

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

**GABRIEL PINTO GUIMARÃES**

**INIBIDORES DE UREASE, SERAPILHEIRA E ADENSAMENTO DO  
CAFEEIRO ARÁBICA: RELAÇÕES COM A MATÉRIA ORGÂNICA DO  
SOLO**

**ALEGRE- ES  
2018**

**GABRIEL PINTO GUIMARÃES**

**INIBIDORES DE UREASE, SERAPILHEIRA E ADENSAMENTO DO  
CAFEEIRO ARÁBICA: RELAÇÕES COM A MATÉRIA ORGÂNICA DO  
SOLO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal, na área de concentração de Solos e Nutrição de Plantas.

Orientador: Prof. PhD. Eduardo de Sá Mendonça.

**ALEGRE- ES  
2018**

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)  
(Biblioteca Setorial Sul, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

---

Guimarães, Gabriel Pinto, 1985-

G963i      Inibidores de urease, serapilheira e adensamento do cafeeiro  
arábica: relações com a matéria orgânica do solo / Gabriel Pinto  
Guimarães. – 2018.  
139f. : il.

Orientador: Eduardo de Sá Mendonça.

Coorientador: Felipe Vaz Andrade.

Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Federal  
do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Cafeeiro. 2. Física do solo. 3. Fertilizantes nitrogenados. I.  
Mendonça, Eduardo de Sá. II. Andrade, Felipe Vaz. III. Universidade  
Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.  
IV. Título.

CDU: 63

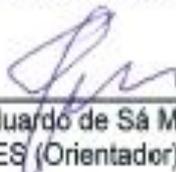
**GABRIEL PINTO GUIMARÃES**

**INIBIDORES DE UREASE, SERAPILHEIRA E ADENSAMENTO  
DO CAFEIRO ARÁBICA: RELAÇÕES COM A MATÉRIA  
ORGÂNICA DO SOLO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal, na área de concentração de Solos e Nutrição de Plantas.

Aprovada em 27 de março de 2018.

**COMISSÃO EXAMINADORA**

  
\_\_\_\_\_  
Prof. PhD. Eduardo de Sá Mendonça  
CCAÉ – UFES (Orientador)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. DSc. Renato Ribeiro Passos  
CCAÉ– UFES

  
\_\_\_\_\_  
Prof. DSc. Gustavo Soares de Souza  
INCAPER-PACOTUBA

  
\_\_\_\_\_  
Prof. DSc. Otacilio José Passos Rangel  
UFES-Campus de Alegre

## **Agradecimentos**

Agradeço a Deus e Nossa Senhora Aparecida que me deram força, coragem, responsabilidade e determinação para conseguir realizar este trabalho;

A Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo – FAPES, pela concessão de bolsa de Pós-Graduação;

Ao Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da UFES (CCAUE/UFES) e seus funcionários, pela oportunidade de estudo;

À equipe dos laboratórios de solos do CCAUE/UFES, pelo apoio na realização das análises de solo;

Aos responsáveis pelos laboratórios de física e matéria orgânica do solo que auxiliaram parte das análises do presente trabalho;

Ao professor PhD. Eduardo de Sá Mendonça, professor e orientador do Departamento de Agronomia do CCAUE/UFES, pelas orientações, ensinamentos, cobranças, confiança, motivação e amizade;

Ao professor Dr. Felipe Vaz Andrade pela coorientação durante o desenvolvimento do trabalho e todo apoio nas ideias até ele levadas;

Aos professores Renato Ribeiro Passos, Otacílio José Passos Rangel e ao pesquisador Gustavo Soares de Souza participantes da banca da defesa;

Aos colegas Dr. Diego Matias e Ms. Luciana Ventura pela ajuda na estatística do trabalho;

Aos professores do Departamento de Produção Vegetal, pelos ensinamentos transmitidos ao longo das disciplinas;

Aos amigos Paulo Roberto, Victor Maurício, Danilo, Lenita, Sara, Aildison pelas ajudas nos trabalhos e contribuição com sugestões durante o doutorado;

Aos alunos de PIBIC Guilherme Polido, Fabiano Oliveira e Ingrid Fiorezi pela imensa contribuição nas coletas de solo, montagem de experimentos e análises laboratoriais;

À minha amiga Letícia (in memoriam) pelo convívio, amizade, gargalhadas e superação;

Ao agricultor Márcio Apostólico e à sua família pela disponibilização da área de estudo e atenção com o fornecimento de informações dos sistemas de manejo:

A minha esposa Elissane, minha enteada Ellen e meu filho João Gabriel por todos os ensinamentos de vida, amizade, companheirismo e entendimento;

Aos meus pais, Guilherme e Marta, pelo enorme carinho e apoio incondicional;

Aos meus irmãos Felipe e Ana Luisa, pelo grande apoio e força nos estudos;

Gratidão pela oportunidade de conduzir este trabalho e pela oportunidade de fazer doutorado. Gratidão por tudo que aprendi e com as pessoas que convivi!

Muito obrigado!

## RESUMO GERAL

GUIMARÃES, Gabriel Pinto. **Inibidores de urease, serapilheira e adensamento do cafeeiro arábica: Relações com a matéria orgânica do solo**. 139 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal). Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, ES, 2018.

O uso de tecnologias nas lavouras cafeeiras deve proporcionar melhorias nas condições de manejo, auxiliar na produção vegetal e promover qualidade ao solo e meio ambiente. Neste sentido, as tecnologias fertilizantes inibidores de urease, serapilheira foliar cafeeira e o adensamento cafeeiro foram avaliados atendendo a problemáticas no manejo das lavouras de cafeicultores de arábica familiares do Território do Caparaó- ES. O capítulo 1 teve por objetivo verificar o potencial dos inibidores de urease quanto à redução da volatilização  $\text{NH}_3$  e emissão de  $\text{CO}_2$  do solo, bem como avaliar a atividade da enzima urease do solo e a influência dos inibidores de urease sobre a matéria orgânica do solo. Os inibidores de urease NBPT e Cu+B mostraram ser promissores na redução da volatilização da  $\text{NH}_3$ , principalmente o NBPT que volatilizou, em função das doses avaliadas, de 1,4 a 5,6 % do total de N aplicado. O efluxo de  $\text{CO}_2$  seguiu a ordem: Ureia > Ureia+Cu+B > Ureia+NBPT. De modo semelhante, os inibidores de urease reduziram a atividade da enzima urease do solo, sendo a ureia comum, o tratamento que proporcionou maior atividade da enzima. Apesar das fontes e doses de N não influenciarem os teores de C orgânico do solo, verificou-se redução de 5,1 % no seu teor médio dos 16 para os 32 dias, ou seja, um curto período de tempo tem promovido redução na matéria orgânica do solo. O capítulo 2 teve por objetivo verificar o efeito da associação de inibidores de urease e serapilheira sobre a volatilização da amônia e emissão de  $\text{CO}_2$ , bem como a taxa de decomposição e liberação de nutrientes da serapilheira e seu efeito na matéria orgânica do solo. A ordem de volatilização da  $\text{NH}_3$  e emissão de  $\text{CO}_2$  foi: Ureia > Ureia+Cu+B > Ureia+NBPT. Contudo, o aumento dos níveis de serapilheira proporciona menor emissão de  $\text{NH}_3$ , porém, maior emissão de  $\text{CO}_2$ . No nível equivalente a  $4,5 \text{ Mg ha}^{-1}$  de serapilheira e após 64 dias de decomposição, a quantidade liberada de C, N, P, K, Ca e Mg foi equivalente a 547,1; 49,0; 1,28; 17,4; 18,2 e  $5,0 \text{ kg ha}^{-1}$ , respectivamente. Fontes de N e doses de serapilheira não influenciaram no teor de C orgânico total e N total do solo, entretanto, dos 16 aos 64 dias após a aplicação da serapilheira ocorreu redução nos

seus teores em 15,4 e 21,1 %, respectivamente. O capítulo 3 teve por objetivo avaliar o efeito dos inibidores de urease juntamente com a serapilheira foliar cafeeira sobre os parâmetros biométricos, teor e acúmulo de N, atividade da urease foliar e % de clorofila no desenvolvimento inicial do cafeeiro IAC 144. Independente da fonte de N avaliada, a dose de 1,2 g vaso<sup>-1</sup> de N foi suficiente para proporcionar altura da planta, diâmetro do caule, número de nós, pares de folhas, ramos plagiotrópicos e massa seca igual ou superior às demais doses. Maiores teores de N foliar foram proporcionados pelos inibidores de urease impactando também, em maior atividade da enzima urease na folha. A utilização de serapilheira no plantio do cafeeiro proporcionou redução de 9,1; 3,3; 10,5 e 19,3 % na altura, número de nós, diâmetro do caule e número de ramos plagiotrópicos, respectivamente, e reduziu a produção de massa seca e o acúmulo de N na parte aérea. Fontes, doses de N e a serapilheira não influenciaram os teores de clorofila, entretanto, aumento dos teores de clorofila foi verificado ao longo do tempo após a adubação nitrogenada. Já em condições de campo, o capítulo 4 da tese teve por objetivo determinar a influência do adensamento da lavoura cafeeira sobre os teores e estoques de COT e NT do solo, C e N da biomassa microbiana, matéria orgânica leve, labilidade da matéria orgânica do solo, as substâncias húmicas, densidade, porosidade e as emissões de CO<sub>2</sub>, temperatura e umidade do solo na região montanhosa do Território do Caparaó - Espírito Santo. O manejo cafeeiro adensado (8333 plantas ha<sup>-1</sup>) proporcionou aumento da matéria orgânica leve (MOL) e carbono da matéria orgânica leve (CMOL), menor densidade do solo, maior macroporosidade e porosidade total em relação ao cafeeiro convencional (3105 plantas ha<sup>-1</sup>). Épocas quentes e úmidas do ano favorecem as emissões de CO<sub>2</sub> do solo, no entanto, o manejo do cafeeiro sob sistema adensado proporcionou menores emissões de CO<sub>2</sub> do solo.

**Palavras-chave:** Espaçamento, agricultura familiar, volatilização, fertilizantes nitrogenados, Território do Caparaó.

## GENERAL ABSTRACT

GUIMARÃES, Gabriel Pinto. **Inhibitors of urease, litterfall and densification of coffee arabica: Relationships with organic matter of the soil.**

The use of technologies in coffee plantations should provide improvements in management conditions, help in plant production and promote quality in the soil and environment. In this sense, fertilizer technologies with urease inhibitors, foliar leaf litter and plant coffee densities were evaluated in response to problems in the management of crops coffee of family farmers in the Territory of Caparaó-ES. The chapter 1 had the objective to verify the potential of urease inhibitors in reducing  $\text{NH}_3$  volatilization and  $\text{CO}_2$  emission from the soil as well as to evaluate the activity of urease enzyme and the influence of urease inhibitors on soil organic matter. The NBPT and Cu + B urease inhibitors were shown to be promising in reducing  $\text{NH}_3$  volatilization, especially NBPT, which volatilized, from the evaluated doses, 1.4 to 5.6% of the total N applied. The efflux of  $\text{CO}_2$  followed the order: Urea > Urea + Cu + B > Urea + NBPT. Similarly, urease inhibitors reduced the activity of the soil urease enzyme, with the common urea being the treatment that provided the highest activity of the enzyme. Although the sources and doses of N did not influence soil organic C levels, there was a reduction of 5.1% in their average content from 16 to 32 days, that is, a short period of time has promoted a reduction in soil organic matter. The chapter 2 had the objective to verify the effect of the combination of urease inhibitors and litter coffee on volatilization of ammonia and  $\text{CO}_2$  emission, as well as the rate of nutrient decomposition and release of coffee litter and its effect on soil organic matter. The order of volatilization of  $\text{NH}_3$  and  $\text{CO}_2$  emission was: Urea > Urea + Cu + B > Urea + NBPT. However, the increased litter levels provide lower  $\text{NH}_3$  emission, but higher  $\text{CO}_2$  emissions. In the level equivalent to  $4.5 \text{ Mg ha}^{-1}$  of coffee litter and after 64 days of decomposition, the released amount of C, N, P, K, Ca and Mg was equivalent to 547.1; 49.0; 1.28; 17.4; 18.2 and  $5.0 \text{ kg ha}^{-1}$ , respectively. N sources and litter coffee levels did not influence the total organic C and total N content of the soil, however, from 16 to 64 days after the litter coffee application, there was a reduction in their contents in 15.4 and 21.1%, respectively. The chapter 3 had the objective to evaluate the effect of urease inhibitors together with coffee leaf litter on biometric parameters, nitrogen content and accumulation, foliar urease activity and % of chlorophyll in the

initial development of coffee. Regard less of the N source evaluated, the dose of 1.2 g vase<sup>-1</sup> of N was sufficient to provide plant height, stalk diameter, number of nodes, leaf pairs, plagiotropic branches and dry mass similar or greater than the other doses. Higher levels of N in the leaf were provided by the urease inhibitors, also impacting the increased activity of the urease enzyme in the leaf. The use of litter coffee provided a reduction of 9.1; 3.3; 10.5 and 19.3% in height, number of nodes, stalk diameter and number of plagiotropic branches, respectively, and reduced dry mass production and N accumulation in aerial part. Sources, N doses and coffee litter did not influence chlorophyll content, however, increase of chlorophyll content was verified over time after nitrogen fertilization. In field conditions, chapter 4 of the thesis had the objective to evaluate the influence of the coffee crop density on soil TOC and NT contents and stocks, C and N of the microbial biomass, light organic matter, organic matter lability, humic substances, density, porosity, CO<sub>2</sub> emissions, soil temperature and humidity in the mountainous region of Caparaó Territory - Espírito Santo. The high density of coffee (8333 plants ha<sup>-1</sup>) resulted in increased organic matter light (MOL) and carbon of organic matter light (CMOL), lower soil density, higher macroporosity and total porosity compared to conventional coffee (3105 plants ha<sup>-1</sup>). Hot and humid seasons of the year promote CO<sub>2</sub> emissions from the soil, however, the management of coffee under system density provided the lowest CO<sub>2</sub> emissions of the soil.

**Keywords:** Spacing, family farming, volatilization, nitrogenous fertilizers, Caparaó Territory.

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 1

**Tabela 1-** Tabela 1 - Caracterização química e física do Horizonte A de um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) coletado na profundidade de 0-20 cm em Alegre- ES.....27

**Tabela 2-** Média do pH em H<sub>2</sub>O (1:2,5) e do Al<sup>+3</sup> (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) avaliados aos 4, 16 e 32 dias após aplicação das fontes e doses de nitrogênio.....35

### CAPÍTULO 2

**Tabela 1-** Caracterização química e física do Horizonte A de um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) coletado na profundidade de 0-20 cm em Alegre- ES.....51

**Tabela 2-** Caracterização química e bioquímica da serapilheira foliar cafeeira.....52

**Tabela 3-** Liberação de C, N, P, K, Ca e Mg em função das doses de serapilheira aplicada após 64 dias de decomposição.....58

### CAPÍTULO 3

**Tabela 1-** Caracterização química e física do Horizonte A de um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) coletado na profundidade de 0-20 cm em Alegre- ES.....76

**Tabela 2-** Caracterização química e bioquímica da serapilheira foliar cafeeira.....78

**Tabela 3-** Altura da planta, número de nós, diâmetro do caule, número de ramos plagiotrópicos e pares de folhas após aplicação das fontes e doses de N na presença e ausência de serapilheira e nas épocas de avaliação de 90 e 180 dias.....81

### CAPÍTULO 4

**Tabela 1-** Caracterização química e física do Horizonte A e B de um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) coletado no distrito de Celina, município de Alegre- ES.....100

**Tabela 2-** Matriz de correlação do COT com as demais variáveis na profundidade 0-10, 10-20 e 20-40 cm.....112

**Tabela 3-** Tabela 3- Componentes principais (CPI), autovalores ( $\lambda_i$ ), variância explicada pelos componentes principais e correlação (1) entre variáveis originais e componentes principais na profundidade de 0-10, 10-20 e 20-40 cm.....113

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1

**Figura 1-** Volatilização da amônia (N-NH<sub>3</sub>) e efluxo de CO<sub>2</sub> após aplicação das fontes e doses de N. Ureia comum (UC), Ureia+NBPT (U+NBPT) e Ureia+Cu+B (U+Cu+B). Barras indicam desvio padrão da média.....30

**Figura 2-** Volatilização de amônia (N-NH<sub>3</sub>) após 32 dias após aplicação das fontes e doses de N. Ureia comum (UC), Ureia+NBPT (U+NBPT) e Ureia+Cu+B (U+Cu+B). Barras indicam desvio padrão da média.....32

**Figura 3-** Atividade da enzima urease do solo (mg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> Kg<sup>-1</sup> solo h<sup>-1</sup>) em função da época de avaliação para as fontes e doses de nitrogênio. Ureia Comum (UC), Ureia+NBPT (U+NBPT) e Ureia+Cu+B (U+Cu+B).....32

**Figura 4-** Média dos teores de nitrogênio total (NT) avaliada aos 4, 16 e 32 dias após a aplicação das fontes e doses de N. Médias seguidas por mesma letra minúscula para épocas em cada fonte e dose não diferem em 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey. Ureia Comum (UC), Ureia+NBPT (U+NBPT) e Ureia+Cu+B (U+Cu+B).....33

**Figura 5-** Média dos teores de carbono da biomassa microbiana (CBM) avaliada aos 4, 16 e 32 dias após aplicação das fontes e doses de nitrogênio. Médias seguidas por mesma letra para épocas em cada fonte e dose não diferem em 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey. Ureia Comum (UC), Ureia+NBPT (U+NBPT) e Ureia+Cu+B (U+Cu+B).....34

**Figura 6-** Média dos teores de nitrogênio da biomassa microbiana (NBM) avaliada aos 4, 16 e 32 dias após aplicação das fontes e doses de nitrogênio. Médias seguidas por mesma letra para épocas em cada fonte e dose não diferem em 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey. Ureia Comum (UC), Ureia+NBPT (U+NBPT) e Ureia+Cu+B (U+Cu+B).....35

### CAPÍTULO 2

**Figura 1-** Volatilização da amônia (N-NH<sub>3</sub>) e efluxo de CO<sub>2</sub> após aplicação das fontes de N em dose de 120 mg de N e da serapilheira foliar cafeeira nas doses de 1,8; 2,7 e 3,6 g. Ureia comum (UC), Ureia+NBPT (U+NBPT) e Ureia+Cu+B (U+Cu+B). Barras indicam desvio padrão da média.....56

**Figura 2-** Volatilização de amônia (N-NH<sub>3</sub>) durante 32 dias após aplicação das fontes de N e doses de serrapilheira. Ureia comum (UC), Ureia+NBPT (U+NBPT) e Ureia+Cu+B (U+Cu+B). Barras indicam desvio padrão da média.....57

**Figura 3-** Massa seca remanescente de serapilheira em função do tempo de decomposição para doses de 1,8; 2,7 e 3,6 g anel<sup>1</sup> de serapilheira.....57

**Figura 4-** Liberação de nutrientes da serapilheira em função do tempo para doses de 1,8; 2,7 e 3,6 g de serapilheira na presença da Ureia comum (UC), Ureia+NBPT (U+NBPT) e Ureia+Cu+B (U+Cu+B).....59

**Figura 5-** Média dos teores de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), carbono da biomassa microbiana (CBM), nitrogênio da biomassa microbiana (NBM), pH e Al<sup>+3</sup> do solo avaliada aos 16, 32 e 64 dias após aplicação das fontes de N e doses de serapilheira. Médias seguidas por ausência de letra para épocas em cada dose de serapilheira não diferem em 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey. Ureia Comum (UC), Ureia+NBPT (U+NBPT) e Ureia+Cu+B (U+Cu+B).....60

## CAPÍTULO 3

**Figura 1-** Localização da área de estudo.....76

**Figura 2-** Média da produção de massa seca, teor e acúmulo de N da parte aérea de cafeeiros IAC 144 influenciados pelas fontes de N, presença e ausência de serapilheira e época após adubação. Médias seguidas por mesma de letra não diferem em 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey. Ureia Comum (UC), Ureia+NBPT (U+NBPT) e Ureia+Cu+B (U+Cu+B). Barras representam o desvio padrão.....82

