)                             |
| 2.918                           | Deformação axial assimétrica de C-H em metil e metileno   | BAES e BLOOM (1989)   |
| 2.850                           | Deformação axial simétrica de C-H em metil e metileno   | BAES e BLOOM (1989)   |
| 2.600-2.500                     | Deformação axial de O-H em grupo carboxílico  | BAES e BLOOM (1989)   |
| 1.720-1.712                     | Deformação axial de C=O em grupo carboxílico  | BAES e BLOOM (1989)   |
| 1.660-1.620                     | Deformação axial assimétrica do ânion carboxilato em ligação covalente com metal; contribuição de amido, cetona ou quinona              | McCARTHY e RICE (1985)<br>VINKLER et al. (1976)<br>STEVENSON (1982) |
| 1.620-1.600                     | Deformação axial assimétrica do ânion carboxilato deionizado ou com ligação iônica com metal; deformação axial de C=C de anel aromático | BAES e BLOOM (1989)<br>VINKLER et al. (1976)                        |
| 1.548-1.510                     | Amido secundário ou deformação axial de C=C aromático   | HERNANDEZ et al. (1993)   |
| 1.452                           | Deformação angular assimétrica de C-H em metil e metileno   | RICCA et al. (1993)   |
| 1.420-1.400                     | Deformação axial simétrica do ânion carboxilato;  | RICCA et al. (1993)   |
| 1.380                           | Deformação angular simétrica de C-H em metil e metileno   | RICCA et al. (1993)   |
| 1.262-1.234                     | Deformação axial de C-OH em grupos carboxílicos ou fenólicos  | BAES e BLOOM (1989)<br>RICCA et al. (1993)                          |
| 1.100                           | Deformação angular de O-H em gibbsita   | RUSSEL (1987)   |
| 1.080-1.050                     | Deformação axial de C-O em polissacarídeos  | STEVENSON (1982)  |
| 1.030                           | Deformação axial de Si-O em caulinita ou deformação angular de O-H em gibbsita  | RUSSEL (1987)   |
| 1.010                           | Deformação angular de O-H em caulinita e gibbsita   | RUSSEL (1987)   |
| 910                             | Deformação angular de O-H em caulinita  | RUSSEL (1987)   |
| 820-750                         | Deformação angular fora do plano de ligações C-H de anéis aromáticos  | BAES e BLOOM (1989)   |
| 540                             | Deformação angular de O-H em gibbsita ou caulinita  | RUSSEL, 1987  |
| 470                             | Deformação de Si-O em caulinita   | RUSSEL, 1987  |

Adaptado de BENITES, 1998

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Análise Elementar

A análise elementar dos AF apresentou valores na seguinte ordem de grandeza  $O > C > H > N$ , enquanto que nos AH na ordem de grandeza foi  $C > O > H = N$  (Tabela 2). Teores elevados de O nos AF são característicos dessa fração e, em consequência, os valores da relação O/C são superiores aos AH (SCHIAVO et al. 2007; CASTILHOS et al., 2008; CANELLAS e FAÇANHA, 2004). O solo sob o cafezal de Pedra Dourada apresentou no AF maior teor de H em relação ao solo sob o cafezal de Araponga e ao solo sob mata, refletindo na maior relação H/C. Situação inversa foi encontrada na mata que apresentou o menor valor para a relação H/C. Elevados valores no teor de H e na relação H/C indicam maior alifacidez e menor conteúdo de anéis aromáticos nas estruturas húmicas (USSIRI e JOHNSON, 2003). No AF, o teor baixo de N no solo sob Mata em relação aos solos sob cafezal refletiu em maior relação C/N. Esse dado pode indicar que há menos N no sistema mata disponível, o que pode acarretar redução na taxa de mineralização do material aportado (MATOS, 2005). O AF do solo com o tratamento calopogônio em Araponga apresentou o menor teor de C ( $176,8 \text{ g kg}^{-1}$ ), contribuindo para o aumento dos valores das relações H/C e O/C. Os teores de O do AF apresentaram diferenças nosolos sob espontâneas em Araponga ( $374,8 \text{ g kg}^{-1}$ ) e em Pedra Dourada ( $619,7 \text{ g kg}^{-1}$ ), que podem estar ligadas ao tipo de espécies espontâneas presentes em cada propriedade, podendo ocorrer mudanças nas características químicas e bioquímicas do material aportado.