**Figura 3-** Atividade da urease foliar de cafeeiro IAC 144 influenciado pelas fontes de N, ausência e presença de serapilheira e época após adubação. Médias seguidas por mesma letra não diferem entre si em 5 % de significância pelo teste de Tukey. Ureia Comum (UC), Ureia+NBPT (U+NBPT) e Ureia+Cu+B (U+Cu+B). Barras representam o desvio padrão.....83

**Figura 4-** Média dos teores de clorofila A, Clorofila B e clorofila total em folhas de cafeeiros IAC 144 influenciados pelas fontes de N, presença e ausência de serapilheira e dias após adubação nitrogenada. Médias seguidas por mesma de letra não diferem em 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey. ns: análise de variância não significativa. Ureia Comum (UC), Ureia+NBPT (U+NBPT) e Ureia+Cu+B (U+Cu+B). Barras significam desvio padrão da média.....84

## CAPÍTULO 4

**Figura 1-** Valores médios da densidade do solo, densidade de partículas, umidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total nas profundidades 0-10,10-20 e 20-40 cm. Mata secundária (MS), café adensado (ADENS) e café não adensado (NADEN). Barras presentes representam o desvio padrão.....105

**Figura 2-** Valores médios dos teores de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), estoque de carbono (ESTC), estoque de nitrogênio (ESTN) nas profundidades 0-10, 10-20, 20-40 cm. Mata secundária (MS), café adensado (ADENS) e café não adensado (NADEN). As barras representam o desvio padrão.....106

**Figura 3-** Valores médios dos teores de carbono da biomassa microbiana (CBM), nitrogênio da biomassa microbiana (NBM), carbono extraível (C extraível), relação CBM/ NBM, relação CBM/ COT, matéria orgânica leve (MOL), carbono da matéria orgânica leve (C-MOL), nitrogênio da matéria orgânica leve (N-MOL), relação C-MOL/ COT e N-MOL/ NT nas profundidades 0-10,10-20 e 20-40 cm. Mata secundária (MS), café adensado (ADENS) e café não adensado (NADEN). As barras representam o desvio padrão.....108

**Figura 4-** Médias dos teores de carbono da fração ácido fulvico (C-FAF), fração ácido húmico (C-FAH), fração humina (C-FH) e dos teores de N da fração ácido fulvico (N-FAF), fração ácido húmico (N-FAH), fração humina (N-FH) nas profundidades 0-10,10-20 e 20-40 cm. Mata secundária (MS), café adensado (ADENS) e café não adensado (NADEN). As barras representam o desvio padrão.....109

**Figura 5-** Médias dos teores de carbono lábil ( $C_L$ ), carbono não lábil ( $C_{NL}$ ), labilidade (L), relação carbono lábil/ carbono orgânico total ( $C_L/COT$ ), índice do compartimento do carbono (ICC), índice de labilidade (IL) e índice do manejo do carbono (IMC) nas profundidades 0-10,10-20 e 20-40 cm. Mata secundária (MS), café adensado (ADENS) e café não adensado (NADEN). As barras representam o desvio padrão.....109

**Figura 6-** Médias mensais e anuais das emissões  $CO_2$ , umidade e temperatura do solo, quociente metabólico, relação da emissão de  $CO_2$  com temperatura e índice Q10 sob sistemas com mata secundária, cafeeiro adensado e cafeeiro não adensado. Barra presente significa o desvio padrão da média.....111

**Figura 7-** Análise de componentes principais (CP1 e CP2) dos valores médios dos atributos da matéria orgânica e físicos do solo nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-40 cm para mata secundária, cafeeiro adensado e não adensado. COT: carbono orgânico total; CBM/COT: relação carbono da biomassa microbiana /carbono orgânico total; CBM/NBM: relação carbono da biomassa microbiana/nitrogênio da biomassa microbiana; NBM: nitrogênio da biomassa microbiana; C/N: relação carbono/nitrogênio; MACRO: macroporosidade.....114

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	17
<b>2. REFERÊNCIAS</b> .....	21
<b>CAPÍTULO 1: FERTILIZANTES INIBIDORES DE UREASE: VOLATILIZAÇÃO DA AMÔNIA, ATIVIDADE DA UREASE E MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO</b> .....	23
<b>Resumo</b> .....	23
<b>Abstract</b> .....	24
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	25
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	26
2.1. Experimento 1: Volatilização de NH <sub>3</sub> e emissão de CO <sub>2</sub> .....	27
2.2. Experimento 2: Atividade da urease.....	29
2.3. Experimento 3: Atributos químicos e orgânicos do solo.....	30
<b>3. RESULTADOS</b> .....	30
3.1. Volatilização de NH <sub>3</sub> e emissão de CO <sub>2</sub> .....	30
3.2. Atividade da urease do solo.....	32
3.3. Atributos químicos e orgânicos do solo.....	33
<b>4. DISCUSSÃO</b> .....	36
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	41
<b>6. REFERÊNCIAS</b> .....	41
<b>CAPÍTULO 2: SERAPILHEIRA CAFEIEIRA E INIBIDORES DE UREASE: ALTERNATIVAS NO MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA DE REGIÕES CAFEIEIRAS</b> .....	45
<b>Resumo</b> .....	45
<b>Abstract</b> .....	47
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	49
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	50
2.1. Experimento 1: Volatilização de NH <sub>3</sub> e emissão de CO <sub>2</sub> .....	53
2.2. Experimento 2: Decomposição e liberação de nutrientes da serapilheira e atributos do solo.....	54
<b>3. RESULTADOS</b> .....	55
3.1. Volatilização de NH <sub>3</sub> e emissão de CO <sub>2</sub> .....	55
3.2. Taxa de decomposição, liberação de nutrientes da serapilheira e atributos do solo.....	57
<b>4. DISCUSSÃO</b> .....	60
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	66
<b>6. REFERÊNCIAS</b> .....	67
<b>CAPÍTULO 3: CRESCIMENTO INICIAL DE CAFEIRO INFLUENCIADO POR FERTILIZANTES INIBIDORES DE UREASE E ADIÇÃO DE SERAPILHEIRA CAFEIEIRA</b> .....	71
<b>Resumo</b> .....	71
<b>Abstract</b> .....	73
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	74
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	75
<b>3. RESULTADOS</b> .....	79

3.1. Atributos Biométricos.....	79
3.2. Massa seca, teores e acúmulo de N.....	82
3.3. Atividade da urease foliar.....	83
3.4. Clorofila A, B, total.....	84
<b>4. DISCUSSÃO.....</b>	<b>84</b>
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>88</b>
<b>6. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>89</b>

**CAPÍTULO 4: ATRIBUTOS FÍSICOS E DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM SISTEMA CAFEIEIRO ADENSADO DA REGIÃO MONTANHOSA DO SUL DO ESPÍRITO SANTO.....93**

<b>Resumo.....</b>	<b>93</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>95</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>97</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>99</b>
2.1. Caracterização das áreas de estudo e do material de solo.....	99
2.2. Amostragem do solo e preparo das amostras.....	100
2.3. Atributos avaliados.....	101
2.4. Análise estatística.....	103
<b>3. RESULTADOS.....</b>	<b>104</b>
3.1. Atributos físicos.....	104
3.2. Atributos da matéria orgânica.....	105
3.3. Análise de componentes principais.....	111
<b>4. DISCUSSÃO.....</b>	<b>114</b>
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>121</b>
<b>6. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>122</b>

**CAPÍTULO 5: SUGESTÕES /RECOMENDAÇÕES ACERCA DOS INIBIDORES DE UREASE, SERAPILHEIRA CAFEIEIRA E ADENSAMENTO CAFEIEIRO.....127**

**APÊNDICE.....131**

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

Líder mundial na produção e exportação de café e segundo maior consumidor mundial, o Brasil tem grande influência da cafeicultura como geradora de receita no país (ABIC, 2018). Em 2016 foram 75 mil contêineres embarcados, demonstrando a eficiência do comércio exportador brasileiro em atender as crescentes demandas externas. Além disso, a cafeicultura brasileira gera receita para centenas de municípios, além de ser o principal gerador de postos de trabalho na agropecuária nacional (CONSELHO NACIONAL DE CAFÉ, 2016).

O estado do Espírito Santo (ES) é um grande polo nacional na produção de café. A produção de café no ES é responsável por quase 20% da produção nacional (VENDAS et al., 2013). O ES é o maior produtor brasileiro de café conilon e um dos maiores produtores nacionais de café arábica (CONAB, 2018).

Uma das principais regiões produtoras de café arábica do ES é o Território do Caparaó (TC), que se localiza ao sul do ES. Além da geração de emprego e renda para o TC, a cafeicultura tem grande importância na manutenção dos cafeicultores e sua família no campo evitando assim, o êxodo rural. Em 1970, 70% da população capixaba encontrava-se no meio rural (AGÊNCIA 21, 2006). Em 2015, 38% dos 179.590 habitantes do TC ainda permanecem na área rural (CGMA, 2015), porcentagem considerada alta para os dias atuais. Isso é de grande importância, pois nesta região, predomina a agricultura familiar em pequenas propriedades cafeeiras.

Outra grande importância de se manter os produtores familiares na área rural diz respeito à manutenção da biodiversidade. De modo geral, as lavouras dos cafeicultores familiares possuem áreas de cultivo e de preservação ambiental definidas. Assim sendo, a preservação da Mata Atlântica, bioma da região, fica garantida.

Devido à importância dos cafeicultores no TC, pesquisas devem estar orientadas visando melhorias nas condições de manejo das lavouras cafeeiras. Isso se torna de

grande importância, uma vez que os cafeicultores se sentem assistidos tecnicamente e motivados.

A expansão da cafeicultura na região do TC ocorreu após desmatamentos na década de 70 e 80 (SIQUEIRA et al., 2010) com a introdução do cafeeiro em largos espaçamentos, sem curva de nível e no relevo montanhoso (GUIMARÃES et al., 2013). Essa situação ainda pode ser visualizada em algumas lavouras antigas da região. Nestas condições de manejo, a cafeicultura ficou insustentável, pois, com o baixo número de plantas por hectare e relevo propício às perdas de solo, água e nutrientes por erosão, a quantidade de café produzida é muito baixa.

Em 2007, de acordo com Secretaria de Estado da Agricultura, Abastecimento, Aquicultura e Pesca a produtividade média de café arábica no TC foi de 10,8 sacas beneficiadas por hectare (ESPÍRITO SANTO, 2008). Em 2017, a produtividade média de café arábica no ES foi de 19,65 sacas ha<sup>-1</sup> de café beneficiado (CONAB, 2018).

Devido à baixa produtividade da região e ao impacto ambiental causado pela degradação do solo, algumas medidas foram e vêm sendo tomadas de forma a auxiliar o pequeno cafeicultor a aumentar a rentabilidade e conservar o solo e a água. No que trata a presente tese, tem-se trabalhado as seguintes medidas: o uso de fertilizantes inibidores de urease, o uso da serapilheira cafeeira e o uso de espaçamentos adensados.

Os fertilizantes inibidores de urease podem ser uma alternativa na substituição da adubação convencional a base de ureia. Principalmente nos últimos anos, tem-se observado longos períodos de estiagem na época chuvosa (outubro a março). A aplicação de ureia nesta condição de falta de umidade do solo leva a altas perdas de nitrogênio por volatilização da amônia. Assim sendo, para o pequeno cafeicultor familiar, que apresenta dificuldades financeiras e de manejo provocada pelo relevo declivoso, o uso dos inibidores de urease pode ser viável por reduzir as perdas por volatilização, conseguindo assim maior aproveitamento do adubo aplicado.

Algumas pesquisas mostram que os fertilizantes inibidores de urease incrementam a produtividade das culturas, outras pesquisas não demonstraram efeito desses fertilizantes em produtividade (CANTARELLA et al., 2009; ZAMAN; BLENNERHASSET, 2010; RODRIGUES et al., 2016). Contudo, há o interesse ambiental em se verificar qual a influência desses fertilizantes inibidores de urease sobre a matéria orgânica do solo. Partindo da hipótese que os fertilizantes inibidores de urease aumentam os teores de matéria orgânica do solo, o capítulo 1 da tese teve por objetivo avaliar o efeito dos fertilizantes com inibidores de urease sobre a volatilização da amônia, a emissão de CO<sub>2</sub>, a atividade da enzima urease do solo e a matéria orgânica do solo.

A ureia é o principal fertilizante nitrogenado utilizado no mundo (RODRIGUES et al., 2016). No Brasil, a ureia correspondeu por 55 % da comercialização dos fertilizantes nitrogenados no ano de 2015 (IPNI, 2017) sendo o fertilizante nitrogenado mais empregado na agricultura do Brasil. Além dos altos teores de N (45% a 46% de N em forma amídica) na sua composição, a ureia possui outras vantagens como menor custo de transporte, uma vez que apresenta alta concentração de N, alta solubilidade, baixa corrosividade e facilidade de mistura com outras fontes (GARCIA et al., 2010). Contudo, a sua principal desvantagem está nas altas perdas de N por volatilização da NH<sub>3</sub>.

A forma de reduzir as perdas de N por volatilização da NH<sub>3</sub> ocorre com a utilização de fertilizantes nitrogenados estabilizados com inibidores de urease NBPT e Cu+B. Em seu modo de ação, o NBPT [N-(n-butil) tiofosfórico triamida] inativa temporariamente a ação da enzima urease do solo. Durante o tempo em que o inibidor estiver aderido à ureia, ele promove a ocupação do local de ação da urease não permitindo atuação dessa enzima (GARCIA et al., 2010). Como a urease não irá atuar na molécula de ureia, essa não será hidrolisada, evitando assim, perdas por volatilização da NH<sub>3</sub>. O tempo de inibição da urease propiciado pelo NBPT pode variar, em média, de sete a quatorze dias.

O Cu e o B também proporcionam redução na atividade da enzima urease do solo. Esta enzima contém grupos sulfidrilas que são partes ativas da enzima. A inibição provocada pelo metal Cu é devido à sua ligação nos grupos sulfidrilas formando sulfetos insolúveis e, conseqüentemente, inibindo a atividade da enzima. De modo semelhante, a enzima urease possui, no sítio ativo, dois átomos de níquel (Ni) ligados por uma hidroxila. A ação de inibição feita pelo ácido bórico ( $H_3BO_3$ ) é por ficar simetricamente entre os dois átomos de Ni, e ter forma geometricamente semelhante ao substrato ureia; portanto o  $H_3BO_3$  é considerado como um substrato análogo ureia à mesma (BENINI et al., 2004).

Outra questão que pode influenciar na dinâmica da adubação nitrogenada é a serapilheira foliar cafeeira. Prática utilizada por muitos cafeicultores da região é a arruação. Tal prática consiste em retirar a serapilheira presente na projeção da copa do cafeeiro e depositar na linha do cafeeiro. Após a colheita total dos frutos cafeeiros, o solo da projeção da copa fica limpo para receber o adubo. Após a adubação, o cafeicultor pode retornar com a serapilheira para a projeção da copa cafeeira. Se por um lado a serapilheira pode proporcionar barreira física e reduzir as perdas de N por volatilização, por outro, a serapilheira pode contribuir com aumento da atividade da enzima urease e aumentar as perdas de N por volatilização.

Tendo por hipótese que a associação de inibidores de urease junto à serapilheira cafeeira reduz as perdas de N por volatilização da  $NH_3$ , além de aumentar os teores de matéria orgânica do solo e aumentar a liberação de nutrientes da serapilheira, o capítulo 2 da tese tem por objetivo avaliar o efeito da associação serapilheira cafeeira e inibidores de urease sobre as perdas de N por volatilização da  $NH_3$  e emissão  $CO_2$  do solo, a decomposição da serapilheira cafeeira e liberação de nutrientes e o efeito da associação de inibidores de urease com serapilheira sobre a biomassa microbiana e a matéria orgânica do solo.

Em lavouras antigas, a quantidade de serapilheira depositada sobre o solo pode ser grande. Nestas lavouras de baixa produtividade tem sido recomendada a renovação do cafeeiro para sistema adensado. Assim sendo, o capítulo 3 da tese tem por

objetivo avaliar o efeito de adubos nitrogenados com inibidores de urease juntamente com a presença e ausência de serapilheira foliar cafeeira sobre parâmetros biométricos, teor e acúmulo de N, atividade da urease foliar e % de clorofila no desenvolvimento inicial do cafeeiro arábica. Já no capítulo 4 da tese, objetivou-se avaliar a influência do adensamento cafeeiro sobre atributos físicos e orgânicos do solo, ou seja, os teores e estoques de C e N do solo, C e N da biomassa microbiana do solo, a matéria orgânica leve do solo, a labilidade da matéria orgânica do solo, as substâncias húmicas do solo, as emissões de CO<sub>2</sub> do solo, temperatura e umidade do solo.

Para finalizar, o capítulo 5 da tese traz comentários finais e recomendações para os cafeicultores familiares da região montanhosa do Território do Caparaó Capixaba acerca dos fertilizantes inibidores de urease, da serapilheira cafeeira e do adensamento das lavouras.

## 2. REFERÊNCIAS

ABIC. Estatísticas. Associação Brasileira da Indústria do Café. Disponível em: <http://www.abic.com.br/estatisticas>. Acesso em: 12/02/2018.

AGÊNCIA 21. Plano de desenvolvimento sustentável: Programa Vale Mais – Caparaó Capixaba 2006-2026. Rio de Janeiro: Agência 21, 2006. 123p.

BENINI, S. et al. Molecular details of urease inhibition by boric acid: insights into the catalytic mechanism. **Journal of American Chemistry Society**, v.126, n. 2, p.3714-3715, 2004.

CGMA- Coordenação Geral de Monitoramento e Avaliação. Perfil Territorial Caparaó-ES.<  
[http://sit.mda.gov.br/download/caderno/caderno\\_territorial\\_026\\_Capara%C3%83%C2%B3%20-ES.pdf](http://sit.mda.gov.br/download/caderno/caderno_territorial_026_Capara%C3%83%C2%B3%20-ES.pdf)>. Acesso: 25/01/2018.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira: Café. Brasília: CONAB, <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=>>>. Acesso em: 25/01/18.

Conselho Nacional de Café. Caderno especial: cadeia produtiva do café. **Agroanalysis**, p. 24-36, 2016.

ESPÍRITO SANTO (Estado) (2008). Secretaria de Estado da Agricultura, Abastecimento, Aquicultura e Pesca. Plano estratégico de desenvolvimento da agricultura capixaba- Novo Pedeag 2007-2025 – região do Caparaó. Vitória, 284p.

GARCIA, A. L. A. et al. Efeito da uréia com inibidor de urease no crescimento de mudas de cafeeiro (*coffea arabica* L.). **Coffee Science**, v.6, p.1-7, 2011.

GUIMARÃES, G. P. et al. Avaliação da qualidade do solo e de cafeeiros em propriedade familiar do Território do Caparaó -ES. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.8, p.236 -246, 2013.

RODRIGUES, J. O. et al. Volatilização de amônia de uréias protegidas na cultura do cafeeiro Conilon. **Coffee Science**, v.11, n.4, p. 530-537, 2016.

SIQUEIRA, H. M. et al. Transição agroecológica e sustentabilidade dos agricultores familiares do Território do Caparaó-ES. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.5, n.2, p. 247-263, 2010.

SALES, E. F. et al. Conilon coffee (*Coffea canephora*) agroforestry systems in the state of Espírito Santo, Brazil. **Agroecology and Sustainable Food Systems**, v.37, p.405-429, 2013.

ZAMAN, M.; BLENNERHASSET, J. D. Effect of the different rates of urease and nitrification inhibitors on gaseous emissions of ammonia and nitrous oxide, nitrate leaching and pasture production from urine patches in an intensive grazed pasture system. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v.136, p.236-246, 2010.