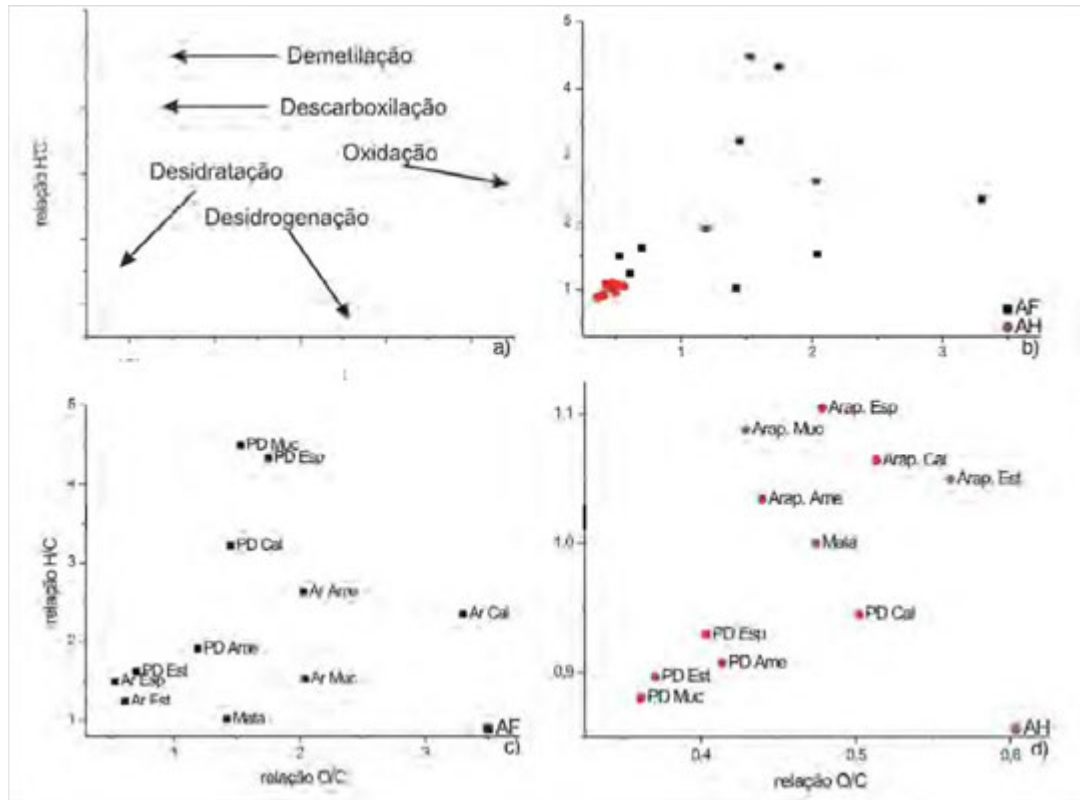
A razão atômica H/C nos AH do solo sob cafezal de Araponga foi superior, inclusive ao valor dos AH da mata. Esses resultados indicam que, nessa localidade, os AH possuem maior proporção de cadeias alifáticas em relação aos outros locais. O solo de Pedra Dourada apresentou valores inferiores ao encontrado no solo sob mata na mata, indicando um AH com característica mais aromática e estável estruturalmente. A razão O/C nos AH apresentou valores próximos entre os solos nas propriedades e a mata. O tempo de formação dos AH pode ser maior do que dos AF, podendo chegar a vários anos, indicando que os tratamentos ainda não obtiveram efeito sobre essa fração (SILVA e MENDONÇA, 2007).

Através do diagrama de van Krevelen é possível separar os AF e Ah das localidades (Figura 1). O AF do solo sob cafezal de Araponga sofreram desidrogenação

em relação ao AF do solo sob cafezal de Pedra Dourada, implicando em um material com maior aromaticidade (CANELLAS e FAÇANHA, 2004). Já na FAH, ocorreu o contrário, onde o solo sob cafezal de Araponga possui maior relação H/C.

**Tabela 2:** Composição elementar (C, H, N e O) e relações atômicas (C/N, H/C e O/C) de ácidos húmicos e ácidos fúlvicos isolados de solos sob adubação verde e espécies espontâneas em duas propriedades com diferentes condições edafoclimáticas

| Tratamentos   | AF                      |                         |                         |                         |       |      |      |
|---------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------|------|------|
|               | C (g kg <sup>-1</sup> ) | H (g kg <sup>-1</sup> ) | N (g kg <sup>-1</sup> ) | O (g kg <sup>-1</sup> ) | C/N   | H/C  | O/C  |
| Araponga      |                         |                         |                         |                         |       |      |      |
| Amendoim      | 250,2                   | 54,8                    | 18,5                    | 676,5                   | 15,82 | 2,63 | 2,03 |
| Calopogônio   | 176,8                   | 34,7                    | 11,1                    | 777,4                   | 18,53 | 2,35 | 3,30 |
| Estilosantes  | 505,9                   | 52,1                    | 29,8                    | 412,2                   | 19,81 | 1,24 | 0,61 |
| Mucuna        | 254,4                   | 32,4                    | 19,9                    | 693,2                   | 14,90 | 1,53 | 2,04 |
| Espontâneas   | 528,0                   | 66,1                    | 31,2                    | 374,8                   | 19,74 | 1,50 | 0,53 |
| média         | 343,1                   | 48,0                    | 22,1                    | 586,8                   | 17,76 | 1,85 | 1,70 |
| Pedra Dourada |                         |                         |                         |                         |       |      |      |
| Amendoim      | 352,8                   | 56,2                    | 30,9                    | 560,2                   | 13,32 | 1,91 | 1,19 |
| Calopogônio   | 303,6                   | 81,4                    | 29,5                    | 585,5                   | 12,01 | 3,22 | 1,45 |
| Estilosantes  | 468,6                   | 63,4                    | 32,2                    | 435,7                   | 16,95 | 1,62 | 0,70 |
| Mucuna        | 285,4                   | 106,9                   | 25,5                    | 582,3                   | 13,06 | 4,49 | 1,53 |
| Espontâneas   | 265,4                   | 95,8                    | 19,1                    | 619,7                   | 16,24 | 4,33 | 1,75 |
| média         | 335,1                   | 80,7                    | 27,4                    | 556,7                   | 14,32 | 3,12 | 1,32 |
| Mata          |                         |                         |                         |                         |       |      |      |
|               | 330,7                   | 28,2                    | 13,5                    | 627,6                   | 28,56 | 1,02 | 1,42 |
| Tratamentos   | AH                      |                         |                         |                         |       |      |      |
|               | C (g kg <sup>-1</sup> ) | H (g kg <sup>-1</sup> ) | N (g kg <sup>-1</sup> ) | O (g kg <sup>-1</sup> ) | C/N   | H/C  | O/C  |
| Araponga      |                         |                         |                         |                         |       |      |      |
| Amendoim      | 568,1                   | 49,0                    | 50,1                    | 332,9                   | 13,23 | 1,03 | 0,44 |
| Calopogônio   | 537,7                   | 47,7                    | 46,8                    | 367,9                   | 13,41 | 1,06 | 0,51 |
| Estilosantes  | 518,9                   | 45,4                    | 47,3                    | 388,4                   | 12,79 | 1,05 | 0,56 |
| Mucuna        | 570,0                   | 51,7                    | 52,4                    | 326,0                   | 12,70 | 1,09 | 0,43 |
| Espontâneas   | 549,1                   | 50,5                    | 50,2                    | 350,1                   | 12,76 | 1,10 | 0,48 |
| média         | 548,7                   | 48,9                    | 49,4                    | 353,1                   | 12,98 | 1,07 | 0,48 |
| Pedra Dourada |                         |                         |                         |                         |       |      |      |
| Amendoim      | 589,1                   | 44,5                    | 41,4                    | 324,9                   | 16,59 | 0,91 | 0,41 |
| Calopogônio   | 550,7                   | 43,4                    | 37,4                    | 368,5                   | 17,19 | 0,95 | 0,50 |
| Estilosantes  | 610,6                   | 45,6                    | 42,1                    | 301,7                   | 16,94 | 0,90 | 0,37 |
| Mucuna        | 616,0                   | 45,2                    | 42,0                    | 296,8                   | 17,10 | 0,88 | 0,36 |
| Espontâneas   | 590,7                   | 45,8                    | 45,9                    | 317,7                   | 15,02 | 0,93 | 0,40 |
| média         | 591,4                   | 44,9                    | 41,8                    | 321,9                   | 16,57 | 0,91 | 0,41 |
| Mata          |                         |                         |                         |                         |       |      |      |
|               | 554,9                   | 46,2                    | 48,1                    | 350,8                   | 13,46 | 1,00 | 0,47 |



**Figura 1:** Diagrama de van Krevelen nos AF e AH de solos sob cafezal em Araponga (Ar), Pedra Dourada (PD) e solo sob mata. a) Principais reações envolvidas nos processos de humificação (adaptado de RICE e MACCARTHY, 1991); b) Diagrama com AF e AH juntos; c) Diagrama AF; d) Diagrama AH; Ame: amendoim; Cal: calopogônio; Est:estilosantes; Muc: mucuna; Esp: espontâneas.

### 3.2 Espectroscopia na Região do UV-Visível

Os espectros na região do Visível apresentaram absorvância decrescente com o aumento do comprimento de onda. O principal parâmetro analisado pelo uso da espectroscopia na região do visível é a relação  $E_4/E_6$  (Tabela 3). Os AF apresentaram maior relação  $E_4/E_6$  que os AH, fato encontrado em vários trabalhos e que mostram que o AF possui maior proporção de cadeias alifáticas em relação aos AH (CANELLAS e FAÇANHA, 2004; SCHIAVO et al. 2007; DOBBSS et al., 2009). No solo de Araponga os AF e AH apresentaram valores inferiores em relação ao solo de Pedra Dourada. Nos AF o solo sob o tratamento com estilosantes nas duas localidades apresentaram a maior relação  $E_4/E_6$ . Já o tratamento com espontâneas nas duas localidades e o tratamento mucuna no solo de Pedra Dourada apresentaram valores inferiores aos solos dos outros tratamentos, indicando um maior grau de aromaticidade. Características bioquímicas das leguminosas que são aportadas ao solo podem estar relacionadas à formação substâncias húmicas com caráter mais aromático ou alifático. A leguminosa estilosantes apresenta teores elevados de celulose e baixo de lignina e polifenóis em relação às

outras espécies, colaborando na diferenciação das substâncias húmicas formadas e proporcionando maior taxa de decomposição e perda de N para a atmosfera, características que favorecem compostos orgânicos mais alifáticos (MATOS et al., 2008). O decréscimo da razão  $E_4/E_6$  está diretamente relacionado com o aumento do peso molecular e a condensação do C aromático na estrutura, indicativos de compostos com alto grau de recalcitrância (STEVENSON, 1994). CANELLAS et al., (2004) encontrou valores nos AH superiores aos encontrados nesse trabalho.

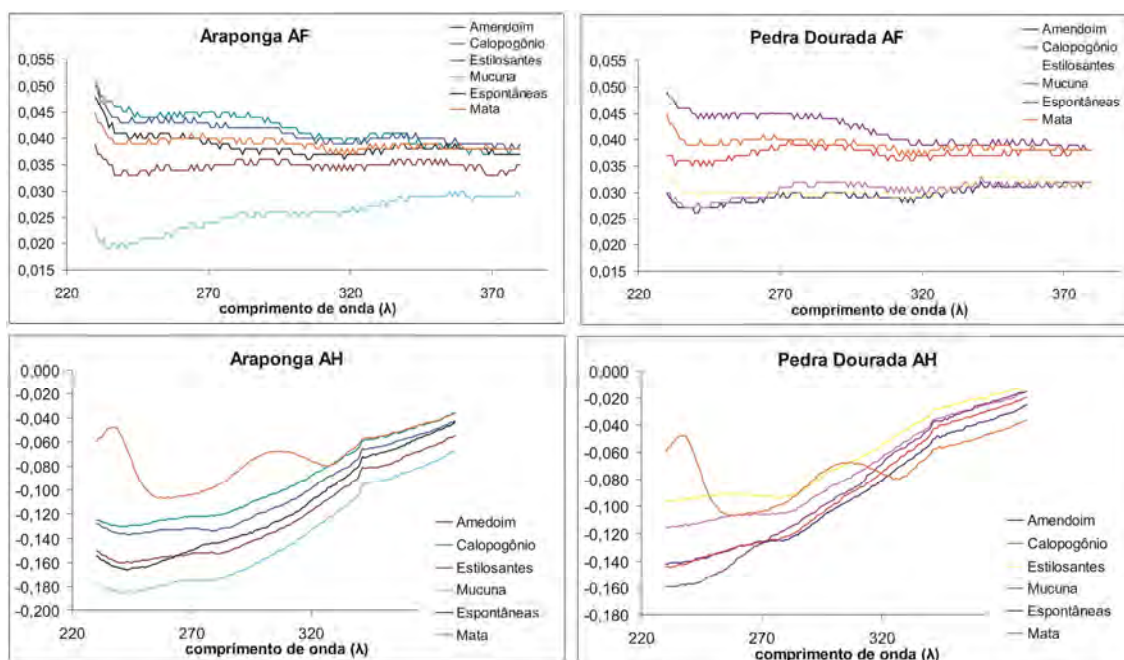
**Tabela 3:** Teores de umidade e cinzas, ITG e  $E_4/E_6$  de ácidos húmicos e ácidos fúlvicos isolados de solos sob adubação verde e espécies espontâneas em duas propriedades com diferentes condições edafoclimáticas