## CAPÍTULO 1

### FERTILIZANTES INIBIDORES DE UREASE: VOLATILIZAÇÃO DA AMÔNIA, ATIVIDADE DA UREASE E MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

#### Resumo

Fertilizantes inibidores de urease são eficientes por reduzir as perdas de  $\text{NH}_3$  por volatilização. Entretanto, inibidores de urease podem influenciar os teores de matéria orgânica e a microbiota do solo. O trabalho foi dividido em três experimentos com objetivos de avaliar, ao longo do tempo, o efeito dos inibidores de urease sobre: volatilização da  $\text{NH}_3$  e emissão de  $\text{CO}_2$  do solo; atividade da enzima urease do solo e; matéria orgânica e microrganismos do solo. Os tratamentos incluíram a aplicação das fontes: Ureia comum (UC), Ureia+NBPT (U+NBPT) e Ureia+Cu+B (U+Cu+B) e 5 doses (85, 117, 160, 203 e 245 mg  $\text{anel}^{-1}$  de N). O pico de volatilização da  $\text{NH}_3$  e atividade da urease ocorrem, respectivamente, aos 4 e 2 dias para UC e U+Cu+B e aos 4 e 16 dias para a U+NBPT, respectivamente. A U+NBPT foi o fertilizante mais promissor em reduzir as perdas totais por volatilização da  $\text{NH}_3$ , com perdas que variaram de 1,4 a 5,6% do total de N aplicado. Os picos de emissão de  $\text{CO}_2$  ocorreram aos 3 dias para UC e U+Cu+B e aos 7 dias para a U+NBPT. A U+NBPT acarretou redução média de 64,0% do C da biomassa microbiana dos 16 aos 32 dias. Ocorreu redução de 5,1% no teor de C orgânico total dos 16 para 32 dias após a adubação. O monitoramento da microbiota e matéria orgânica do solo devem ser considerados no manejo da adubação nitrogenada, principalmente em culturas onde há o parcelamento da adubação em curto período de tempo.

**Palavras-chave:** Nitrogênio, atividade enzimática, biomassa microbiana, emissão de  $\text{CO}_2$ .

## CHAPTER 1

### FERTILIZERS WITH UREASE INHIBITORS: SOIL AMMONIA VOLATILIZATION, UREASE ACTIVITY, AND ORGANIC MATTER

#### Abstract

Urease-inhibiting fertilizers are efficient in reducing  $\text{NH}_3$  losses from volatilization. However, urease inhibitors may influence the soil organic matter levels and soil microbiota. The present work consisted of three experiments to evaluate the effect of urease inhibitors over time on the following factors: soil  $\text{NH}_3$  volatilization and  $\text{CO}_2$  emissions in one experiment, soil urease activity in another, and soil organic matter and microorganisms in a third. Treatments included the application of three different N sources: common urea (CU), urea+N-(n-butyl) phosphoric triamide (U+NBPT), and urea+copper sulphate+boric acid (U+Cu+B) at five N doses (85, 117, 160, 203, and 245 mg ring<sup>-1</sup> of N). The  $\text{NH}_3$  volatilization and urease activity peaks occurred, respectively, after 4 and 2 d for CU and U+Cu+B but after 4 and 16 d for U+NBPT. U+NBPT was the most promising fertilizer in reducing the total  $\text{NH}_3$  volatilization losses, which varied between 1.4 and 5.6% of the total applied N.  $\text{CO}_2$  emission peaks occurred after 3 d for CU and U+Cu+B and after 7 d for U+NBPT. The U+NBPT formulation caused a mean reduction of 64.0% in the microbial biomass C from 16 to 32 d. The total organic C content decreased by 5.1% from 16 to 32 d after fertilization. The monitoring of soil microbiota and organic matter should be included in the management of N fertilization, especially in crops with split fertilizer application during a short period.

**Keywords:** Nitrogen, enzymatic activity, microbial biomass,  $\text{CO}_2$  emission.

## 1- INTRODUÇÃO

A integração de tecnologias tem ajudado o produtor no manejo das atividades agrícolas da propriedade rural de modo a obter uma agricultura mais sustentável (RIBEIRO et al., 2016). Uma dessas tecnologias está presente em fertilizantes nitrogenados estabilizados com inibidores de urease (CHIEN; PROCHNOW; CANTARELLA, 2009). Estes fertilizantes são mais eficientes, pois minimizam o potencial de perdas de  $\text{NH}_3$  para a atmosfera quando comparado aos fertilizantes nitrogenados convencionais (RODRIGUES et al., 2016; VILLALBA et al., 2014).

Fertilizantes estabilizados com inibidor de urease NBPT (N-n-butil tiofosfórico triamida) têm demonstrado excelentes resultados na redução da volatilização da  $\text{NH}_3$  (CANTARELLA et al., 2008; PEREIRA et al., 2009; RIBEIRO et al., 2016; SOARES; CANTARELLA; MENEGALI, 2012). Outros inibidores da urease promissores são o ácido bórico e o sulfato de cobre (FARIA et al., 2014; NASCIMENTO et al., 2013; RODRIGUES et al., 2016). Esses compostos atuam temporariamente sobre a enzima urease e conseqüentemente, reduzem a hidrólise da ureia e a taxa de volatilização da  $\text{NH}_3$  (GARCIA et al., 2011; RODRIGUES et al., 2016).

A ureia é o principal fertilizante nitrogenado utilizado no mundo (RODRIGUES et al., 2016; ROJAS et al., 2012; VILLALBA et al., 2014). No Brasil, a ureia correspondeu por 55 % da comercialização dos fertilizantes nitrogenados no ano de 2015 (IPNI, 2017). De modo semelhante, a ureia é o fertilizante mais utilizado na cafeicultura arábica na região montanhosa do Espírito Santo (ES), Brasil, sendo que a recomendação da adubação pode chegar a  $450 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de N (GUIMARÃES et al., 1999). O ES é o terceiro estado brasileiro na produção de café arábica com 3.932.100 sacas beneficiadas em área de produção de 150.025 ha em 2016 (CONAB, 2017).

Aliado à alta dose de N, a ureia é aplicada na superfície do solo e na projeção da copa cafeeira. Essas condições são propícias a volatilização da  $\text{NH}_3$  e conseqüentemente, elevada perda do N da ureia aplicada, tornando-se um dos principais problemas para a cafeicultura de montanha do ES. Nessa região,

predomina agricultura familiar onde a incorporação da ureia com enxada ou com irrigação são manejos onerosos e difíceis de serem realizados, entretanto, são manejos indicados para reduzir a volatilização de  $\text{NH}_3$  (DAWAR et al., 2011; GARCIA et al., 2011; RODRIGUES et al., 2016).

No Brasil, as perdas por volatilização da  $\text{NH}_3$  com a fonte ureia variam de 20 a 30%, mas podem chegar a 60% do N aplicado (SOARES; CANTARELLA; MENEGALI, 2012). Além da perda econômica com a  $\text{NH}_3$  volatilizada, observa-se também impacto ambiental negativo, seja através da emissão secundária de  $\text{N}_2\text{O}$  para a atmosfera, acidificação do solo, eutrofização de cursos águas e perda de biodiversidades terrestres principalmente em habitat sensíveis (SOARES; CANTARELLA; MENEGALI, 2012; ZAMAN et al., 2009; ZAMAN et al., 2008).

Dessa forma, o uso de fertilizantes com inibidores de urease pode ser uma alternativa ao cafeicultor para reduzir as perdas e proporcionar melhor qualidade ambiental. Entretanto, escassas são as pesquisas que demonstram o impacto dos fertilizantes com inibidores de urease sobre a matéria orgânica e microrganismos do solo. Por permanecer maior período de tempo no solo, os fertilizantes com inibidores de urease podem exercer influência na volatilização de  $\text{NH}_3$ , emissão de  $\text{CO}_2$ , biomassa microbiana, teores de C e N e pH do solo.

A escolha da fonte e dose de N é de suma importância para um correto manejo da adubação, de modo a evitar grandes perdas por volatilização. Dessa forma, objetivou-se avaliar o efeito dos fertilizantes com inibidores de urease sobre: a volatilização da amônia; a emissão de  $\text{CO}_2$ ; a atividade da enzima urease do solo e; a matéria orgânica do solo.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

Os 3 experimentos foram conduzidos no Laboratório de Fertilidade do Solo do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCAUE-UFES). Os experimentos foram mantidos à temperatura constante de  $25^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$  durante o período experimental.

Foram utilizadas amostras da profundidade 0-20 cm de um Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média, coletadas na área experimental do CCAE-UFES (solo característico da região). As amostras de solo foram secas ao ar e passadas em peneira de 2 mm de abertura de malha, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA). A caracterização física e química do solo encontra-se na Tabela 1.

Antes da montagem dos experimentos, a calagem foi realizada elevando-se a saturação por bases (V) em 60 % utilizando-se o método da saturação por bases.

Tabela 1 - Caracterização química e física de um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) coletado na profundidade de 0-20 cm em Alegre- ES.

Análise química	LVA
pH em água (1:2,5) <sup>1</sup>	5,54
Al trocável (cmolc dm <sup>-3</sup> ) <sup>2</sup>	0,18
Fósforo disponível(mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>3</sup>	2,37
Potássio disponível (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>3</sup>	178
Cálcio trocável (cmolc dm <sup>-3</sup> ) <sup>2</sup>	0,70
Magnésio trocável (cmolc dm <sup>-3</sup> ) <sup>2</sup>	0.69
H + Al (cmolc dm <sup>-3</sup> ) <sup>4</sup>	3.57
SB (cmolc dm <sup>-3</sup> )	1.86
CTC(t) (cmolc dm <sup>-3</sup> )	2.04
CTC(T) (cmolc dm <sup>-3</sup> )	5.43
Carbono orgânico (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>5</sup>	17,43
Nitrogênio total (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>6</sup>	1,29
Análise granulométrica	
Areia (dag kg <sup>-1</sup> ) <sup>7</sup>	67,91
Silte (dag kg <sup>-1</sup> ) <sup>7</sup>	3,84
Argila (dag kg <sup>-1</sup> ) <sup>7</sup>	28,25
Classe textural	Média

<sup>1</sup> Relação solo água 1:2,5; <sup>2</sup> Extrator KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; <sup>3</sup> Extrator Mehlich-1; <sup>4</sup> Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup> - pH 7, 0; <sup>5</sup> Yeomans and Bremner (1988); <sup>6</sup> Tedesco (1995); <sup>7</sup> Método da pipeta (ALMEIDA et al, 2012).

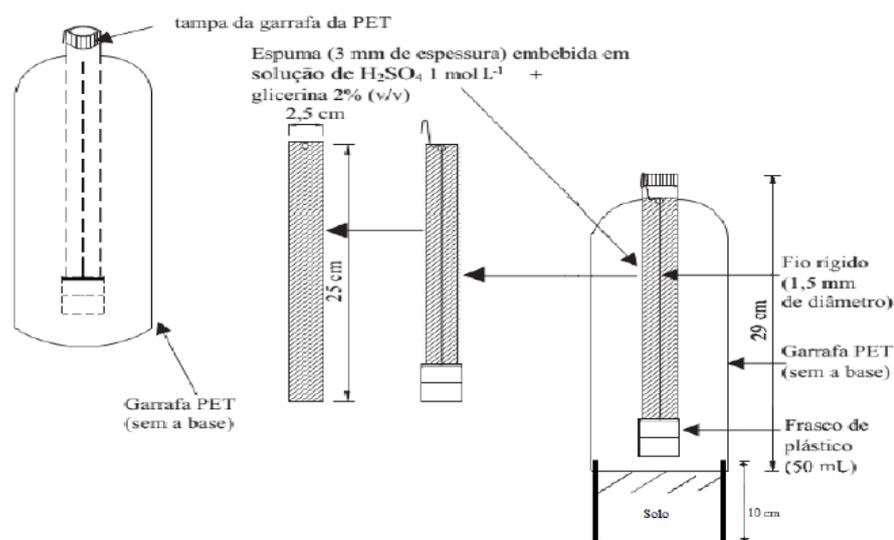
## 2.1. Experimento 1: Volatilização de NH<sub>3</sub> e emissão de CO<sub>2</sub>

O experimento seguiu esquema fatorial 3 x 5, sendo 3 fontes de N: Ureia comum (UC), Ureia + NBPT (U+NBPT) e Ureia + Cu + B (U+Cu+B) e 5 doses de N (85, 117, 160, 203 e 245 mg anel<sup>-1</sup> de N. Cada anel possui área útil de 0,008 m<sup>2</sup>. Estas doses

correspondem a 105, 145, 200, 250 e 305 kg ha<sup>-1</sup> de N. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC) com 3 repetições, totalizando 45 unidades experimentais.

Cada unidade experimental foi constituída por 2 anéis de PVC, sendo um para avaliar a volatilização de NH<sub>3</sub> e outro para avaliar a emissão de CO<sub>2</sub>. Cada anel de PVC com 10 cm de diâmetro e 10 cm de altura recebeu 0,5 dm<sup>-3</sup> de solo. O solo recebeu água para atingir 70% da capacidade de campo que foi determinada no extrator de placa porosa a uma tensão de 10 kPa (REICHARDT, 1988) e em seguida, o solo ficou incubado por três dias para aclimação da biota e produção da urease.

Após esse período, os fertilizantes nitrogenados foram aplicados na superfície do solo e imediatamente após, nas unidades para captura da amônia volatilizada foi instalada uma câmara coletora (MARSOLA; TAKAHASHI; MIYAZAWA; 2000, modificada por ARAÚJO et al., 2006). A câmara coletora consiste em um coletor semiaberto livre estático (SALE) confeccionado a partir de frasco plástico transparente, tipo PET de 2 litros, sem a base, com diâmetro de 10 cm, abrangendo 0,008 m<sup>2</sup> de área da base. A ilustração abaixo representa a unidade de captura de amônia.



Esquema da câmara coletora de N-NH<sub>3</sub> semiaberta livre estática (SALE). Fonte (Ribeiro, 2015).

No interior do frasco PET suspendeu-se uma lâmina de espuma de poliuretano com 3 mm de espessura, 2,5 cm de largura e 25 cm de comprimento de forma vertical com o auxílio de um fio rígido de 1,5 mm. Na outra extremidade do fio rígido foi acoplado um frasco de 50 mL e nele adicionado 10 mL de solução de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1 mol  $\text{L}^{-1}$  + glicerina (2 % v/v) no qual a espuma foi embebida.

A volatilização de amônia foi avaliada aos 2, 4, 8, 16 e 32 dias após aplicação dos adubos. Após cada coleta, as espumas foram colocadas em tubos de destilação para determinação da amônia retida, seguindo procedimento de Silva et al. (2010). A emissão de cada período foi somada obtendo a volatilização total.

A emissão de  $\text{CO}_2$  foi avaliada a 1, 3, 7, 11, 15 e 31 dias após a aplicação dos adubos, utilizando-se sistema automatizado portátil de fluxo de  $\text{CO}_2$  do solo LI-COR (LI- 8100) Nebraska EUA. Em seu modo de medição, o sistema LI-8100 detecta as mudanças na concentração de  $\text{CO}_2$  por meio de espectroscopia na região do infravermelho (IRGA Infrared Gas Analyzer).

Foram gerados gráficos do comportamento da volatilização de  $\text{NH}_3$  e emissões de  $\text{CO}_2$  em função do tempo. Os resultados da volatilização total de  $\text{NH}_3$  foram submetidos a análise de variância, teste de média para fator fontes e regressão para o fator doses. Foi utilizado o programa estatístico Sisvar (FERREIRA, 2007).

## 2.2. Experimento 2: Atividade da urease

O experimento seguiu esquema de parcelas subdivididas onde as parcelas foram constituídas de 3 fontes e 5 doses de N. As fontes foram: Ureia comum (UC), Ureia + NBPT (U+NBPT) e Ureia + Cu + B (U+Cu+B) e as 5 doses de N foram de 85, 117, 160, 203 e 245 mg  $\text{anel}^{-1}$  de N. As subparcelas foram constituídas de 5 épocas de avaliação (2, 4, 8, 16 e 32 dias após aplicação dos fertilizantes). O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC) com 3 repetições, totalizando 225 unidades experimentais.

Para cada época de avaliação (2, 4, 8, 16 e 32 dias) foi determinada a atividade da enzima urease segundo método adaptado de Keeney (1982). A atividade da enzima urease foi expressa em  $\text{mg N-NH}_4^+ \text{ Kg}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ .

Os dados foram submetidos a análise de variância e teste de média para o fator fonte e regressão para dose e época. Foi utilizado o programa estatístico Sisvar (FERREIRA, 2007).

### 2.3. Experimento 3: Atributos químicos e orgânicos do solo

O experimento seguiu esquema de parcelas subdivididas onde as parcelas foram constituídas de 3 fontes e 5 doses de N. As fontes foram: Ureia comum (UC), Ureia + NBPT (U+NBPT) e Ureia + Cu + B (U+Cu+B). As 5 doses de N avaliadas foram: 85, 117, 160, 203 e 245  $\text{mg anel}^{-1}$  de N. As subparcelas foram constituídas de 3 épocas de avaliação (4, 16 e 32 dias após aplicação dos fertilizantes). O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC) com 3 repetições, totalizando 135 unidades experimentais.

Para cada época de avaliação (4, 16 e 32 dias) foi determinado o COT segundo Yeomans and Bremner (1988), NT segundo Tedesco (1995) e calculada a relação COT/NT. Foram determinados o C e N da biomassa microbiana (CBM e NBM) segundo Islam and Weil (1998). Determinou-se o pH e  $\text{Al}^{+3}$  do solo segundo Embrapa (2011). Os dados foram submetidos a análise de variância e teste de média utilizando programa estatístico Sisvar (Ferreira 2007).

## 3. RESULTADOS

### 3.1. Volatilização da $\text{NH}_3$ e emissão de $\text{CO}_2$

Os valores da volatilização de amônia variaram com os fertilizantes nitrogenados, as doses aplicadas e a época de avaliação (Figura 1). No pico de volatilização, a perda de  $\text{N-NH}_3$  da UC e U+Cu+B foi superior em relação a U+NBPT ( $p < 0,01$ ). A UC e U+Cu+B apresentaram pico de volatilização no quarto dia, ambos com volatilização

média de 14,8 mg N-NH<sub>3</sub>. A U+NBPT induziu o pico de volatilização aos 16 dias após aplicação dos adubos e quantidade média volatilizada de 4,15 mg N-NH<sub>3</sub>.

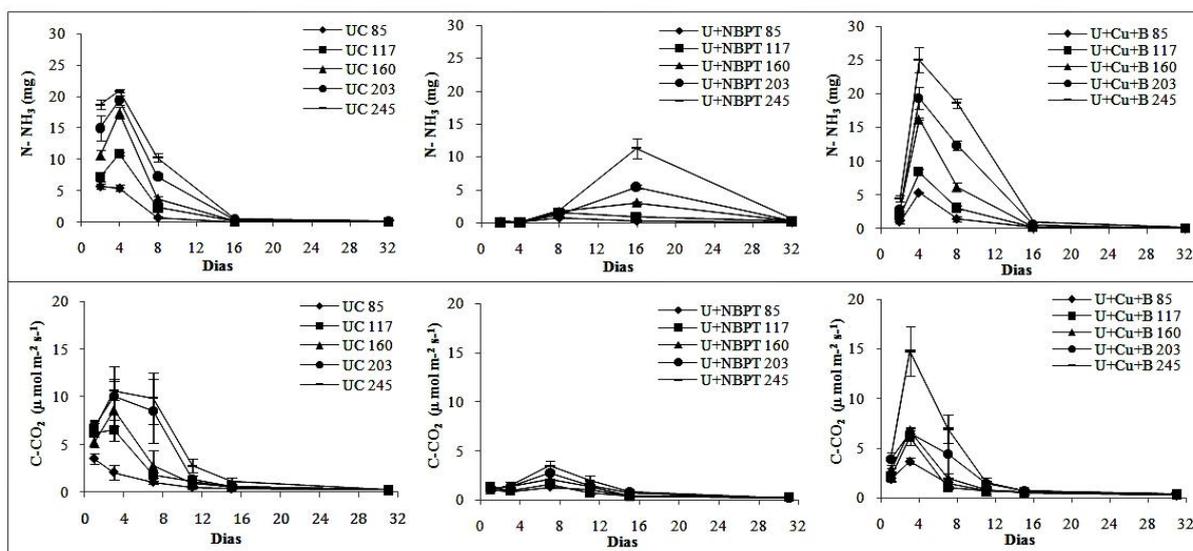


Figura 1: Volatilização da amônia (N-NH<sub>3</sub>) e efluxo de CO<sub>2</sub> após aplicação das fontes e doses de N. Ureia comum (UC), Ureia+NBPT (U+NBPT) e Ureia+Cu+B (U+Cu+B). Barras indicam desvio padrão da média.

O efluxo de CO<sub>2</sub> do solo variou com a aplicação dos fertilizantes nitrogenados, as doses e a época de avaliação (Figura 1). Para UC e U+Cu+B, o pico de emissão de CO<sub>2</sub> do solo acompanhou o pico de volatilização da NH<sub>3</sub>, ou seja, aos 3 dias. Já para a U+NBPT, o pico de emissão de CO<sub>2</sub> ocorreu aos 7 dias após aplicação dos fertilizantes. Nestes picos, o efluxo médio de CO<sub>2</sub> foi de 7,6; 7,5 e 2,2 µ mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> para UC, U+Cu+B e U+NBPT, respectivamente.

A perda total de N no período de 32 dias diferiu entre as fontes e doses ( $p < 0,01$ ). A ordem de volatilização total foi a seguinte: UC > U+Cu+B > U+NBPT. De modo semelhante, em todas as fontes, à medida que a dose de N aplicado aumentou, aumentou-se também a perda de N por volatilização (Figura 2).

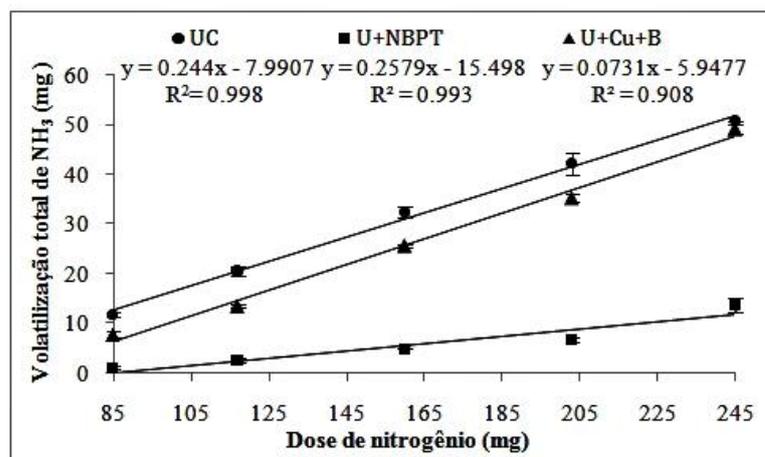


Figura 2: Volatilização de amônia ( $\text{N-NH}_3$ ) após 32 dias após aplicação das fontes e doses de N. Ureia comum (UC), Ureia+NBPT (U+NBPT) e Ureia+Cu+B (U+Cu+B). Barras indicam desvio padrão da média.

### 3.2. Atividade da urease do solo

A atividade da enzima urease do solo variou com as fontes, doses e a época de avaliação (Figura 3). A UC obteve atividade da urease média de  $46,24 \text{ mg N-NH}_4^+ \text{ kg}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ , já a U+NBPT e U+Cu+B obtiveram atividade da urease média de  $21,85$  e  $20,61 \text{ mg N-NH}_4^+ \text{ kg}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ , respectivamente. O acréscimo das doses de N proporciona aumento da atividade da urease ( $p < 0.01$ ), sendo a equação  $y = 0,097x^{**} + 13,79$  ( $R^2 = 0,99$ ) a que apresentou melhor ajuste e descreve o comportamento dos dados. Em relação à época após adubação, as regressões apresentaram significância em todos os coeficientes e com melhor ajuste para equação de 2º grau (Figura 3).

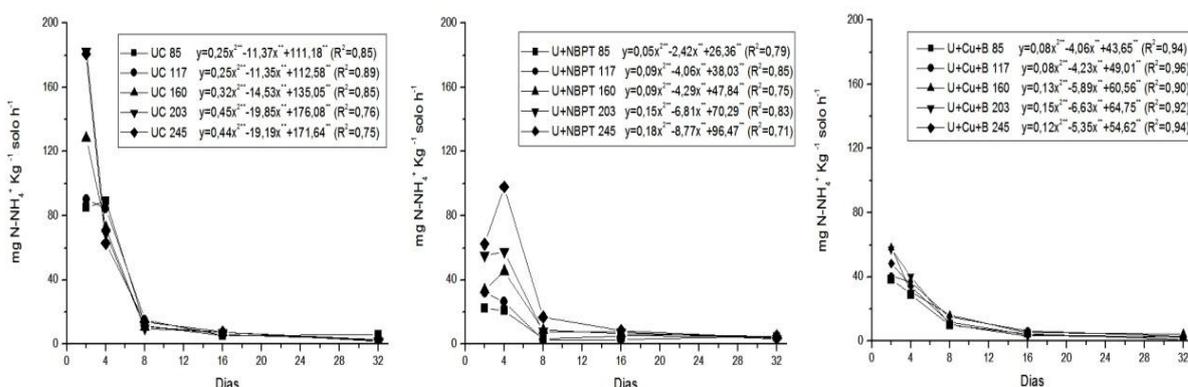


Figura 3: Atividade da enzima urease do solo ( $\text{mg N-NH}_4^+ \text{ kg}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ ) em função da época de avaliação para as fontes e doses de nitrogênio. Ureia Comum (UC), Ureia+NBPT (U+NBPT) e Ureia+Cu+B (U+Cu+B).

O pico de atividade da urease ocorreu aos 2 dias para UC e U+Cu+B e aos 4 dias para o NBPT. Nestes picos, a média da atividade da urease foi de 133,5; 49,7 e 48,7 mg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> kg<sup>-1</sup> solo h<sup>-1</sup> para a UC, U+ NBPT e U+Cu+B, respectivamente (Figura 3).

### 3.3. Atributos químicos e orgânicos do solo

Os teores de COT não diferiram entre as fontes estudadas (dados não apresentados), entretanto, as doses de N ( $y = -0,0028x + 14,84$   $R^2 = 0,76$ ) e a época de avaliação, influenciaram na redução do COT. De 16 para 32 dias os teores de COT passaram de 14,49 para 13,75 g kg<sup>-1</sup>.

As fontes, doses e época de avaliação influenciaram os teores de NT. A U+NBPT (1,44 g kg<sup>-1</sup>) proporcionou teores de NT superiores em relação a UC (1,38 g kg<sup>-1</sup>) e U+Cu+B (1,34 g kg<sup>-1</sup>). Com o aumento das doses de N aplicadas há incremento nos teores de NT do solo, o qual foi determinado através da equação  $y = 0,0008x^{**} + 1,259$  ( $R^2 = 0,95$ ). Em relação à época, aos 16 dias, a U+NBPT foi o fertilizante que manteve os teores de NT do solo maiores em relação às épocas de 4 e 32 dias (Figura 4).

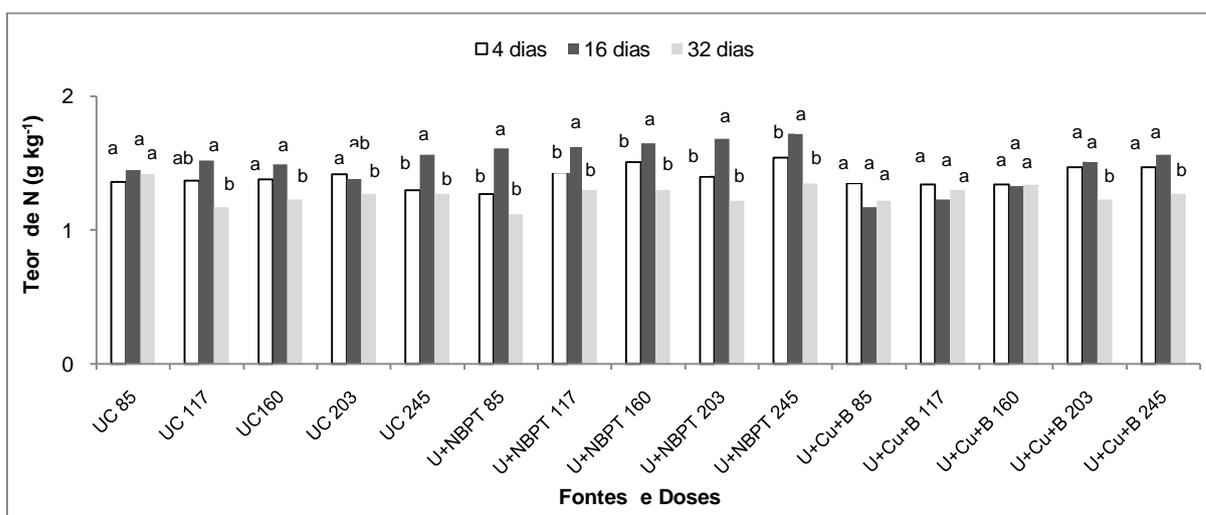


Figura 4: Média dos teores de nitrogênio total (NT) avaliada aos 4, 16 e 32 dias após a aplicação das fontes e doses de N. Médias seguidas por mesma letra minúscula para épocas em cada fonte e dose não diferem em 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey. Ureia Comum (UC), Ureia+NBPT (U+NBPT) e Ureia+Cu+B (U+Cu+B).

Verificou-se efeito de fontes e doses para relação COT/NT. Devido aos maiores teores de NT do solo proporcionado pelo U+NBPT, essa fonte proporcionou menor relação COT/NT em relação às demais fontes (dados não apresentados). O aumento da dose de N proporcionou redução da relação COT/NT, sendo a equação que melhor descreve o comportamento dos dados:  $y = -0,0077x^{**} + 11,76$  ( $R^2 = 0,94$ ).

A U+NBPT foi a fonte que proporcionou menor teor de CBM, com média de  $135,61 \mu\text{g g}^{-1}$ . Já a U+Cu+B promoveu o maior teor médio de CBM, com média de  $179,15 \mu\text{g g}^{-1}$ . A dose de N aplicada influenciou o CBM, sendo a equação de 2º grau  $y = -0,0026x^{2*} + 0,5921x^* + 135,88$  ( $R^2 = 0,99$ ) a que melhor descreveu o comportamento dos dados. O ponto de máxima da curva ocorre na dose de  $115,2 \text{ mg de N}$  ( $144 \text{ Kg ha}^{-1}$  de N) proporcionando  $175 \mu\text{g g}^{-1}$  de CBM. Aos 32 dias ocorreram reduções no CBM quando se adubou com UC e U+NBPT em relação aos 4 e 16 dias (Figura 5).

As fontes de N não interferiram nos teores de NBM, entretanto, com aumento da dose de N aplicada, ocorreu incremento nos teores de NBM (dados não apresentados). A equação de 1º grau  $y = 0,170x^{**} + 16,947^{**}$  ( $R^2 = 0,94$ ) foi a que melhor descreveu o comportamento dos dados. Verificou-se que aos 32 dias, ocorreu redução do NBM em comparação aos 4 dias em todos os tratamentos, entretanto, em todas as doses, o fertilizante NBPT antecipou a redução do NBM para 16 dias (Figura 6).

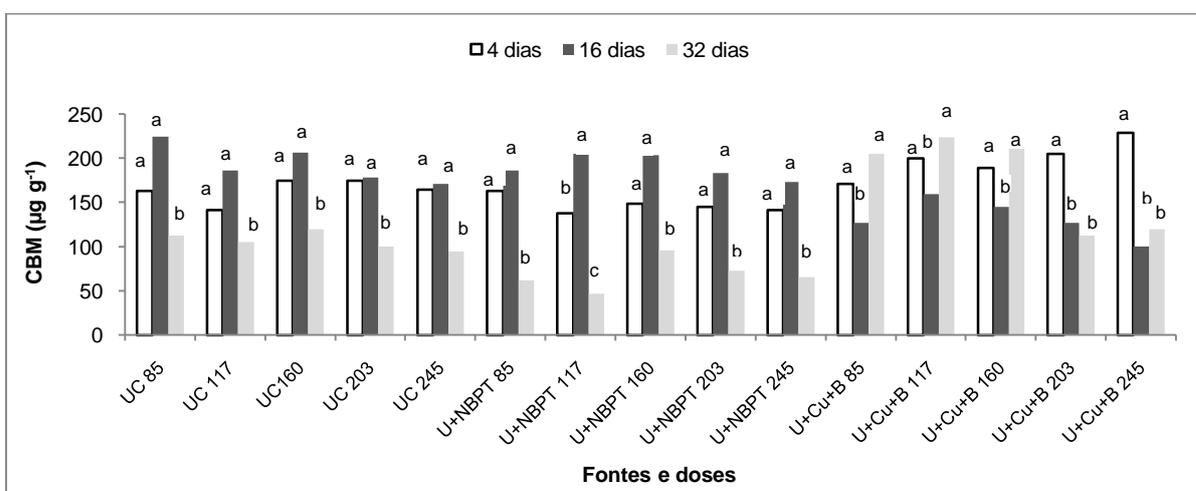


Figura 5: Média dos teores de carbono da biomassa microbiana (CBM) avaliada aos 4, 16 e 32 dias após aplicação das fontes e doses de nitrogênio. Médias seguidas por mesma letra para épocas em

cada fonte e dose não diferem em 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey. Ureia Comum (UC), Ureia+NBPT (U+NBPT) e Ureia+Cu+B (U+Cu+B).

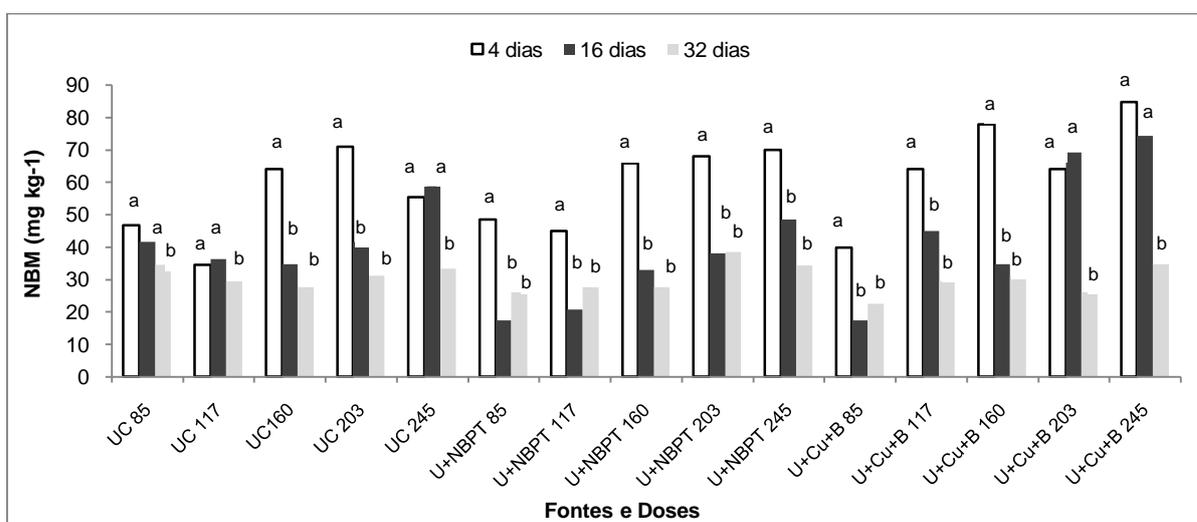


Figura 6: Média dos teores de nitrogênio da biomassa microbiana (NBM) avaliada aos 4, 16 e 32 dias após aplicação das fontes e doses de nitrogênio. Médias seguidas por mesma letra para épocas em cada fonte e dose não diferem em 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey. Ureia Comum (UC), Ureia+NBPT (U+NBPT) e Ureia+Cu+B (U+Cu+B).

Em relação ao pH do solo, a U+NBPT foi a fonte que proporcionou maior acidez do solo (pH= 4,79) (Tabela 2). Em relação às épocas, aos 32 dias ocorreu redução do pH do solo quando comparado aos 4 dias em todos os tratamentos, entretanto, para a U+NBPT a redução do pH foi antecipada aos 16 dias (Tabela 2).

Para o  $Al^{+3}$ , a U+NBPT foi a fonte que proporcionou maiores teores no solo (Tabela 2). Em relação às épocas, aos 32 dias ocorreu aumento do  $Al^{+3}$  do solo quando comparado aos 4 dias em todos os tratamentos.

Tabela 2: Média do pH em  $H_2O$  (1:2,5) e do  $Al^{+3}$  ( $cmol_c\ dm^{-3}$ ) avaliada aos 4, 16 e 32 dias após aplicação das fontes e doses de nitrogênio.

Fontes/ Doses	Época (Dias)					
	4	16	32	4	16	32
	pH em $H_2O$ (1:2,5)			$Al^{+3}$ ( $cmol_c\ dm^{-3}$ )		
UC 85	5,45 a	4,78 b	4,80 b	0,00 b	0,10 b	0,20 a
UC 117	5,22 a	5,12 a	4,49 b	0,03 b	0,10 b	0,21 a
UC 160	5,31 a	5,31 a	4,69 b	0,03 b	0,05 b	0,20 a
UC 203	5,28 a	5,19 a	4,89 b	0,05 b	0,05 b	0,15 a
UC 245	5,41 a	5,33 a	4,97 b	0,05 b	0,05 b	0,17 a
U+NBPT 85	4,94 a	4,48 b	4,51 b	0,10 a	0,25 a	0,31 a
U+NBPT 117	5,19 a	4,48 b	4,43 b	0,03 b	0,23 a	0,27 a
U+NBPT 160	5,19 a	4,46 b	4,46 b	0,02 c	0,20 b	0,30 a
U+NBPT 203	5,04 a	4,49 b	4,49 b	0,10 b	0,22 a	0,25 a
U+NBPT 245	5,36 a	4,54 b	4,58 b	0,04 b	0,18 a	0,25 a
U+Cu+B 85	5,13 a	4,78 b	4,52 c	0,13 b	0,10 b	0,22 a

U+Cu+B 117	5,23 a	4,87 b	4,64 c	0,10 c	0,10 b	0,21 a
U+Cu+B 160	5,10 a	5,10 a	4,77 b	0,05 b	0,07 b	0,18 a
U+Cu+B 203	4,95 a	5,29 a	4,78 b	0,10 b	0,05 b	0,17 a
U+Cu+B 245	5,27 a	5,41 a	4,97 b	0,00 b	0,02 b	0,12 a
UC	5,08 a			0,11 b		
U+NBPT	4,79 b			0,18 a		
U+Cu+B	5,04 a			0,12 b		

Médias seguidas por mesma letra para época não diferem em 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey. Ureia Comum (UC), Ureia+NBPT (U+NBPT) e Ureia+Cu+B (U+Cu+B).

#### 4. DISCUSSÃO

As perdas totais da ureia+NBPT variaram em relação ao aplicado, de 1,4% na dose 85 mg de N a 5,6% na dose 245 mg de N. Já a ureia comum e a ureia+Cu+B na dose de 85 mg de N, a volatilização total chegou a 14,0 e 9,2%, respectivamente. Diferentemente, Ribeiro et al. (2016) em ambiente controlado e dose de 75 mg de N, relataram perda total de 16,4% via volatilização da amônia para o NBPT a qual foi semelhante à perda total da ureia comum (15,6%). Contudo, pesquisas realizadas em ambiente controlado mostram ocorrência na redução da volatilização da ureia estabilizada com o NBPT e com Cu+B aplicado ao solo em relação à ureia comum (STAFANATO et al., 2013; TASCA et al., 2011) devido à inativação temporária da enzima urease do solo.

A ureia+NBPT e a ureia+Cu+B reduziram a quantidade total média de amônia volatilizada em relação à ureia comum em 83,1 e 20,4%, respectivamente. Considerando que no ES, em 2016, uma área de 150.000 ha de cultivo de café arábica, com produtividade média de 26,2 sacas beneficiadas (CONAB, 2017) e recomendação de 250 kg ha<sup>-1</sup> de N para produtividade de 20 a 30 sacas ha<sup>-1</sup> (GUIMARÃES et al., 1999), a quantidade estimada de N gasto na cafeicultura arábica no ES foi de 37.500 Mg. Considerando esse valor, a quantidade de N volatilizado em 2016 no ES foi de 7.800 Mg de N-NH<sub>3</sub>, considerando o uso da ureia nas lavouras de café arábica (volatilização média de 20,8 % para dose de 250 kg ha<sup>-1</sup>).

Por outro lado, se ocorresse a substituição da ureia pela ureia+Cu+B e pela ureia+NBPT a quantidade de N volatilizado em 2016 no ES reduziria para 6.525 (volatilização média de 17,4 % para dose de 250 kg ha<sup>-1</sup>) e 1.275 Mg de N-NH<sub>3</sub>

(volatilização média de 3,4 % para dose de 250 kg ha<sup>-1</sup>), respectivamente. Assim sendo, a substituição da ureia pela ureia+NBPT reduziria a perda de N por volatilização em 6.525 Mg de N, o que é equivalente a 14.500 Mg de ureia. Considerando o preço da tonelada de ureia de R\$1.200,00 no ES, a economia seria de R\$ 17.400.00,00, ou seja, R\$ 17,4 milhões em ureia são perdidos anualmente no ES por volatilização. Esse valor corresponde à perda de R\$ 116,00 em ureia por hectare.