| Tratamentos   | AF                     |       |      |           | AH                     |       |      |           |
|---------------|------------------------|-------|------|-----------|------------------------|-------|------|-----------|
|               | Umidade<br>-----%----- | Cinza | ITG  | $E_4/E_6$ | Umidade<br>-----%----- | Cinza | ITG  | $E_4/E_6$ |
| Araponga      |                        |       |      |           |                        |       |      |           |
| Amendoim      | 36,01                  | 11,96 | 0,15 | 6,80      | 5,14                   | 7,74  | 2,32 | 4,42      |
| Calopogônio   | 27,34                  | 2,57  | 0,09 | 9,33      | 2,50                   | 7,34  | 1,43 | 4,67      |
| Estilosantes  | 12,24                  | 31,36 | 0,96 | 11,25     | 5,08                   | 7,66  | 1,43 | 4,65      |
| Mucuna        | 29,55                  | 5,70  | 0,14 | 9,20      | 6,32                   | 8,73  | 1,60 | 4,64      |
| Espontâneas   | 15,78                  | 26,54 | 0,54 | 4,50      | 7,28                   | 7,05  | 1,26 | 4,54      |
| Média         | 24,19                  | 15,63 | 0,38 | 8,22      | 5,26                   | 7,70  | 1,61 | 4,58      |
| Pedra Dourada |                        |       |      |           |                        |       |      |           |
| Amendoim      | 13,26                  | 33,33 | 0,90 | 8,50      | 1,55                   | 9,82  | 1,14 | 5,53      |
| Calopogônio   | 28,78                  | 8,18  | 0,16 | 8,50      | 2,84                   | 7,61  | 1,46 | 4,46      |
| Estilosantes  | 11,02                  | 31,30 | 0,91 | 16,00     | 0,43                   | 7,25  | 1,48 | 4,51      |
| Mucuna        | 38,71                  | 11,88 | 0,13 | 5,40      | 2,70                   | 8,47  | 1,24 | 5,04      |
| Espontâneas   | 32,69                  | 7,51  | 0,12 | 7,00      | 0,76                   | 7,05  | 1,25 | 5,34      |
| média         | 24,89                  | 18,44 | 0,45 | 9,08      | 1,66                   | 8,04  | 1,32 | 4,98      |
| Mata          |                        |       |      |           |                        |       |      |           |
|               | 14,06                  | 34,86 | 0,97 | 13,67     | 0,65                   | 6,80  | 1,19 | 4,55      |

ITG: Índice termogravimétrico;  $E_4/E_6$ : relação entre absorvância nos comprimentos de onda 465 e 665 nm.

Nos espectros diferenciais na região do Ultra Violeta há um sinal intenso no espectro diferencial de AH, centrado em 280-285 nm, e um ombro em 350 nm, que estão relacionados à ionização de grupos carboxílicos e de grupos fenólicos facilmente ionizáveis (TSUTSUKI e KUWATSUKA, 1979). Esses sinais são encontrados nas amostras de AH e AH de todos os tratamentos, mas com pouca expressão e na faixa de 260-270 nm (Figura 2). No solo sob mata, os AH e AF apresentam uma banda forte centrado em 300 nm. A posição dos grupos nos anéis e o grau de substituição influem na posição e na intensidade dos sinais (BLOOM e LEENHEER, 1989). No solo sob

mata foi verificado uma banda de absorção centrada em 240 nm, que pode estar relacionado a compostos orgânicos de baixo peso molecular (BENITES, 1998).



**Figura 2:** Espectros diferenciais na região do Ultra Violeta de ácidos fúlvicos e ácidos húmicos isolados de solos sob adubação verde e espécies espontâneas em duas propriedades com diferentes condições edafoclimáticas.

A análise termogravimétrica dos AF apresentou valores de ITG inferiores a 1, indicando que as perdas de massa foram maiores na faixa compreendida entre 105 e 350 °C (Tabela 3). Nos AH, a maior proporção de perda foi observada na faixa entre 350 e 600 °C, resultados que condizem com os encontrados na literatura em que Ah possuem maiores valores de ITG em relação ao AF (MORAIS, 2007; BENITES et al., 2005). Os AF do solo de Araponga apresentaram valores inferiores ao do solo de Pedra Dourada e do solo sob mata. Entre os tratamentos, amendoim, calopogônio e mucuna no solo de Araponga e calopogônio, mucuna e espontâneas no solo de Pedra Dourada apresentaram os menores ITG. O valor baixo para estes tratamentos podem estar relacionados ao menor teor de C em sua composição. Nos AH, o tratamento com espontâneas apresentou valores baixos para ITG nas duas localidades, indicando menor estabilidade das moléculas. A perda de massa a temperatura baixa está relacionada à presença de compostos menos estáveis e estruturas alifáticas enquanto que a perda de massa a temperatura alta está relacionada ao rompimento de estruturas aromáticas (PROVENZANO e SENESI, 1999). O recente aporte de material orgânico e formação das SH levam a maior proporção de compostos de menor estabilidade, apresentando

assim maior facilidade de degradação do material e maior ciclagem de nutrientes, principalmente N.