O cafeicultor gasta R\$ 667,00 para obtenção de 556 kg de ureia (250 kg ha<sup>-1</sup> de N). Entretanto, 52 kg de N serão perdidos por volatilização, restando 198 kg ha<sup>-1</sup>. Para a ureia+NBPT, apenas 9 kg de N dos 250 kg aplicados são perdidos por volatilização. Dessa forma, a dose indicada de U+NBPT a ser aplicada é de 207 kg ha<sup>-1</sup> de N (460 kg ha<sup>-1</sup> de ureia+NBPT) e o custo de R\$ 736,00 (R\$ 1.600,00 a tonelada de ureia+NBPT).

Diante dos resultados, a vantagem econômica com o uso da ureia+NBPT em relação à ureia comum está no valor perdido da volatilização (R\$ 116,00) que não é considerado pelo cafeicultor. Desse modo, R\$ 116,00 + R\$ 667,00 (da ureia comum) - R\$ 736,00 (da ureia+NBPT) igual a R\$ 47,00 por hectare, ou R\$ 7 milhões nos 150.000 ha de café arábica. Além dessa vantagem econômica há a vantagem ambiental pela menor emissão de NH<sub>3</sub> e NO<sub>2</sub> do solo para a atmosfera, sendo esta não calculada.

Vale ressaltar que o preço da Ureia+NBPT é cerca de 30% superior em relação à ureia comum, tornando-se muito oneroso e não motivador para o cafeicultor familiar do ES. Então, é importante que as empresas consigam abaixar o custo da ureia+NBPT para o cafeicultor e que essa tecnologia possa se difundir nas lavouras do ES.

Para cada época avaliada, a ureia+NBPT demonstrou ser o inibidor de urease mais promissor em reduzir as perdas de N-NH<sub>3</sub> por volatilização. No pico de volatilização que ocorreu aos 16 dias, a quantidade média liberada foi de 2% do aplicado.

Contudo, a ureia comum e a ureia+Cu+B apresentaram, no pico de volatilização, aos 4 dias, perda média de 9% do N aplicado. De modo semelhante, Soares, Cantarella, Menegali (2012) relataram atraso no pico de volatilização (7 a 9 dias após a aplicação) e redução da perda de N da ureia+NBPT em ambiente controlado. Já Tasca et al. (2009) relataram, pico de volatilização na primeira semana após aplicação da ureia e ureia+NBPT, porém este último com atraso de 3 dias para o pico de volatilização em relação à ureia comum. Este atraso no pico de volatilização é importante na obtenção de ganho de tempo para a incorporação do adubo pela água da chuva.

Além da redução da volatilização da  $\text{NH}_3$ , os fertilizantes ureia+NBPT e ureia +Cu+B reduziram a emissão de  $\text{CO}_2$  do solo. Como o  $\text{CO}_2$  é constituinte da ureia, a rápida hidrólise da ureia faz com que o  $\text{CO}_2$  seja liberado rapidamente para a atmosfera. A redução da emissão de  $\text{CO}_2$  foi de 67,6 % (média de  $1,1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) para a ureia+NBPT e de 23,5 % (média de  $2,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) para a ureia+Cu+B em relação à ureia comum que obteve efluxo médio de  $3,4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Esses dados evidenciam menor hidrólise da ureia associada aos inibidores NBPT, B e Cu e conseqüentemente, menor emissão de  $\text{CO}_2$  em comparação à ureia comum.

Correlação significativa ( $p < 0,01$ ) e positiva ( $r_{(250)} = 0,87$ ) entre a volatilização de  $\text{NH}_3$  e emissão de  $\text{CO}_2$  foi observada. Esse comportamento indica que fontes que proporcionam grandes perdas de  $\text{NH}_3$  por volatilização como a ureia comum, liberam maior quantidade de  $\text{CO}_2$ . Assim sendo, o uso de fertilizantes estabilizados com inibidores de urease são alternativas para reduzir impactos ambientais associados à adubação nitrogenada incluindo-se como estratégia eficiente para o controle das emissões de gases de efeito estufa.

As reduções no efluxo de  $\text{CO}_2$  proporcionadas pela ureia+NBPT podem também estar relacionadas à redução da microbiota do solo, uma vez que ocorreu redução média de 64,0% do CBM dos 16 aos 32 dias após a adubação. Apesar da literatura não trazer indícios sobre o efeito do NBPT sobre os microrganismos do solo, os mesmos são importantes, pois produzem a enzima urease do solo (Lanna et al.

2010). Assim sendo, a redução da biomassa microbiana na presença da ureia+NBPT pode ter influenciado na menor emissão de CO<sub>2</sub>.

Contudo, o quociente metabólico aos 32 dias após adubação foi superior para a ureia+NBPT (0,60 mg CO<sub>2</sub>/ mg CBM) em relação à ureia comum (0,39 mg CO<sub>2</sub>/ mg CBM) e ureia+Cu+B (0,32 mg CO<sub>2</sub>/ mg CBM). O aumento do quociente metabólico proporcionado pela ureia+NBPT demonstra maior estresse dos microrganismos do solo uma vez que a respiração está superior.

O fato de não ter ocorrido influência das fontes e doses sobre o teor de COT pode estar relacionado à decomposição homogênea da matéria orgânica do solo, já que no início do experimento o teor de COT foi de 17,43 g kg<sup>-1</sup>. A redução em relação à condição inicial demonstra que a adição de N mineral proporciona condição para a decomposição da MOS, já que o N é constituinte da biomassa microbiana. Todavia, a época influenciou na redução do COT. Dos 16 aos 32 dias a redução no teor de COT foi de 5,1 %, o que pode estar relacionado à menor disponibilidade de C lábil neste período. Aliado a isso, durante o processo de decomposição microbiana ocorrem mudanças na qualidade química do substrato, bem como na sucessão de microrganismos que competem pelo substrato remanescente (BENG, 2000), isso pode acarretar a menor taxa de decomposição da matéria orgânica.

A disponibilidade de matéria orgânica e sua facilidade de decomposição são de suma importância como fonte de energia para os microrganismos do solo e conseqüentemente para a produção da enzima urease (LANA et al., 2010). Na presente pesquisa, a redução da matéria orgânica em curto período de tempo é fator a ser monitorado em sistemas de manejo de baixo aporte de resíduos orgânicos.

Os maiores teores de NT do solo proporcionados pela ureia+NBPT aos 16 dias podem estar relacionados ao período de inativação pelo NBPT. Este princípio ativo reduz a atividade da enzima urease em um período que pode variar de 7 a 14 dias, reduzindo a hidrólise do fertilizante pela enzima (GARCIA et al., 2011). Dessa forma,

a ureia+NBPT permaneceu por maior período de tempo no solo, impactando em maiores teores de N.

Outra característica proporcionada pela ureia+NBPT é a acidificação do solo em curto período de tempo. Aos 16 dias após a adubação, o pH do solo fertilizado com a ureia+NBPT foi inferior em relação às demais fontes que acidificaram o solo aos 32 dias. A acidificação do solo com uso de fertilizantes que liberam amônio é de grande preocupação, uma vez que o pH é o principal fator que controla a disponibilidade de nutrientes. As pesquisas que tratam da relação dos fertilizantes nitrogenados com o pH do solo mostram que a volatilização da amônia é maior em valores de pH inicial do solo mais elevados, conforme relatado por Tasca et al (2011). Entretanto, as perdas de N por volatilização da amônia em solo com pH ácido também são altas (VILLALBA et al., 2014).

Por ser hidrolisado rapidamente em solo com pH ácido, o inibidor de urease NBPT é menos eficiente nesta condição quando comparado à condição de solo com pH básico (ENGEL et al., 2013). Assim, o monitoramento do pH do solo principalmente em culturas que há o parcelamento da adubação deve ser considerado para permitir maior eficiência dos fertilizantes nitrogenados.

O pH do solo, teor de matéria orgânica, atividade microbiana, tipo e quantidade do fertilizante aplicado, temperatura e umidade afetam a atividade enzimática da enzima urease (OKUMURA; MARIANO, 2012). Na presente pesquisa verificou-se que as fontes, as doses e a época após adubação influenciaram a atividade da enzima urease, com maior atividade para ureia comum nas doses 203 e 245 mg de N aos 2 dias após aplicação.

A ausência de diferença estatística da atividade da urease nas doses 203 e 245 mg de N para a ureia comum demonstra poder haver saturação da enzima. Isso foi relatado por Longo and Melo (2005), estudando a velocidade de hidrólise em dois tipos de solos sob diferentes concentrações de ureia ( $0,039 - 5,0 \text{ g L}^{-1}$ ). Os autores observaram que no Latossolo Vermelho Aluminoférrico a velocidade máxima foi

obtida na concentração de  $3,30 \text{ g L}^{-1}$ , enquanto para o Latossolo Vermelho distrófico típico o valor encontrado foi de  $2,5 \text{ g L}^{-1}$ . Esses dados indicam que uma super dosagem de ureia não é recomendada, pois além da enzima estar no máximo de sua atividade e perdas elevadas de  $\text{NH}_3$  volatilizada ocorrerem, parte da ureia não será hidrolisada e poderá ser perdida por lixiviação se dissolvida, ou por erosão na forma sólida na superfície do solo.

A redução na atividade da urease verificada no presente estudo tanto para a ureia+NBPT quanto para a ureia+Cu+B é benéfica por proporcionar redução na liberação do N presente nestes fertilizantes. No contexto das práticas de manejo da adubação, o atraso e redução da volatilização são importantes por proporcionar maior tempo para a incorporação do fertilizante, seja pela água da chuva em solos sem irrigação ou difusão do fertilizante para volume maior de solo.

## **5. CONCLUSÕES**

Os inibidores de urease NBPT e Cu+B associados à ureia são promissores por reduzirem a volatilização total de  $\text{NH}_3$  em relação à ureia comum. Contudo, o acréscimo da dose de N aplicada aumenta a volatilização de  $\text{NH}_3$ .

Os picos de emissão de  $\text{CO}_2$  ocorrem aos 3 dias para Ureia comum e Ureia+Cu+B e aos 7 dias para o ureia+NBPT. O efluxo de  $\text{CO}_2$  seguiu a ordem: Ureia > Ureia+Cu+B > Ureia+NBPT.

A época após a adubação nitrogenada influencia nos teores de COT, com redução de 5,1% dos 16 para 32 dias após adubação. Aos 16 dias após adubação, a ureia+NBPT é o fertilizante que proporciona maiores teores de NT no solo.

O CBM mostrou-se um indicador mais sensível que o COT para diferir o efeito das fontes de N. O NBPT promoveu redução no CBM.

## **6. REFERÊNCIAS**

ARAÚJO, E. S. et al. 2006. Câmara coletora para quantificação do N- $\text{NH}_3$  volatilizado do solo. Comunicado Técnico. Embrapa n° 87. Seropédica, RJ: Embrapa Agrobiologia, 4 p.

CANTARELLA, H. et al. A. Ammonia volatilisation from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. **Scientia Agricola**, v.65, n.4, p.397-401, 2008.

CHIEN, S. H.; PROCHNOW, L. I.; CANTARELLA, H. Recent developments of fertilizer production and use to improve nutrient efficiency and minimize environmental impacts. **Advances in Agronomy**, v.102, p.267322, 2009.

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17\\_01\\_17\\_14\\_51\\_54\\_boletim\\_cafe\\_-\\_janeiro\\_de\\_2017.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_01_17_14_51_54_boletim_cafe_-_janeiro_de_2017.pdf). Acesso: 17/05/2017.

DAWAR, K. et al. Urea hydrolysis and lateral and vertical movement in the soil: effect of urease inhibitor and irrigation. **Biology and Fertility of Soils**, v.47, p.139-146, 2011.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solos / organizadores, Guilherme Kangussú Donagema... [et al.]. - Dados eletrônicos. - Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p. - (Documentos / Embrapa Solos).

FARIA, L. A. et al. Hygroscopicity and ammonia volatilization losses from nitrogen sources in coated urea. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 3, p. 942-948, 2014.

FERREIRA, D. F. 2007. SISVAR software: versão 4.6. Lavras: UFLA/DEX. Software.

GARCIA, A. L. A. et al. Efeito da uréia com inibidor de urease no crescimento de mudas de cafeeiro (*coffea arabica* L.). **Coffee Science**, v.6, p.1-7, 2011.

GUIMARAES, P. T. G. et al. Sugestões de Adubação para Grandes Culturas Anuais ou Perenes: Cafeeiro. In: RIBEIRO, A. C. et al. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais –5ª aproximação. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999, p.289-302.

IPNI. INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE. Disponível em: <<http://brasil.ipni.net/article/BRS-3132#aparente>> acesso em: 21/03/2017.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. **Biology and Fertility Soils**, Vienna, v.27, p.408-416, 1998.

KEENEY DR. Nitrogen - Availability indices (1982). In: Page, AL. Methods of soil analysis. Part 2. Madison: American Society of Agronomy, p.711-733.

MARSOLA, T.; TAKAHASHI, H, W.; MIYAZAWA, M. Calibração de um sistema coletor de amônia volatilizada do solo e aplicada em campo. In: IV Mostra Acadêmica de Trabalhos de Agronomia, Londrina, Editora UEL, v.4, p.123- 123, 2000.

NASCIMENTO, C. A. C. et al. Ammonia volatilization from coated urea forms. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 4, p. 1057-1063, jul/ago. 2013.

OKUMURA, R. S.; MARIANO, D. C. Aspectos agronômicos da ureia tratada com inibidor de urease. **Ambiência**, Guarapuava, v. 8, n. 2, p. 403-414, maio/ago. 2012.

PEREIRA, H. S. et al. Ammonia volatilization of urea in the out-of-season corn. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 33, p. 1685-1694, 2009.

REICHARDT, K. Capacidade de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.12, p.211-216, 1988.

RIBEIRO, V. J. et al. Volatilization of ammonia in stabilized slow-release nitrogen fertilizer under controlled conditions. **Australian Journal of Crop Science**, 10(6): 793-798, 2016.

RODRIGUES, J. O. et al. Volatilização de amônia de uréias protegidas na cultura do cafeeiro Conilon. **Coffee Science**, v.11, n.4, p. 530 - 537, 2016.

ROJAS, C. A. L. et al. Volatilização de amônia da ureia alterada por sistemas de preparo de solo e plantas de cobertura invernais no Centro-Sul do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.261-270, 2012.

SILVA, D. F. et al. Análise de nitrato e amônio em solo e água. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. 55p, 2010.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. VI- Matéria Orgânica do Solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H. A. V.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. Fertilidade do Solo. 1.ed. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.275-374, 2007.

SOARES, J. R.; CANTARELLA, H.; MENEGALI, M. L. C. Ammonia volatilization losses from surface-applied urea with urease and nitrification inhibitors. **Soil Biology and Biochemistry**, v.52, p.82-89, 2012.

STAFANATO, J. B. et al. Volatilização de amônia oriunda de uréia pastilhada com micronutrientes em ambiente controlado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 3, p. 726-732, 2013.

TASCA, F. A. et al. Volatilização de amônia do solo após a aplicação de uréia convencional ou com inibidor de urease. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n. 2, p. 493-502, 2011.

TEDESCO, M. J, et al. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 174 p, 1995.

VILLALBA, H. A. G. et al. Fertilizantes Nitrogenados: Novas Tecnologias. **Informações Agronômicas**, n.148, p.12- 20, 2014.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.19, p.1467-1476, 1988.

ZAMAN, M. et al. Reducing  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  and  $\text{NO}_3^-$  e N losses from a pasture soil with urease or nitrification inhibitors and elemental S-amended nitrogenous fertilizers. **Biology and Fertility of Soils**, v.44, p.693-705, 2008.

ZAMAN, M. et al. Effect of urease and nitrification inhibitors on N transformation, gases emissions of ammonia and nitrous oxide, pasture yield and N uptake in grazed pasture system. **Soil Biology & Biochemistry**, v.41, n.6, p.1270-1280, 2009.

## CAPÍTULO 2

### SERAPILHEIRA CAFEIEIRA E INIBIDORES DE UREASE: ALTERNATIVAS NO MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA DE REGIÕES CAFEIRAS

#### Resumo

Juntamente com fertilizantes inibidores de urease a serapilheira cafeeira manejada sobre o fertilizante nitrogenado pode promover barreira física e reduzir as perdas de  $\text{NH}_3$  por volatilização. Essa combinação serapilheira e fertilizante nitrogenado pode influenciar os teores e a dinâmica da matéria orgânica do solo. O trabalho foi dividido em dois estudos em ambiente controlado e os objetivos foram avaliar, ao longo do tempo, o efeito da serapilheira cafeeira e dos fertilizantes inibidores de urease sobre: a volatilização da amônia e emissão de  $\text{CO}_2$  do solo; a decomposição e liberação de nutrientes da serapilheira e atributos químicos do solo. Os tratamentos incluíram a aplicação de 3 fontes de adubos nitrogenados em dose única de  $120 \text{ mg anel}^{-1}$  de N (equivalente a  $150 \text{ kg ha}^{-1}$ ): Ureia comum (UC), Ureia+NBPT (U+NBPT) e Ureia+Cu+B (U+Cu+B) e 4 níveis de serapilheira cafeeira (0; 1,8; 2,7 e  $3,6 \text{ g anel}^{-1}$ , equivalente a 0; 2,25; 3,37 e  $4,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ ). No experimento 1 foi avaliada a volatilização da  $\text{NH}_3$  e emissão de  $\text{CO}_2$  do solo. No experimento 2, avaliou-se a taxa de decomposição e liberação de nutrientes da serapilheira e o impacto nos atributos químicos do solo. Verificou-se que a serapilheira cafeeira no nível de  $4,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ , em comparação à ausência de serapilheira, reduziu a perda total de amônia por volatilização em 33,3 e 13,9 % para as fontes UC e U+Cu+B, respectivamente. Dentre as fontes, a ordem de volatilização total de  $\text{NH}_3$  foi:  $\text{UC} > \text{U+Cu+B} > \text{U+NBPT}$ . No pico de emissão de  $\text{CO}_2$  a U+Cu+B, UC e U+NBPT apresentaram 7,9; 6,8 e  $3,2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , respectivamente. Além disso, a equação  $y=0,95x+3,82$  revela que o aumento dos níveis de serapilheira promove aumento linear na emissão de  $\text{CO}_2$ . No nível de  $4,5 \text{ Mg ha}^{-1}$  de serapilheira e após 64 dias de decomposição, a quantidade liberada de C, N, P, K, Ca e Mg foi equivalente a 547,1; 49,0; 1,28; 17,4; 18,2 e  $5,0 \text{ kg ha}^{-1}$ , respectivamente. As fontes de N e níveis de serapilheira não influenciaram o teor de C orgânico total e N total do solo, entretanto, dos 16 aos 64 dias após a aplicação da serapilheira ocorreu redução nos seus teores em 15,4 e

21,1 %, respectivamente. Dentre as fontes avaliadas, a U+NBPT proporcionou os maiores teores de C da biomassa microbiana ( $230,0 \mu\text{g g}^{-1}$ ) e N da biomassa microbiana ( $23,2 \text{ mg kg}^{-1}$ ) contudo, a U+NBPT proporcionou maior acidez ( $\text{pH}=4,39$ ) e maior disponibilidade de  $\text{Al}^{+3}$  do solo ( $0,33 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ). O monitoramento do pH,  $\text{Al}^{+3}$ , C e N do solo, C e N da biomassa microbiana deve ser considerado para permitir maior eficiência no uso dos fertilizantes nitrogenados amoniacais e, juntamente com a serapilheira cafeeira, reduzir a volatilização da amônia.