### **3.3 Espectroscopia na Região do Infra Vermelho**

Não houve diferença entre os tratamentos nos espectros na região do IV, mas ocorreram diferenças substanciais entre os espectros de AF e AH (Figura 3). Na faixa de absorção de 3420 a 3391  $\text{cm}^{-1}$ , foram observadas bandas de absorção alargadas nos AH, e menos alargadas nos solos sob tratamentos mucuna e espontâneas de Pedra Dourada. Essa região é característica da absorção da vibração de estiramento de grupos OH em pontes de H inter e intramoleculares (STEVENSON, 1994). O tamanho do alargamento da absorção tem correspondência com a força de interação H, sendo que, quanto mais forte a ponte de H maior a energia necessária para estirar as ligações, alargando a banda de absorção (MIRANDA et al., 2007; BENITES, 1998). DOBBSS et al., (2009) associa o alargamento da banda as ligações de H com ácidos carboxílicos, alterando a frequência do estiramento.

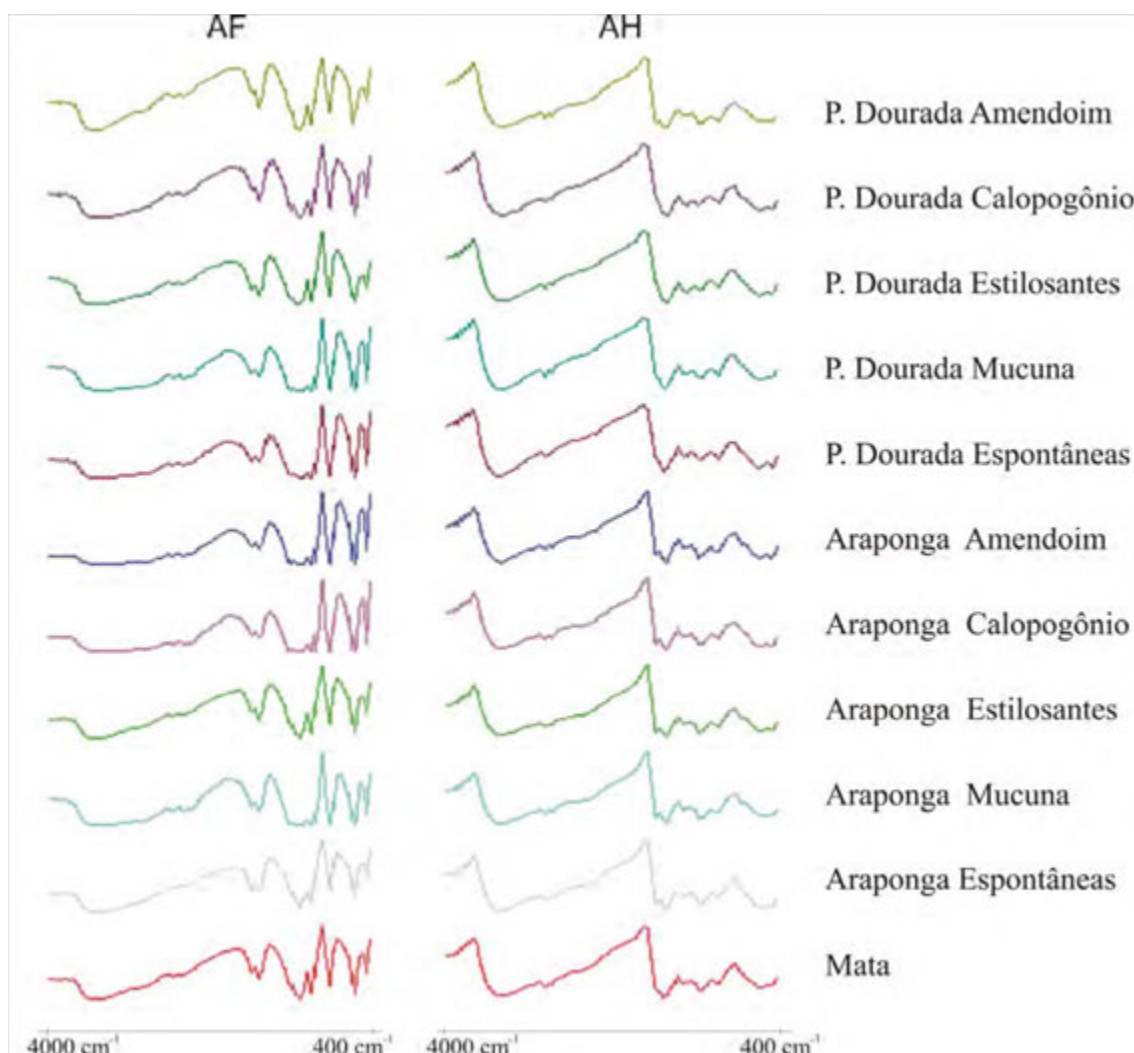


Figura 3: Espectros na região do Infra Vermelho de ácidos fúlvicos e ácidos húmicos isolados de solos sob adubação verde e espécies espontâneas em duas propriedades com diferentes condições edafoclimáticas.

Em todos os espectros foram observados absorção entre  $3000$  e  $2700\text{ cm}^{-1}$ , que é atribuído a presença de grupos CH alifáticos. Com exceção do solo sob o tratamento estilosantes de Pedra Dourada, todos os tratamentos apresentam um duplete em  $2962$  e  $2847\text{ cm}^{-1}$ , associado a presença de grupos  $\text{CH}_2$ . A absorção em  $2914\text{ cm}^{-1}$  está associada aos grupos  $\text{CH}_3$  (CANELLAS e RUMJANEK, 2005).