**Palavras- Chave:** Nitrogênio, resíduos vegetais, volatilização de  $\text{NH}_3$ , decomposição e matéria orgânica.

## CHAPTER 2

### COFFEE LEAF LITTER AND UREASE INHIBITORS AS ALTERNATIVES FOR THE MANAGEMENT OF NITROGEN FERTILIZATION ON COFFEE PLANTATIONS

#### Abstract

Coffee leaf litter added on top of nitrogen (N) fertilizer and used in combination with urease inhibitors can promote a physical barrier and reduce ammonia ( $\text{NH}_3$ ) losses by volatilization. This combination of litter and N fertilizer can influence the soil organic matter contents and dynamics. This work was divided into two studies in controlled conditions, with the objective to evaluate the effect over time of the coffee leaf litter and urease inhibitors on the volatilization of  $\text{NH}_3$  and the emission of carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ) from the soil; on the decomposition and release of nutrients from the litter; and on the soil chemical attributes. The treatments included 3 sources of N fertilizer that was applied in a single dose of  $120 \text{ mg ring}^{-1}$  of N (equivalent to  $150 \text{ kg ha}^{-1}$ ) -common urea (UC), urea+N-(n-butyl) thiophosphoric triamide (U+NBPT) and urea+Cu+B (U+Cu+B) - as well as 4 quantities of coffee leaf litter - 0, 1.8, 2.7 and  $3.6 \text{ g ring}^{-1}$ , equivalent to 0, 2.25, 3.37 and  $4.5 \text{ Mg ha}^{-1}$ . In experiment 1, the  $\text{NH}_3$  volatilization and  $\text{CO}_2$  emission from the soil were evaluated. In experiment 2, the decomposition rate, nutrient release rate from the litter and soil chemical attributes were assessed. Coffee leaf litter in the amount of  $4.5 \text{ Mg ha}^{-1}$  reduced the total loss of  $\text{NH}_3$  from volatilization by 33.3 and 13.9% for the UC and U+Cu+B sources, respectively, compared to the absence of litter. Among the N sources, the total volatilization of  $\text{NH}_3$  decreased as follows: UC > U+Cu+B > U+NBPT. At the peak of  $\text{CO}_2$  emission, U+Cu+B, UC and U+NBPT presented emissions of 7.9, 6.8 and  $3.2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , respectively. In addition, the equation  $y=0.95x+3.82$  shows that increasing the litter amount promotes a linear increase in  $\text{CO}_2$  emission. After 64 days of decomposition for  $4.5 \text{ Mg ha}^{-1}$  of litter, the released amounts of C, N, P, K, Ca and Mg were 547.1, 49.0, 1.28, 17.4, 18.2 and  $5.0 \text{ kg ha}^{-1}$ , respectively. The N sources and leaf litter amounts did not influence the total organic C and total N

content of the soil; however, from 16 to 64 days after the litter application, their contents decreased by 15.4 and 21.1%, respectively. Among the evaluated sources, U+NBPT provided the highest microbial biomass C ( $230.0 \mu\text{g g}^{-1}$ ) and N ( $23.2 \text{ mg kg}^{-1}$ ) contents. However, U+NBPT provided higher soil acidity ( $\text{pH}=4.39$ ) and a higher availability of soil  $\text{Al}^{+3}$  ( $0.33 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ). The monitoring of soil pH,  $\text{Al}^{+3}$ , C and N as well as the microbial biomass C and N should be considered to allow greater efficiency in the use of ammoniacal-N fertilizers and, combined with the coffee leaf litter, reduce  $\text{NH}_3$  volatilization.

**Keywords:** Nitrogen, plant residues, volatilization of  $\text{NH}_3$ , decomposition, organic matter.

## 1. INTRODUÇÃO

A principal desvantagem da aplicação superficial da ureia é o elevado potencial de perda de N por volatilização da  $\text{NH}_3$  (CANTARELLA et al., 2008; RIBEIRO et al., 2016; RODRIGUES et al., 2016; TASCA et al., 2011). Em condições de campo, as perdas de N por volatilização da  $\text{NH}_3$  estão entre 20 a 30%, mas podem chegar a 60 % do total de N aplicado com a ureia aplicada à superfície do solo (ROCHETTE et al., 2009a; SOARES; CANTARELLA; MENEGALI, 2012). Contudo, a quantidade de N volatilizado após a aplicação superficial de ureia ao solo depende de inúmeros fatores, incluindo condições edafoclimáticas (TASCA et al., 2011), tipo e quantidade de vegetação (LANNA et al., 2010) e de manejo da adubação (GARCIA et al., 2011).

Práticas de manejo como parcelamento da adubação (MA et al., 2010), incorporação mecânica do adubo e incorporação do adubo com água da chuva e/ou irrigação (ROCHETTE et al., 2009a; TASCA et al., 2011) são formas para reduzir as perdas de N por volatilização. Entretanto, em culturas perenes como o cafeeiro a incorporação mecânica do adubo no solo com enxada é uma prática de manejo demorada não sendo economicamente viável ao agricultor, além de danificar as raízes que se encontram em maior quantidade nas camadas superficiais do solo (REICHARDT et al., 2009).

Em várias propriedades cafeeiras o manejo da colheita manual do café inicia-se com a arruação. Tal prática consiste na retirada da serapilheira do solo que se encontra na projeção da copa do cafeeiro a qual é depositada nas entre linhas permitindo a colheita em local limpo. Chegada a época da adubação, o adubo é aplicado na superfície do solo e não é incorporado, proporcionando condições propícias para elevada perda de N por volatilização da  $\text{NH}_3$  (GARCIA et al., 2011; RODRIGUES et al., 2016).

Uma forma de reduzir a volatilização da  $\text{NH}_3$  está na própria serapilheira, que pode funcionar como barreira físico-química na diminuição da volatilização de  $\text{NH}_3$  para o ambiente. Entretanto, a literatura não menciona o efeito de se cobrir o adubo nitrogenado com a serapilheira cafeeira e seu impacto sobre a volatilização de N.

Por outro lado, altas perdas de N por volatilização da amônia ocorrem quando o adubo é aplicado diretamente sobre a palhada, seja em sistema de plantio direto ou palhada de cana-de-açúcar (ROJAS et al., 2012; TRIVELLIN et al., 2002). A presença de resíduos vegetais pode promover aumento da volatilização de N (ROCHETTE et al., 2009b; TASCA et al., 2011), pois a própria decomposição do resíduo vegetal e consequente aumento da matéria orgânica do solo (MOS) podem impactar em maior atividade da enzima urease e promover maiores perdas de N por volatilização (GARCIA et al., 2011; LANNA et al., 2010).

Outra forma de reduzir as perdas de N por volatilização da  $\text{NH}_3$  é através do uso de fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada (CANTARRELA et al., 2008; FRAZÃO et al., 2014; RIBEIRO et al., 2016), a exemplo dos fertilizantes estabilizados com inibidor de urease NBPT (N-n-butil tiofosfórico triamida) e Cu e B. Esses inibidores de urease têm demonstrado bons resultados na redução da volatilização da amônia (CANTARRELA et al., 2008; FARIA et al., 2014; NASCIMENTO et al., 2013; PEREIRA et al., 2009; RIBEIRO et al., 2016; RODRIGUES et al., 2016; SOARES; CANTARELLA; MENEGALI, 2012).

A associação de inibidores de urease com a serapilheira cafeeira pode ser uma alternativa eficaz no manejo da adubação nitrogenada visando reduzir as perdas de N por volatilização da  $\text{NH}_3$ , além de poder contribuir para o aumento do teor de matéria orgânica do solo e liberação de nutrientes da serapilheira. Diante do exposto, o objetivo da presente pesquisa foi avaliar o efeito da associação serapilheira cafeeira e inibidores de urease sobre as perdas de N por volatilização da  $\text{NH}_3$  e emissão  $\text{CO}_2$  do solo; avaliar a decomposição da serapilheira cafeeira e liberação de nutrientes e; avaliar o efeito da associação de inibidores de urease com serapilheira sobre a biomassa microbiana e a matéria orgânica do solo.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

Dois experimentos foram conduzidos no Laboratório de Matéria Orgânica do Solo do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito

Santo (CCAUE-UFES). Os experimentos foram mantidos à temperatura constante de 25 °C ± 2 °C durante o período experimental.

Foram utilizadas amostras do horizonte A de um Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média, coletadas na área experimental do CCAUE-UFES (solo característico da região). As amostras de solo foram secas ao ar e passadas em peneira de 2 mm de abertura de malha, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA). A caracterização física e química do solo encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização química e física do Horizonte A de um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) coletado na profundidade de 0-20 cm em Alegre- ES.

Análise química	LVA
pH em água (1:2,5) <sup>1</sup>	5,54
Al trocável (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>2</sup>	0,18
Fósforo disponível(mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>3</sup>	2,37
Potássio disponível (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>3</sup>	178
Cálcio trocável (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>2</sup>	0,70
Magnésio trocável (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>2</sup>	0.69
H + Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>4</sup>	3.57
SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1.86
CTC(t) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2.04
CTC(T) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	5.43
Carbono orgânico (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>5</sup>	17,43
Nitrogênio total (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>6</sup>	1,29
Análise granulométrica	
Areia (dag kg <sup>-1</sup> ) <sup>7</sup>	67,91
Silte (dag kg <sup>-1</sup> ) <sup>7</sup>	3,84
Argila (dag kg <sup>-1</sup> ) <sup>7</sup>	28,25
Classe textural	Média

<sup>1</sup> Relação solo água 1:2,5; <sup>2</sup> Extrator KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; <sup>3</sup> Extrator Mehlich-1; <sup>4</sup> Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup> - pH 7,0; <sup>5</sup> Yeomans and Bremner (1988); <sup>6</sup> Tedesco (1995); <sup>7</sup> Método da pipeta (ALMEIDA et al, 2012).

Antes da montagem dos experimentos, amostras de solo foram incubadas para realização da calagem elevando-se a saturação por bases (V) a 60 % (GUIMARÃES et al., 1999). Após 30 dias de incubação, o solo foi seco ao ar, destorroado e passado em peneira de 2 mm (TFSA).

A serapilheira utilizada no experimento foi coletada de lavoura de café arábica Catuai 44 com 5 anos de idade. Somente folhas foram utilizadas. As folhas foram separadas, limpas com algodão úmido e secas em estufa a 50°C por 72 horas. Posteriormente, o material foi triturado e passado em jogo de peneiras de 2, 4 e 8 mm de espessura de malha. Foi utilizado material com tamanho de 2 - 4 mm, de modo a não permitir saída da serapilheira da sacola de decomposição (litterbag).

A caracterização química e bioquímica da serapilheira encontra-se na Tabela 2. Os teores de C e N foram obtidos segundo método de Yeomans; Bremner (1988) e Tedesco (1995), respectivamente. O P elementar foi determinado de acordo com Braga; Defelipo (1974) após digestão nitroperclórica (SARRUGE; HAAG, 1974). Na mesma digestão foi determinado o teor de K por fotometria de chama; e Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica. Os polifenóis solúveis foram extraídos com metanol (50%) e determinados por colorimetria, utilizando-se o reagente de Folin-Denis (ANDERSON; INGRAM, 1996).

Foram determinados os teores de cinza, lignina e celulose presente, pelo método da fibra em detergente ácido (FDA) segundo van Soest; Wine (1968), que se baseia na separação das diferentes frações constituintes do material utilizando-se detergentes. Foram usados o ácido sulfúrico e o cetiltrimetil amônio bromídico (CTAB), eliminando amido e os compostos nitrogenados, restando, assim, a lignina, celulose e cinzas. A celulose foi destruída pelo ácido sulfúrico 72% e a lignina determinada por diferença de peso, subtraindo-se as cinzas pela queima a 550°C, em mufla (ANDERSON; INGRAM, 1996).

Tabela 2- Caracterização química e bioquímica da serapilheira foliar cafeeira.

C (%)	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	C/N	C/P
47,40	2,12	0,09	1,94	0,70	0,31	22,36	526,67
CL (%)	LG (%)	PP (%)	CZ (%)	LG/N	LG/PP	PP/N	(LG+PP)/N
34,50	39,90	6,60	0,76	18,82	6,05	3,11	21,93

C= carbono; N= nitrogênio; P= fósforo; K= potássio; Mg= magnésio; C/N= relação carbono/nitrogênio; C/P= relação carbono/fósforo; CL = celulose; LG = lignina; PP = polifenóis solúveis totais; CZ= cinzas; LG/N= relação lignina/ nitrogênio; LG/PP= relação lignina/polifenóis; PP/N= relação polifenóis/nitrogênio; (LG+PP)/N= relação (lignina+polifenóis)/ nitrogênio.

## 2.1. Experimento 1: Volatilização de $\text{NH}_3$ e emissão de $\text{CO}_2$

O experimento seguiu esquema fatorial 3 x 4, sendo 3 fontes de N (Ureia, Ureia+NBPT, Ureia+Cu+B) aplicados em dose única equivalente a  $120 \text{ mg anel}^{-1}$  de N (equivalente a  $150 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e 4 doses de serapilheira foliar cafeeira 0; 1,8; 2,7; 3,6  $\text{g anel}^{-1}$ . Essas doses de serapilheira foram correspondentes a 0; 2.250; 3.375 e  $4.500 \text{ kg ha}^{-1}$  de massa seca. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC) com 3 repetições, totalizando 36 unidades experimentais.

Cada unidade experimental foi constituída por 2 anéis de PVC, sendo um para avaliar a volatilização de  $\text{NH}_3$  e outro para avaliar a emissão de  $\text{CO}_2$ . Cada anel possui diâmetro e altura de 0,1 m apresentando área de  $0.008 \text{ m}^2$ . As unidades experimentais receberam  $0,5 \text{ dm}^{-3}$  de solo. O solo recebeu água para atingir 70% da capacidade de campo, que foi determinada no extrator de placa porosa a uma tensão de 10 kPa (REICHARDT, 1988). Em seguida, o solo ficou incubado por três dias para aclimação da biota e produção da urease.

Após esse período, os fertilizantes nitrogenados foram aplicados na superfície do solo e as sacolas de decomposição (área de  $0.008 \text{ m}^2$ ) com as doses de serapilheira foram colocadas por cima dos fertilizantes aplicados. Antes da instalação da sacola de decomposição a serapilheira recebeu água de modo a obter 80% da capacidade de retenção de umidade.

Posteriormente, em cada unidade experimental foi instalada uma câmara coletora para captura da amônia liberada (MARSOLA; TAKAHASHI; MIYAZAWA, 2000 modificado por ARAÚJO et al., 2006). A câmara coletora consiste em um coletor semiaberto livre estático (SALE) confeccionado a partir de frasco plástico transparente, tipo PET de 2 litros, sem a base.

No interior do frasco PET suspendeu-se uma lâmina de espuma de poliuretano com 3 mm de espessura, 2,5 cm de largura e 25 cm de comprimento de forma vertical com o auxílio de um fio rígido de 1,5 mm. Na outra extremidade do fio rígido foi

acoplado um frasco de 50 mL e nele adicionado 10 mL de solução de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1 mol  $\text{L}^{-1}$  + glicerina (2% v/v) no qual a espuma foi embebida.

A emissão de amônia foi avaliada aos 2, 4, 8, 16, 32 e 64 dias após aplicação dos adubos. Após cada coleta, as espumas foram colocadas em tubos de destilação para determinação da amônia retida, seguindo procedimento de Silva et al. (2010). A emissão de cada período foi somada obtendo a volatilização total.

A emissão de  $\text{CO}_2$  foi avaliada a 1, 3, 7, 11, 16, 31 e 63 dias após a aplicação dos adubos utilizando-se sistema automatizado portátil de fluxo de  $\text{CO}_2$  do solo LI-COR (LI- 8100) Nebraska EUA. Em seu modo de medição, o sistema LI-8100 detecta as mudanças na concentração de  $\text{CO}_2$  por meio de espectroscopia na região do infravermelho (IRGA Infrared Gas Analyzer).

Foram gerados gráficos do comportamento da volatilização de  $\text{NH}_3$  e emissão de  $\text{CO}_2$  em função do tempo. Os resultados da volatilização total de  $\text{NH}_3$  foram submetidos à análise de variância e teste de média para fator fontes de N e regressão para o fator níveis de serapilheira. Por se tratar de apenas 3 épocas, não tem pontos suficientes para regressão. Assim sendo, foi realizado teste de média para o fator época. Foi utilizado o programa estatístico Sisvar (FERREIRA, 2007).

## 2.2. Experimento 2: Decomposição e liberação de nutrientes da serapilheira e atributos do solo

O experimento seguiu esquema de parcela subdividida, sendo a parcela constituída de 3 fontes (Ureia, Ureia+NBPT, Ureia+Cu+B) aplicadas em dose única equivalente a 120 mg  $\text{anel}^{-1}$  de N e 4 doses de serapilheira foliar cafeeira (0; 1,8; 2,7; 3,6 g  $\text{anel}^{-1}$  correspondentes a 0; 2250; 3375 e 4500 kg  $\text{ha}^{-1}$  de massa seca de serapilheira). A subparcela foi constituída de 3 épocas de avaliação (16, 32 e 64 dias). O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC) com 3 repetições, totalizando 108 unidades experimentais. Cada unidade experimental foi constituída

por anel de PVC, com 10 cm de diâmetro e 10 cm de altura, possuindo área útil de 0,008 m<sup>2</sup>, as quais receberam 0,5 dm<sup>-3</sup> de solo.

Em cada época de avaliação (16, 32 e 64 dias) as unidades experimentais foram desmontadas. Nelas foram determinadas a massa seca remanescente da serapilheira, a liberação de C, N, P, K, Ca e Mg da serapilheira seguindo as mesmas metodologias utilizadas na caracterização química da serapilheira. No solo das subparcelas desmontadas, foi determinado o COT segundo Yeomans; Bremner (1988), NT segundo Tedesco (1995), C da biomassa microbiana (CBM) e N da biomassa microbiana (NBM) segundo Islam; Weil (1998). Determinou-se também o pH e Al<sup>3+</sup> do solo segundo Embrapa (2011).

Os dados foram submetidos a análise de variância e teste de média para os fatores fonte e época, e regressão para doses de serapilheira. Foi utilizado o programa estatístico Sisvar (Ferreira 2007).

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Volatilização de NH<sub>3</sub> e emissão de CO<sub>2</sub>

Os valores da volatilização de NH<sub>3</sub> variaram com as fontes de adubos nitrogenados, doses de serapilheira e época de avaliação (Figura 1). A UC e U+Cu+B apresentaram pico de volatilização no quarto dia e volatilização média de 9,3 e 9,6 mg anel<sup>-1</sup> N-NH<sub>3</sub>, respectivamente. A U+NBPT apresentou baixa volatilização durante o período experimental. A maior perda ocorreu aos 8 dias após a aplicação e quantidade média volatilizada de 1,1 mg anel<sup>-1</sup> de N-NH<sub>3</sub>. Nestes picos de volatilização, a dose de serapilheira influenciou na volatilização de NH<sub>3</sub> para as fontes UC e U+Cu+B. Com o aumento dos níveis de serapilheira aplicada há redução da quantidade de NH<sub>3</sub> volatilizada, sendo ajustadas as equações  $y = -0,51x^{2**} + 1,71x^{**} + 9,17$  ( $R^2 = 0,99$ ) e  $y = -1,03x^{**} + 11,95$  ( $R^2 = 0,94$ ) para UC e U+Cu+B, respectivamente.

O efluxo de  $\text{CO}_2$  do solo variou com a aplicação dos fertilizantes nitrogenados, as doses de serapilheira e a época de avaliação (Figura 1). A UC e U+Cu+B apresentaram pico de volatilização no terceiro dia e emissão média de 6,8 e 7,9  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , respectivamente. A U+NBPT proporcionou menor emissão de  $\text{CO}_2$  em relação às outras fontes. Aos 3 dias após aplicação da U+NBPT a quantidade média emitida de  $\text{CO}_2$  foi de 3,1  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Com o aumento da dose de serapilheira aplicada há aumento da quantidade de  $\text{CO}_2$  liberado, ajustando-se a equação  $y=0,95x^{**}+3,82$  ( $R^2=0,90$ ).