A absorção entre  $1720$  e  $1700\text{ cm}^{-1}$  é atribuída a carbonilas de cetonas. Nessa faixa, foi observada a absorção em  $1717\text{ cm}^{-1}$  em todos os tratamentos, exceto no solo sob calopogônio e estilosantes de Pedra Dourada. A absorção entre  $1725$  e  $1720\text{ cm}^{-1}$  é atribuída ao estiramento  $\text{C}=\text{O}$  de grupos carboxílicos e cetonas (CERETTA et al., 2008).

Foi observada em todos os tratamentos forte absorção em  $1617\text{ cm}^{-1}$ , exceto na mata onde a banda de absorção foi detectado em  $1623\text{ cm}^{-1}$ . Segundo STEVENSON



(1994) a absorção em  $1610\text{ cm}^{-1}$  é atribuída à vibração de C=C de aromáticos e entre  $1635$  e  $1645\text{ cm}^{-1}$  à deformação axial de C=C de anel aromático. A região entre  $1420$  e  $910\text{ cm}^{-1}$  é denominada como a impressão digital da molécula, correspondendo a grupos funcionais pouco afetados pelo restante da molécula (MIRANDA, et al., 2007).

As relações de absorção em 2900/3300, 2900/1600 e 3300/1700 estão contidas na Tabela 4. Comparando os indicadores de hidrofobicidade nos AF, pode-se inferir sobre a maior proporção de grupamentos OH em relação aos grupamentos COO<sup>-</sup>, caracterizando moléculas com maior proporção de grupos fenólicos, o que não foi observado nos AH. O solo de Araponga apresentou maiores valores para as relações 2900/3300 e 2900/1600, indicando um caráter mais hidrofóbico em relação às de Pedra Dourada e a mata nas duas frações húmicas estudadas. Frações húmicas com característica de hidrofobicidade estão relacionadas com a formação e estabilização de agregados e proteção física da MOS (BASTOS et al., 2005). Quanto ao indicador de aromaticidade (3300/1700), a propriedade de Pedra Dourada apresentaram os menores valores, indicando menor condensação das SH em relação às outras localidades. Entre os tratamentos, o tratamento calopogônio apresentou o menor caráter hidrofóbico nos AF e AH, resultado que está ligado ao alto teor de O na sua composição (CANELLAS et al., 2004).

**Tabela 4:** Relações de absorvância (2900/3300, 2900/1600 e 3300/1700) de ácidos húmicos e ácidos fúlvicos isolados de solos sob adubação verde e espécies espontâneas em duas propriedades com diferentes condições edafoclimáticas

| Tratamentos   | AF        |           |           | AH        |           |           |
|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|               | 2900/3300 | 2900/1600 | 3300/1700 | 2900/3300 | 2900/1600 | 3300/1700 |
| Araponga      |           |           |           |           |           |           |
| Amendoim      | 0,78      | 1,75      | 2,24      | 0,83      | 0,85      | 1,08      |
| Calopogônio   | 0,82      | 2,23      | 2,08      | 0,85      | 1,11      | 1,08      |
| Estilosantes  | 0,71      | 0,92      | 1,97      | 0,87      | 0,88      | 1,05      |
| Mucuna        | 0,72      | 2,64      | 2,13      | 0,85      | 0,82      | 1,10      |
| Espontâneas   | 0,62      | 1,10      | 2,11      | 0,83      | 0,83      | 1,11      |
| Média         | 0,73      | 1,73      | 2,11      | 0,85      | 0,90      | 1,08      |
| Pedra Dourada |           |           |           |           |           |           |
| Amendoim      | 0,67      | 1,43      | 1,94      | 0,85      | 0,89      | 1,05      |
| Calopogônio   | 0,66      | 2,02      | 2,18      | 0,74      | 0,67      | 1,28      |
| Estilosantes  | 0,70      | 1,83      | 1,67      | 0,74      | 0,66      | 1,27      |
| Mucuna        | 0,78      | 1,54      | 1,88      | 0,74      | 0,77      | 1,19      |
| Espontâneas   | 0,76      | 1,67      | 1,91      | 0,72      | 0,55      | 1,22      |
| Média         | 0,71      | 1,70      | 1,92      | 0,76      | 0,71      | 1,20      |
| Mata          |           |           |           |           |           |           |
|               | 0,68      | 1,46      | 2,16      | 0,84      | 0,83      | 1,07      |

#### 4. CONCLUSÃO

Os AH possuem maior peso molecular, hidrofobicidade, condensação, e compostos aromáticos com maior teor de C, conferindo estabilidade estrutural em relação aos AF.

O uso de técnicas espectroscópicas e análise elementar nas frações húmicas do solo foi eficiente na caracterização dos ambientes. O ambiente voltado para face sul, com menor incidência de luz, menor temperatura e maior umidade, possui substâncias húmicas estruturalmente estáveis e resistentes a degradação.

O tratamento com calopogônio apresentou baixo teor de C e elevado teor de O na composição do AF, caracterizando compostos de menor estabilidade estrutural, indicando ser o calopogônio material de fácil mineralização. O solo sob tratamento com estilosantes favoreceu a formação de AF com menor peso molecular. Os tratamentos estilosantes, mucuna e espontâneas favoreceram a formação de AF com maior estabilidade estrutural do que o tratamento com e calopogônio, portanto materiais de mais difícil decomposição.

Nos AH, o uso das leguminosas influenciaram pouco suas características estruturais, provavelmente devido ao tempo de adoção do manejo das leguminosas (4 anos).