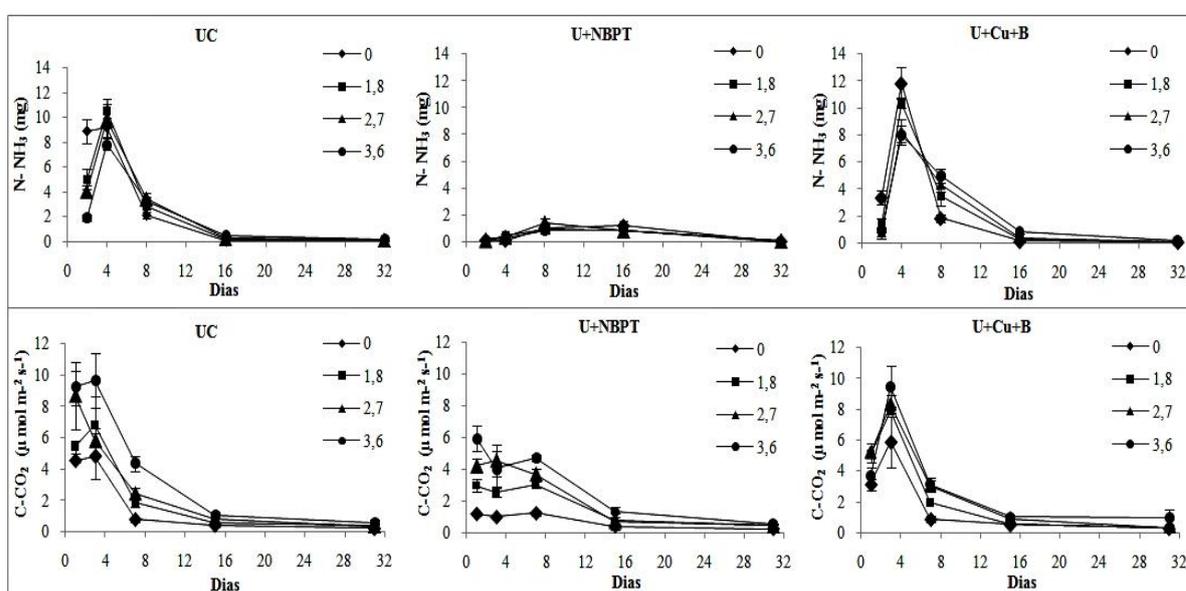


Figura 1- Volatilização da amônia ( $\text{N-NH}_3$ ) e efluxo de  $\text{CO}_2$  após aplicação das fontes de N em dose de 120 mg de N e da serapilheira foliar cafeeira nas doses de 1,8; 2,7 e 3,6 g. Ureia comum (UC), Ureia+NBPT (U+NBPT) e Ureia+Cu+B (U+Cu+B). Barras indicam desvio padrão da média.

A perda total de N por volatilização no período de 32 dias diferiu entre as fontes de N e doses de serapilheira ( $p < 0,01$ ). A ordem de volatilização total foi a seguinte: UC > U+Cu+B > U+NBPT. Nas fontes UC e U+Cu+B, à medida que a dose de serapilheira aplicada aumentou, reduziu-se a perda de N por volatilização (Figura 2). Para a U+NBPT, o aumento da dose de serapilheira não influenciou na volatilização de  $\text{NH}_3$ .

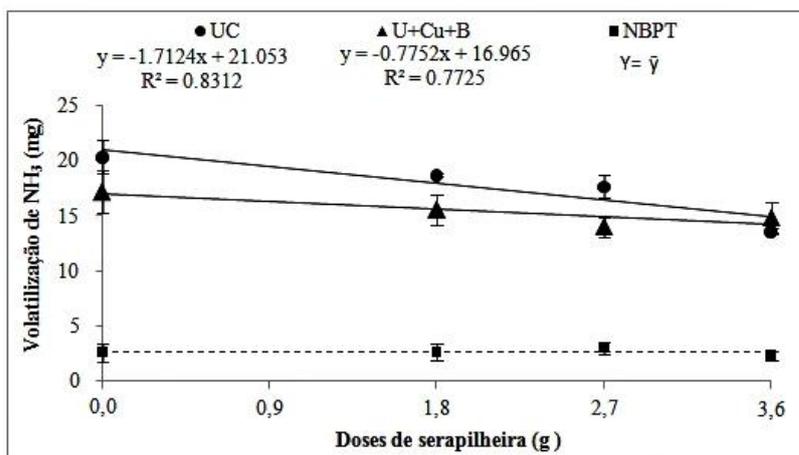


Figura 2: Volatilização de amônia (N-NH<sub>3</sub>) durante 32 dias após aplicação das fontes de N e doses de serapilheira. Ureia comum (UC), Ureia+NBPT (U+NBPT) e Ureia+Cu+B (U+Cu+B). Barras indicam desvio padrão da média.

### 3.2. Taxa de decomposição, liberação de nutrientes da serapilheira e atributos do solo

A taxa de decomposição da serapilheira após 64 dias não variou em função das fontes de N ( $m = 29,6$  % de decomposição), entretanto, a dose de serapilheira e tempo de decomposição influenciaram na taxa de decomposição. Em relação às doses, 1,8; 2,7 e 3,6 g  $\text{anel}^{-1}$  de serapilheira proporcionaram 27,7; 31,3 e 29,8 % de decomposição da massa seca. De modo semelhante, o tempo de decomposição também influenciou na percentagem de massa seca remanescente de serapilheira. Equações logarítmicas foram as que melhor descreveram o comportamento da decomposição ao longo do tempo (Figura 3).

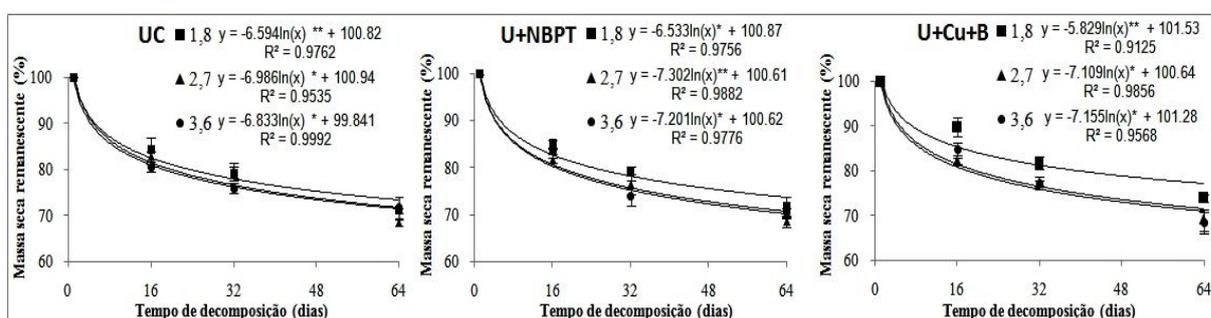


Figura 3: Massa seca remanescente de serapilheira em função do tempo de decomposição para doses de 1,8; 2,7 e 3,6 g  $\text{anel}^{-1}$  de serapilheira.

A liberação de nutrientes após 64 dias de decomposição não foi influenciada pelas fontes de N. Contudo, as doses de serapilheira (Tabela 3) e o tempo de

decomposição (Figura 4) influenciaram na liberação de nutrientes. A maior dose de serapilheira aplicada proporcionou maior quantidade de nutrientes liberados (Tabela 3).

Tabela 3- Liberação de C, N, P, K, Ca e Mg em função das doses de serapilheira aplicada após 64 dias de decomposição.

Nutriente/ Dose (g anel <sup>-1</sup> )	C liberado	N liberado	P liberado	K liberado	Ca liberado	Mg liberado
1,8	241,6 c	22,5 c	0,55 c	8,0 c	9,6 c	2,3 c
2,7	430,5 b	38,5 b	0,98 b	13,9 b	15,2 b	3,7 b
3,6	547,1 a	49,0 a	1,28 a	17,4 a	18,2 a	5,0 a

Médias seguidas por mesma letra para cada nutriente liberado não diferem em 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey. Dose de 1,8; 2,7 e 3,6 g anel<sup>-1</sup> correspondentes a 2250; 3375 e 4500 kg ha<sup>-1</sup>.

Em relação ao tempo, aos 64 dias a quantidade de nutrientes liberados pela decomposição da serapilheira foi superior em relação à quantidade liberada aos 16 dias (Figura 4).

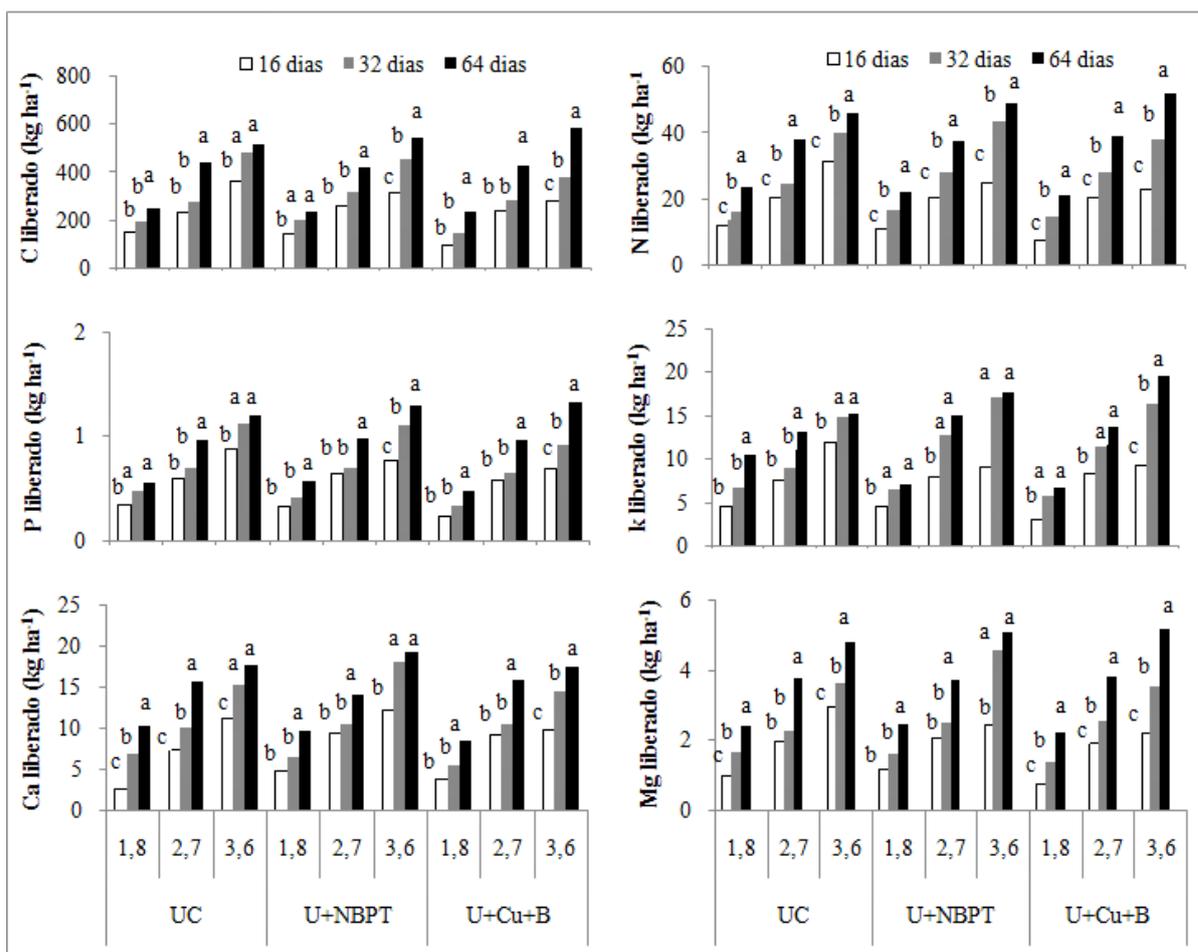


Figura 4 - Liberação de nutrientes da serapilheira em função do tempo para doses de 1,8; 2,7 e 3,6 g de serapilheira na presença da Ureia comum (UC), Ureia+NBPT (U+NBPT) e Ureia+Cu+B (U+Cu+B).

Os teores de COT ( $m=11,67 \text{ g kg}^{-1}$ ) e NT ( $m=1,22 \text{ g kg}^{-1}$ ) não diferiram entre as fontes de N e doses de serapilheira cafeeira estudadas, entretanto, a época de avaliação influenciou os teores COT e NT (Figura 5). De modo geral, ocorreu redução dos teores de COT e NT aos 64 dias em relação aos 16 dias para os tratamentos com serapilheira e U+NBPT e U+Cu+B.

As fontes de N, doses de serapilheira e épocas de avaliação influenciaram os teores de CBM. A U+NBPT ( $230,0 \mu\text{g g}^{-1}$ ) proporcionou teores de CBM superiores em relação a U+Cu+B ( $204,2 \mu\text{g g}^{-1}$ ) e UC ( $195,4 \mu\text{g g}^{-1}$ ). Com o aumento das doses de serapilheira aplicada ocorreu redução nos teores de CBM do solo, ajustando-se a equação  $y=-9,51x^*+229,17$  ( $R^2=0,89$ ).

Em relação à época, houve tendência de redução do CBM aos 64 dias para as fontes U+NBPT e U+Cu+B (Figura 5). A U+NBPT, com  $23,2 \text{ mg kg}^{-1}$  de NBM, proporcionou teores superiores em relação a U+Cu+B ( $21,5 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e UC ( $17,7 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Já os níveis de serapilheira não influenciaram nos teores de NBM. A época de avaliação influenciou os teores de NBM com tendência de aumento aos 64 dias após a aplicação dos fertilizantes (Figura 5).

As fontes de N, doses de serapilheira e épocas de avaliação influenciaram o pH e os teores de  $\text{Al}^{+3}$  do solo. U+NBPT, U+Cu+B e UC apresentaram pH igual a 4,39; 4,42; 4,43 e  $\text{Al}^{+3}$  igual a  $0,33$ ;  $0,31$  e  $0,29 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , respectivamente. O aumento da dose de serapilheira proporcionou redução nos valores de pH do solo ( $y=-0,0091x^*+4,43$ ,  $R^2=0,75$ ) e aumento da disponibilidade de  $\text{Al}^{+3}$  do solo ( $y=0,11x^*+0,29$ ,  $R^2=0,82$ ).

De modo semelhante, a época de avaliação também influenciou nestes atributos químicos avaliados havendo tendência de redução do pH e aumento do  $\text{Al}^{+3}$  aos 64 dias após aplicação das fontes de N e doses de serapilheira (Figura 5).

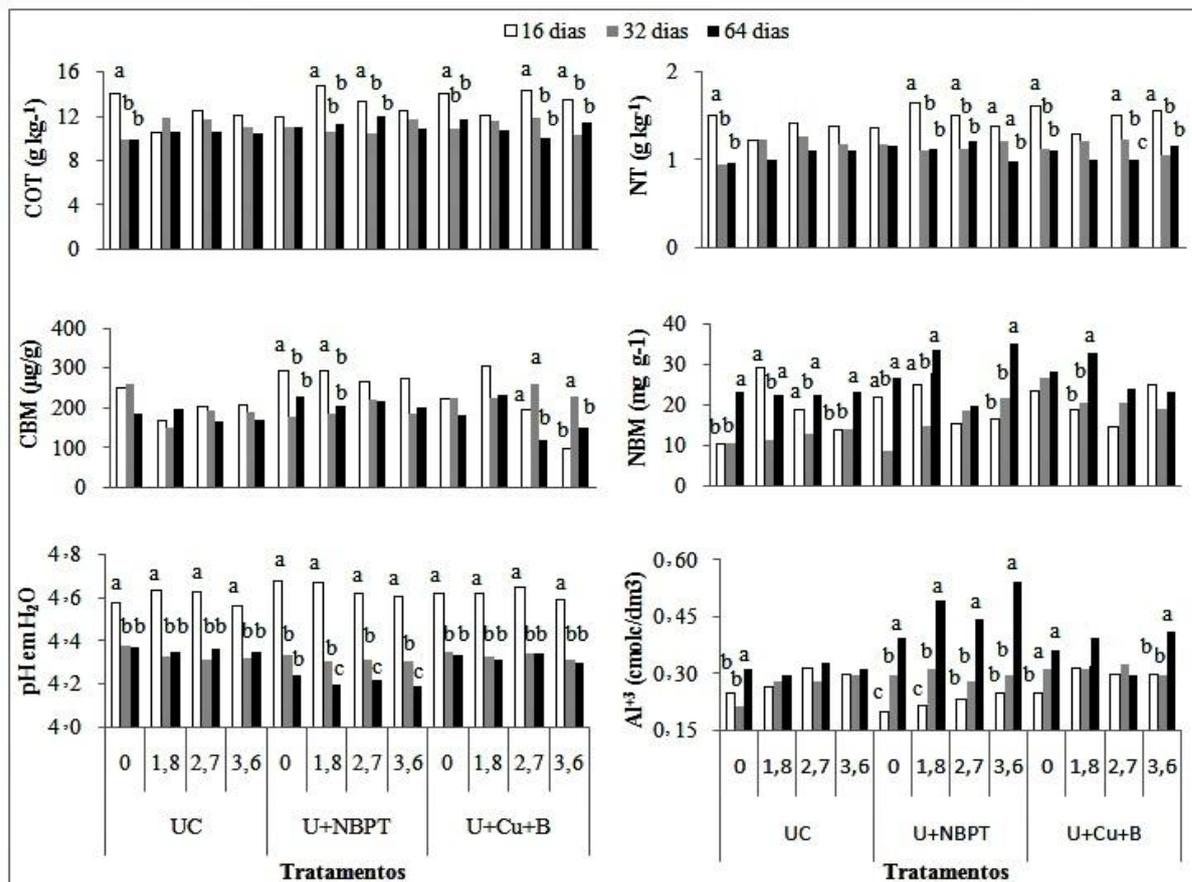


Figura 5- Média dos teores de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), carbono da biomassa microbiana (CBM), nitrogênio da biomassa microbiana (NBM), pH e Al<sup>3+</sup> do solo avaliados aos 16, 32 e 64 dias após aplicação das fontes de N e doses de serapilheira. Médias seguidas por ausência de letra para épocas em cada dose de serapilheira não diferem em 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey. Ureia Comum (UC), Ureia+NBPT (U+NBPT) e Ureia+Cu+B (U+Cu+B).

#### 4. DISCUSSÃO

As perdas totais de NH<sub>3</sub> por volatilização na fonte ureia+NBPT variaram em relação ao aplicado em 2,2 % na ausência de serapilheira a 2,0% na dose de 3,6 g de serapilheira, demonstrando pouca influência da serapilheira já que a ureia+NBPT é uma fonte eficiente na redução da volatilização. Para as demais fontes, a serapilheira cafeeira proporcionou maior contribuição na redução da volatilização total. Em relação ao total aplicado, a volatilização passou de 17,4% na ausência de serapilheira para 11,6% na dose de 3,6 g anel<sup>-1</sup> de serapilheira para a fonte ureia comum e de 14,7 % na ausência de serapilheira para 12,7% na dose 3,6 g de serapilheira para a ureia+Cu+B.

Sangoi et al. (2003) observaram em experimento de laboratório, com um Nitossolo Vermelho (52 % de argila e 4,8 % de matéria orgânica) que a palhada de aveia preta (4,0 Mg ha<sup>-1</sup> biomassa seca) aplicada na superfície do solo reduziu a volatilização de N em 53% (de 32,1 para 15,1 mg de N-NH<sub>3</sub>) em comparação à ausência de palha na superfície do solo quando a ureia foi aplicada em superfície. Quando a palhada de aveia preta foi incorporada ao solo a volatilização aumentou e a perda foi de 38,9 mg anel<sup>-1</sup> de N (SANGOI et al., 2003).

Os dados da presente pesquisa demonstram que a escolha da fonte e o uso de serapilheira são importantes na redução da volatilização de NH<sub>3</sub>. Outras pesquisas realizadas em ambiente controlado também demonstraram redução da volatilização da ureia estabilizada com o NBPT e com Cu+B aplicado ao solo em relação à ureia comum (STAFANATO et al., 2013; TASCA et al., 2011) devido à inativação temporária da enzima urease do solo. Quanto ao uso da serapilheira, esta parece funcionar como barreira física reduzindo a volatilização de N. Um dos manejos recomendados para reduzir a volatilização é a incorporação do fertilizante no solo (GARCIA et al., 2010; RODRIGUES et al., 2016). Assim sendo, tanto o solo quanto a serapilheira proporcionam barreira física que reduz a liberação da NH<sub>3</sub> para a atmosfera.

A ureia é o principal fertilizante nitrogenado utilizado no Brasil (IPNI, 2017). Sabendo-se que no ano de 2016 foram cultivados 150 mil ha de café arábica no estado do Espírito Santo (ES) (CONAB, 2017) e que a produtividade média para a cultura na região foi de 26,2 sacas por hectare (CONAB, 2017), estima-se um gasto de 37.500 Mg de N no estado do ES, uma vez que a recomendação para atingir essa produtividade é 250 kg de N ha<sup>-1</sup> (GUIMARÃES et al., 1999). Considerando que os dados da presente pesquisa ocorressem em condições de campo, o uso da serapilheira reduziria a perda de N por volatilização em 2.175 Mg de N, equivalente a 4.728 Mg de ureia, no ES. Sendo o preço médio da ureia em US\$ 185,00 (WORLD BANK, 2017) a economia em ureia para a cafeicultura arábica seria de US\$ 874.680, ou US\$ 5,84 por hectare.