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDREUX, F. Humus in world soils. In: PICCOLO., A., ed. Humic substances in terrestrial ecosystems. Amsterdam, Elsevier, 1996. p.45-100.
- BASTOS, R.S.; MENDONÇA, E.S. ALVAREZ V, V.H.; CORRÊA, M.M. Formação estabilização de agregados do solo decorrentes da adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas. R. Bras. Ci. Solo, 29:11-20, 2005.
- BENITES, V. M.; MENDONÇA, E. S.; SCHAEFER C. E. G. R.; NOVOTNY, E. H.; REIS, E. L.; KER, J. C. Properties of black soil humic acids from high altitude rocky complexes in Brazil. Geoderma, 127: 104–113, 2005.
- BENITES, V.M. Caracterização química e espectroscópica da matéria orgânica e suas relações com a gênese de solos da Serra do Brigadeiro, Zona da Mata mineira. VIÇOSA-MG: UFV. 145p. Tese (Mestrado), 1998.
- BLOOM, P.R., LEENHEER, J.A. Vibrational, eletronic, and high-energy spectroscopic methods or characterizing humic substances. In: HAYES, M.H.B. et al. (Ed.) Humic substances II. In search for the structure. Chichester: John Wiley, 1989. p.409-446.
- BREMER NETO, H.; VICTÓRIA FILHO, R.; MOURÃO FILHO, F.A.A.; MENEZES, G.M.; CANALI, E. Estado nutricional e produção de laranjeira 'Pêra' em função da vegetação intercalar e cobertura morta. Pesq. agropec. bras., 43:29-35, 2008.
- CANELLAS, L.P. & RUMJANEK, V.M. Espectroscopia na região do infravermelho. In: CANELLAS, L.P. & SANTOS, G.A. Humosfera: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas. 2005a. p. 143-159.
- CANELLAS, L.P. & RUMJANEK, V.M. Espectroscopia na região do Ultravioleta-Visível. In: CANELLAS, L.P. & SANTOS, G.A. Humosfera: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas. 2005b. p. 126-142.
- CANELLAS, L.P.; ESPINDOLA, J.A.A.; REZENDE, C.E.; CAMARGO, P.B.; ZANDONADI, D.B.; RUMJANEK, V.M.; GUERRA, J.G.M.; TEIXEIRA, M.G;

- BRAZ-FILHO, R. Organic matter quality in a soil cultivated with perennial herbaceous legumes. *Sci. Agric.*, 61:53-61, 2004.
- CASTILHOS, R.M.V.; DICK, D.P.; CASTILHOS, D.D.; MORSELLI, T.B.A.G.; COSTA, P.F.P.; CASAGRANDE, W.B.; ROSA, C.M. Distribuição e caracterização de substâncias húmicas em vermicompostos de origem animal e vegetal. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:2669-2675, 2008.
- CERETTA, C.A.; BAYER, C.; DICK, D.P.; MARTIN-NETO, L.; COLNAGO, L.A. Métodos espectroscópicos. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.P.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. Fundamentos da matéria orgânica do solo em ecossistemas tropicais e subtropicais. 2ª Ed. Porto Alegre: Metropole, 2008. p. 201-228.
- CHEN, Y., SENESI, N., SCHNITZER, M. Information provide on humic substances by E4/E6 ratios. *Soil Sci. Soc. Am J.*, Madison, 41: 352-358, 1977.
- CUNHA, T. J. F.; MADARI, B. E.; BENITES, V. M.; CANELLAS, L. P.; NOVOTNY, E. H.; MOUTTA, R. O.; TROMPOWSKY, P. M.; SANTOS, G. A. Fracionamento químico da matéria orgânica e características de ácidos húmicos de solos com horizonte a antrópico da amazônia (Terra Preta). *Acta Amazônica* 37: 91-98, 2007.
- CUNHA, T.J.F.; CANELLAS, L.P.; SANTOS, G.A.; RIBEIRO, L.P. Fracionamento da matéria orgânica humificada de solos brasileiros. In: CANELLAS, L.P.; SANTOS, G.A. *Humosfera: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas*. 1ª Ed. Campos dos Goytacazes. 2005. p. 54-80.
- DOBBSS, L.B.; RUMJANECK, V.M.; BALDOTTO, M.A.; VELLOSO, A.C.X.; CANELLAS, L.P. Caracterização química e espectroscópica de ácidos húmicos e fúlvicos isolados da camada superficial de Latossolos brasileiros. *R. Bras. Ci. Solo*, 33:51-63, 2009.
- EGLI, M.; SARTORI, G.; MIRABELLA, A.; FAVILLI, F.; GIACCAI, D.; DELBOS, E. Effect of North and South exposure on organic matter in high Alpine soils. *Geoderma*, 149:124-136, 2009.
- FARIA, C.M.B.; SOARES, J.M.; LEÃO, P.C.S. Adubação verde com leguminosas em videira no submédio São Francisco. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:641-648, 2004.

- FERREIRA, F.P.; AZEVEDO, A.C.; WAPPLER, D.; KANIESKI, A.J.; GIRELLI, D.; PEDROTTI, J. Exposição solar e propriedades do solo em Santa Maria – Rs. R. bras. Agrocência, 11:377-381, 2005.
- FONSECA, R.A.D. Caracterização potenciométrica de ácidos húmicos utilizando análise das componentes principais. Viçosa, 2005, 83p. Dissertação (Mestre em Agroquímica), Universidade Federal de Viçosa (UFV).
- MATOS, E.S. Ciclagem de nutrientes por leguminosas herbáceas em cafezais orgânicos. VIÇOSA-MG: UFV. 84p. Tese (Mestrado), 2005.
- MATOS, E.S.; MENDONÇA, E.S.; LIMA, P.C.; COELHO, M.S.; MATEUS, R.F.; CARDOSO, I.M. Green manure in coffee systems in the region of Zona da Mata, Minas Gerais: characteristics and kinetics of carbon and nitrogen mineralization. R. Bras. Ci. Solo, 32: 2027-2035, 2008.
- MIRANDA, C.C.; CANELLAS, L.P.; NASCIMENTO, M.T. Caracterização da matéria orgânica do solo em fragmentos de Mata Atlântica e em plantios abandonados de eucalipto. R. Bras. Ci. Solo, 31:905-916, 2007.
- MORAIS, G. M. Frações húmicas em luvisolos sob diferentes sistemas agroflorestais no município de Sobral – CE. Fortaleza-CE: UFC. 52p. Tese (Mestrado), 2007.
- MOURA, W.M.; LIMA, P.C.; SOUZA, H.N.; CARDOSO, I.M.; MENDONÇA, E.S.; PERTEL, J. Pesquisas em sistemas agroecológicos e orgânicos da cafeicultura familiar na Zona da Mata mineira. Informe Agropecuário, 26:46-75, 2005.
- NASCIMENTO, J.T.; SILVA, I.F.; SANTIAGO, R.D.; SILVA NETO, L.F. Efeito de leguminosas nos atributos físicos e carbono orgânico de um luvisolo. R. Bras. Ci. Solo, 29:825-831, 2005.
- PERTUSATTI, J. Aspectos físico-químicos da protonação e desprotonação da superfície do Ácido Húmico. Brasília, DF: UNB-Instituto de química, 2007. 60p. Tese (Mestrado).
- PROVENZANO, M.R.; SENESI, N. Thermal properties of standard and reference humic substances by differential scanning calorimetry. Journal of Anal. Colorimetry, 57: 517-526. 1999.
- RICE, J. A. & MACCARTHY, P. Statistical evaluation of the elemental composition of humic substances. Org. Geochem., 17: 635-648, 1991.

- SCHIAVO, J. A., CANELLAS, L. P., MARTINS, M. A. Revegetação de cava de extração de argila com acacia mangium. I - atributos químicos do solo, ácidos fúlvicos e húmicos. R. Bras. Ci. Solo, 31:1153-1162, 2007
- SHURYGINA, E.A., LARINA, N.K., CHUAROVA, M.A., KONONOVA, M.M. Differential thermal analysis (DTA) and thermogravimetry (TG) of soil humic substances. Geoderma 6: 169-177, 1971.
- SILVA, I.R.; MENDONÇA, E.S. Matéria Orgânica do Solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.L. Fertilidade do Solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, 2007. p. 275-374.
- SILVA, T.O.; MENEZES, R.S.C.; TIESSEN, H.; SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, H.; SILVEIRA, L.M. Adubação orgânica da batata com esterco e, ou, *Crotalaria juncea*. I –produtividade vegetal e estoque de nutrientes no solo em longo prazo. R. Bras. Ci. Solo, 31:39-49, 2007.
- STEVENSON, F.J. Humus chemistry: genesis, composition, reactions. Second edition ed, John Wiley & Sons, 1994. 496p.
- SWIFT, R.S. Organic matter characterization. In: SPARKS, K. Methods of soil analysis part 3: chemical methods. Soil Sci. Soc. Am., Madison, 1996, p. 1011– 1020.
- TSUTSUKI, K.; KUWATSUKA, S. Chemical studies on soil humic acids:VII, pH dependent nature of the ultraviolet and visible absorption spectra of humic acids. Soil Sci. Plant Nutr., 25:373-384, 1979.
- USSIRI, D.A.N.; JOHNSON, C.E. Characterization of organic matter in a northern hardwood forest soil by <sup>13</sup>C NMR spectroscopy and chemical methods. Geoderma 111:123–149, 2003.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de leguminosas e espécies espontâneas como adubo verde foi eficiente na manutenção dos estoques de carbono e nitrogênio no solo, visto que proporcionaram aporte de matéria orgânica e os teores se equivalem ao encontrado em matas da região. Entretanto, o efeito da adubação verde é verificado apenas na superfície do solo, onde os resíduos das leguminosas são aportados.

As condições edafoclimáticas são de grande importância na busca do manejo adequado das leguminosas e na formação das substâncias húmicas no solo. A propriedade rural da região de mar de morros com a face de exposição solar voltada para o sul, que apresenta menor insolação e conseqüentemente menor temperatura e maior umidade local, proporciona um ambiente favorável ao aumento dos estoques de C e N, e a formação de substâncias húmicas com estrutura estável e ciclagem longa. Enquanto, áreas rurais com face de exposição solar voltada para o noroeste, que apresentam maior insolação e conseqüentemente maior temperatura e menor umidade local, proporcionam um ambiente menos favorável ao aumento dos estoques de C e N, e a formação de substâncias húmicas com menor estabilidade estrutural.

Quanto à formação das substâncias húmicas, a fração ácidos fúlvicos foi a fração que melhor distinguiu as diferentes leguminosas cultivadas. As frações ácidos húmicos e humina não responderam a diversificação das leguminosas. Essas frações possuem tempo de ciclagem longo, respondendo a experimentos de longa duração. São indicadores menos sensíveis ao manejo do solo.

Os ácidos fúlvicos influenciados pelo aporte de resíduos vegetais de estilosantes, mucuna e as espécies espontâneas possuem estabilidade estrutural maior em relação aos ácidos fúlvicos de solos sob aporte das leguminosas calopogônio e amendoim. A estabilidade estrutural pode estar relacionada ao teor de carbono presente nos ácidos fúlvicos. Os maiores teores de O nas substâncias húmicas no solo também podem contribuir para o aumento da CTC, contribuindo para o aumento das cargas no solo, principalmente em solos tropicais altamente intemperizados. As espécies espontâneas



ainda agregam vantagem econômica ao sistema, visto que não se tem gastos com compra de sementes e plantio, diminuindo a mão de obra para o agricultor.