Esse valor de US\$ 5,84 por hectare é uma economia ao cafeicultor e não seria perdido por volatilização da  $\text{NH}_3$  se houvesse a cobertura do adubo com a serapilheira. É válido ressaltar a importância de se realizar experimentos de campo para confirmar a ação da serapilheira na redução da volatilização. Contudo, a volatilização total para ureia de 17,4% encontrada na presente pesquisa está próxima a volatilização média de 20 a 30% do aplicado em pesquisas de campo em condições tropicais brasileiras (SOARES; CANTARELLA; MENEGALI, 2012).

Para cada época avaliada, a ureia+NBPT demonstrou ser o inibidor de urease mais promissor em reduzir as perdas  $\text{N-NH}_3$  por volatilização com baixa variabilidade nas perdas durante o período experimental. Para a ureia comum e a ureia+Cu+B o pico de volatilização aconteceu aos 4 dias após a aplicação dessas fontes. De modo semelhante, Soares; Cantarella; Menegali (2012) e Tasca et al. (2009) relataram redução da perda de N da ureia+NBPT em ambiente controlado.

Além da redução da volatilização da  $\text{NH}_3$ , a ureia+NBPT e a ureia+Cu+B reduziram a emissão de  $\text{CO}_2$  do solo. Como o  $\text{CO}_2$  é constituinte da ureia, a rápida hidrólise da ureia faz com que o  $\text{CO}_2$  seja liberado rapidamente para a atmosfera. A redução média da emissão de  $\text{CO}_2$  foi de 35,8% (média de  $2,22 \mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) para a ureia+NBPT e de 9,2% (média de  $3,14 \mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) para a ureia+Cu+B em relação à ureia comum que obteve efluxo médio de  $3,46 \mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Esses dados evidenciam menor hidrólise da ureia associada aos inibidores NBPT, B e Cu e conseqüentemente, menor emissão de  $\text{CO}_2$  em comparação a ureia comum. Além disso, a rápida disponibilidade de N da ureia para a microbiota do solo também auxilia para maiores emissões de  $\text{CO}_2$  devido ao aumento da atividade microbiana.

Correlação significativa ( $p < 0,01$ ) e positiva ( $r_{(360)} = 0,99$ ) entre a volatilização de  $\text{NH}_3$  e emissão de  $\text{CO}_2$  foi observada no presente estudo. Dessa forma, fontes que proporcionam grandes perdas de  $\text{NH}_3$  por volatilização como a ureia comum, liberam maior quantidade de  $\text{CO}_2$ . Assim sendo, o uso de fertilizantes estabilizados com inibidores de urease são alternativas para reduzir impactos ambientais associados à

adubação nitrogenada, incluindo-se como estratégia eficiente para o controle das emissões de gases efeito estufa.

Em relação à serapilheira, verificou-se que o aumento da dose aplicada proporcionou aumento na liberação de CO<sub>2</sub>. Esse aumento na liberação de CO<sub>2</sub> está relacionado à decomposição da serapilheira realizada pela microbiota do solo, o que é confirmado no aumento da taxa de decomposição com aumento da dose de serapilheira.

Dose aplicada equivalente a 4500 kg ha<sup>-1</sup> de massa seca proporcionou decomposição de 1341 kg ha<sup>-1</sup> (29,8 % de decomposição) após 64 dias da aplicação no solo. Em regiões montanhosas com plantio de café arábica no ES, resíduos vegetais como a serapilheira têm papel importante tanto na ciclagem de nutrientes quanto na proteção do solo contra erosão (MATOS et al., 2011). Assim sendo, a serapilheira deve ser retornada para a projeção da copa do cafeeiro, uma vez que na colheita é realizada a arruação e a serapilheira é depositada na entre linha do cafeeiro. Ademais, o uso da serapilheira é de importância, uma vez que os solos da região (Latosolos) dependem da atividade biológica para disponibilizar nutrientes à planta (MENDONÇA et al., 2010).

É válido ressaltar que a serapilheira é um recurso local disponível e fácil de ser utilizada. Contudo, o cafeicultor deve ter conhecimento de seu uso como auxiliar no fornecimento de nutrientes e não ter a serapilheira como fonte exclusiva de nutrientes. Exemplo disso são os baixos teores de P (0,09 %) da serapilheira do presente estudo. Uma das causas da baixa taxa de decomposição é o baixo teor de P presente no resíduo (STEVENSON, 1994). Segundo o autor, relação C/P menor que 200 em resíduos vegetais contribui para a rápida liberação do P e rápida decomposição dos resíduos que são dependentes da ação dos microrganismos do solo. Como a relação C/P da serapilheira de café é de 527 espera-se baixa liberação de P desse resíduo orgânico.

Além dos baixos teores de P, a baixa taxa de decomposição também está relacionada aos altos teores de lignina (39,90 %) e polifenóis (6,60 %) presentes na serapilheira cafeeira (Tabela 2). Componentes recalcitrantes como lignina e polifenóis presentes em altas concentrações contribuem para baixa taxa de decomposição (HADAS et al., 2004). Matos et al. (2011) mencionaram baixos teores de lignina, lignina/polifenóis e (lignina+polifenóis)/nitrogênio em resíduos de leguminosas presentes em cafeeiro arábica de região montanhosa da Zona da Mata Mineira, mencionado a importância dessas baixas relações na liberação de nutrientes e nutrição do cafeeiro.

Apesar da baixa taxa de decomposição, a liberação de nutrientes da serapilheira cafeeira auxilia na complementação da adubação, a exemplo do N que liberou após 64 dias de decomposição  $49 \text{ kg ha}^{-1}$  para quantidade equivalente a  $4,5 \text{ Mg ha}^{-1}$  de serapilheira. Entretanto, para a liberação de P há pouca contribuição da serapilheira cafeeira na liberação e fornecimento desse elemento para o solo.

A não obtenção de influência das fontes de N e doses de serapilheira sobre o teor de COT pode estar relacionada à decomposição homogênea da matéria orgânica do solo, já que no início do experimento o COT foi de  $17,43 \text{ g kg}^{-1}$  de solo. A redução em relação à condição inicial demonstra que a adição de N do adubo e C da serapilheira proporciona condições para a decomposição da MOS.

Contudo, a época influenciou na redução do COT. Dos 16 dias ( $m=13,00 \text{ g kg}^{-1}$  de COT) aos 64 dias ( $m=11,00 \text{ g kg}^{-1}$  de COT) a redução média no teor de COT foi de 15,4%, o que pode estar relacionado à menor disponibilidade de C lábil neste período. Aliado a isso, durante o processo de decomposição microbiana ocorre mudanças na qualidade química do substrato, bem como na sucessão de microrganismos que competem pelo substrato remanescente, isso pode acarretar menor taxa de decomposição da matéria orgânica (SILVA; MENDONÇA, 2007).

Além da redução no COT, houve influência da época de avaliação na redução no teor de NT do solo. Dos 16 dias ( $m=1,4 \text{ g kg}^{-1}$  de NT) aos 64 dias ( $m=1,1 \text{ g kg}^{-1}$  de

NT) a redução média no teor de NT foi de 21,4 %. Os maiores teores de NT do solo proporcionados pela ureia+NBPT e ureia+Cu+B aos 16 dias podem estar relacionados ao período de inativação da enzima urease. Estes princípios ativos reduzem a atividade da enzima urease em um período que pode variar de 7 a 14 dias, reduzindo a hidrólise do fertilizante pela enzima e promovendo maior tempo de permanência no solo (GARCIA et al., 2011).

Após a hidrólise, o N pode ser perdido por volatilização da  $\text{NH}_3$  e desnitrificação do  $\text{NO}_3$ , justificando a redução nos teores de NT aos 64 dias. Dessa forma, a redução do COT e NT em curto período de tempo são fatores a serem monitorados. Vale ressaltar, que o período de avaliação foi de 64 dias, havendo, em médio e longo prazo, contribuição da serapilheira no incremento da matéria orgânica do solo (GUIMARÃES et al., 2014).

A disponibilidade de matéria orgânica e sua facilidade de decomposição são de suma importância como fonte de energia para os microrganismos do solo (LANNA et al. 2010). Como a serapilheira é um material de difícil decomposição, o aumento da sua dose proporcionou redução no CBM.

O quociente metabólico foi de 1,56; 2,48, 2,88 e 5,04  $\text{mg CO}_2/\text{mg CBM}$  nos níveis 0, 1,8 2,7 e 3,6 g de serapilheira, respectivamente. O quociente metabólico, relação entre a emissão de  $\text{CO}_2$  e o CBM, informa sobre a respiração microbiana do solo. Quanto maior o valor do quociente metabólico maior nível de estresse dos microrganismos do solo (SILVA; MENDONÇA, 2007). O aumento nos valores do quociente metabólico com o aumento nas doses de serapilheira demonstra maior respiração pela microbiota do solo ou maior nível de estresse na decomposição da serapilheira. Além disso, a redução do CBM proporcionada pelo aumento da dose de serapilheira também pode estar relacionada à menor disponibilidade de N ao longo do tempo, já que o NT reduziu 21,4% dos 16 para 64 dias.

Válido ressaltar que mesmo havendo NT em quantidade significativa no solo, formas de N prontamente disponíveis para microbiota do solo são raramente suficientes

(MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Inicialmente a microbiota obteve o N inorgânico disponível, mas após 64 dias a quantidade de N disponível para a microbiota foi reduzida. Além disso, a presença de compostos recalcitrantes da serapilheira e a redução do pH do solo proporcionada pelos fertilizantes que liberam amônio também influenciam na redução da biomassa microbiana (TASCA et al., 2011).

Verificou-se que a ureia+NBPT em comparação a outras fontes de N influenciou no aumento do CBM e NBM. Em relação à ureia comum, o aumento proporcionado pela ureia+NBPT foi de 17,7% no CBM e de 31,1% no NBM. Como os microrganismos do solo compõem a fração ativa da matéria orgânica mais sensível a alterações no manejo (NUNES et al., 2009), o uso da ureia+NBPT é benéfico por promover desenvolvimento da microbiota do solo.

Outra característica proporcionada pelas fontes estudadas foi a acidificação do solo. A acidificação do solo com uso de fertilizantes amoniacais é de grande preocupação uma vez que o pH é o principal fator que controla a disponibilidade de nutrientes. As pesquisas que tratam da relação dos fertilizantes nitrogenados com o pH do solo mostram que a volatilização da amônia é maior em valores de pH inicial do solo mais elevados, conforme relatado por Tasca et al. (2011). Entretanto, as perdas de N por volatilização da amônia em solo com pH ácido também são altas (VILLALBA et al., 2014).

O monitoramento do pH e  $Al^{+3}$  do solo deve ser considerado para permitir maior eficiência no uso dos fertilizantes nitrogenados amoniacais e, juntamente com a serapilheira cafeeira, reduzir a volatilização da amônia. No contexto das práticas de manejo da adubação, o atraso e redução da volatilização proporcionada pelos inibidores de urease e pela serapilheira são importantes no ganho de tempo para a incorporação do fertilizante, seja pela água da chuva em solos sem irrigação ou difusão do fertilizante para volume maior de solo.

## **5. CONCLUSÕES**

A introdução de serapilheira cafeeira sobre o adubo nitrogenado proporciona barreira física que reduz a perda de amônia por volatilização.

Com a decomposição da serapilheira ocorreu aumento da emissão de CO<sub>2</sub> do solo. Entretanto, por ser um resíduo orgânico com altos teores de lignina e polifenóis, a serapilheira cafeeira possui baixa taxa de decomposição e liberação de nutrientes.

Ureia+NBPT é a fonte mais eficaz em proporcionar menor volatilização de NH<sub>3</sub> e CO<sub>2</sub> e aumento do C e N da biomassa microbiana.

## 6. REFERÊNCIAS

ARAÚJO, E. S. et al. 2006. Câmara coletora para quantificação do N-NH<sub>3</sub> volatilizado do solo. Comunicado Técnico. Embrapa n° 87. Seropédica, RJ: Embrapa Agrobiologia, 4 p.

ANDERSON, J. D.; INGRAM, J. S. I. 1996. Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods. 2.ed. Wallingford, UK CAB International, 171p.

BRAGA, J. M.; DEFELIPO, B. V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. **Revista Ceres**, v.21, p.73-85, 1974.

CANTARELLA, H. et al. A. Ammonia volatilisation from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. **Scientia Agricola**, v.65, n.4, p.397-401, 2008.

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17\\_01\\_17\\_14\\_51\\_54\\_boletim\\_cafe\\_-\\_janeiro\\_de\\_2017.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_01_17_14_51_54_boletim_cafe_-_janeiro_de_2017.pdf). Acesso: 17/05/2017.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solos / organizadores, Guilherme Kangussú Donagema... [et al.]. - Dados eletrônicos. - Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p. - (Documentos / Embrapa Solos).

FARIA, L. A. et al. Hygroscopicity and ammonia volatilization losses from nitrogen sources in coated urea. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 3, p. 942-948, 2014.

FERREIRA, D. F. 2007. SISVAR software: versão 4.6. Lavras: UFLA/DEX. Software.

FRAZÃO, J. J. et al. Fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada e uréia na cultura do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.12, p.1262-1267, 2014.

GARCIA, A. L. A. et al. Efeito da uréia com inibidor de urease no crescimento de mudas de cafeeiro (*coffea arabica* L.). **Coffee Science**, v.6, p.1-7, 2011.

GUIMARAES, P. T. G. et al. Sugestões de Adubação para Grandes Culturas Anuais ou Perenes: Cafeeiro. In: RIBEIRO, A. C. et al. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais –5ª aproximação. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999, p.289-302.

HADAS, A. et al. Rates of decomposition of plant residues and available nitrogen in soil, related to residue composition through simulation of carbon and nitrogen turnover. **Soil Biology and Biochemistry**, v.36, p.255-266, 2004.

IPNI. INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE. Disponível em: <<http://brasil.ipni.net/article/BRS-3132#aparente>> acesso em: 21/03/2017.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. **Biology and Fertility Soils**, Vienna, v.27, p.408-416, 1998.

LANNA, A. C. et al. Atividade de urease no solo com feijoeiro influenciada pela cobertura vegetal e sistemas de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, p.1933-1939, 2010.

MA, B. L. et al. On-farm assessment of the amount and timing of nitrogen fertilizer on ammonia volatilization. **Agronomy Journal**, v.102, p.134-144, 2010.

MARSOLA, T.; TAKAHASHI, H, W.; MIYAZAWA, M. Calibração de um sistema coletor de amônia volatilizada do solo e aplicada em campo. In: IV Mostra Acadêmica de Trabalhos de Agronomia, Londrina, Editora UEL, v.4, p.123- 123, 2000.

MATOS, E. S. et al. Decomposition and nutrient release of leguminous plants in coffee agroforestry systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.141-149, 2011.

MENDONÇA, E. S. et al. Fatores edáficos de cafezais arborizados: processo de aprendizado contínuo com agricultores familiares. In: Estratégias para produção de café com qualidade e sustentabilidade. 1 ed.Viçosa - MG : Suprema Gráfica Editora Ltda, 2010, v.1, p. 63-84.

NASCIMENTO, C. A. C. et al. Ammonia volatilization from coated urea forms. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 4, p. 1057-1063, jul/ago. 2013.

NUNES, L. A. P. L. et al. Impacto do monocultivo de café sobre os indicadores biológicos do solo na zona da mata mineira. **Ciência Rural**, v. 39, p. 2467-2474, set. 2009.

PEREIRA, H. S. et al. Ammonia volatilization of urea in the out-of-season corn. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 33, p. 1685-1694, 2009.

REICHARDT, K. Capacidade de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.12, p.211-216, 1988.

REICHARDT, K. et al. Relação entre a adubação nitrogenada e as condições hídricas do solo para um cafezal de Piracicaba, SP. **Coffee Science**, v.4, n.1, p. 41-55, 2009.

RIBEIRO, V. J. et al. Volatilization of ammonia in stabilized slow-release nitrogen fertilizer under controlled conditions. **Australian Journal of Crop Science**, 10(6): 793-798, 2016.

ROCHETTE, P. et al. Reducing ammonia volatilization in a no-till soil by incorporating urea and pig slurry in shallow bands. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.84, p.71-80, 2009a.

ROCHETTE, P. et al. Ammonia volatilization following surface application of urea to tilled and no-till soils: A laboratory comparison. **Soil Tillage Research**, v.103, p.310-315, 2009b.

RODRIGUES, J. O. et al. Volatilização de amônia de uréias protegidas na cultura do cafeeiro Conilon. **Coffee Science**, v.11, n.4, p. 530 - 537, 2016.

ROJAS, C. A. L. et al. Volatilização de amônia da ureia alterada por sistemas de preparo de solo e plantas de cobertura invernais no Centro-Sul do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.261-270, 2012.

SANGOI, L. et al. Volatilização de N-NH<sub>3</sub> em decorrência da forma de aplicação de ureia, manejo de resíduos e tipo de solo, em laboratório. **Ciência Rural**, v.33, p.687-692, 2003.

SARRUGE, J. R.; HAAG, H.P. Análises químicas em plantas. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Química, 1974. 56p.

SILVA, D. F. et al. Análise de nitrato e amônio em solo e água. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. 2010, 55p.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. VI- Matéria Orgânica do Solo. In: NOVAIS, R. F; ALVAREZ, V. H. A. V.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. Fertilidade do Solo. 1.ed. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.275-374, 2007.

SOARES, J. R.; CANTARELLA, H.; MENEGALI, M. L. C. Ammonia volatilization losses from surface-applied urea with urease and nitrification inhibitors. **Soil Biology and Biochemistry**, v.52, p.82-89, 2012.

STAFANATO, J. B. et al. Volatilização de amônia oriunda de uréia pastilhada com micronutrientes em ambiente controlado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 3, p. 726-732, 2013.

STEVENSON, F.J. Humus chemistry: Genesis, composition, reactions. 2.ed. New York, John Wiley, 1994. 496p.

TASCA, F. A. et al. Volatilização de amônia do solo após a aplicação de uréia convencional ou com inibidor de urease. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n. 2, p. 493-502, 2011.

TEDESCO, M. J, et al. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 174 p, 1995.

TRIVELIN, P. C. O. et al. Perdas do nitrogênio da ureia no sistema solo-planta em dois ciclos de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.193-201, 2002.

van SOEST, P.; WINE, R. H. Development of a comprehensive system of feed analysis and its applications to forages. **Journal Association of Official Analytical Chemists**, v.51, p.780-785, 1968.

VILLALBA, H. A. G. et al. Fertilizantes Nitrogenados: Novas Tecnologias. **Informações Agronômicas**, n.148, p.12- 20, 2014.

World Bank (2017). Disponível em: [http://www.indexmundi.com/pt/pre%E7os-de-mercado/?mercadoria=ureia&mercadoria=uréia](http://www.indexmundi.com/pt/pre%E7os-de-mercado/?mercadoria=ureia&mercadoria=ur%C3%A9ia).

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.19, p.1467-1476, 1988.

## CAPÍTULO 3

### CRESCIMENTO INICIAL DE CAFEIEIRO ARABICA INFLUENCIADO POR FERTILIZANTES INIBIDORES DE UREASE E ADIÇÃO DE SERAPILHEIRA CAFEIEIRA

#### Resumo

O uso de fertilizantes nitrogenados inibidores de urease juntamente com a serapilheira cafeeira pode ser uma alternativa de manejo a ser utilizada na renovação de lavouras cafeeiras. Essa combinação pode proporcionar menores perdas de N por volatilização e influenciar nos teores, acúmulos e no crescimento inicial de cafeeiro arábica. Assim sendo, o objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito de adubos nitrogenados com inibidores de urease juntamente com a serapilheira foliar cafeeira sobre os parâmetros biométricos, teor e acúmulo de N, atividade da urease foliar e % de clorofila no desenvolvimento inicial do cafeeiro IAC 144. O experimento de casa de vegetação foi montado em um esquema de parcela subdividida 3x5x2x2. As parcelas foram constituídas de 3 fontes: ureia comum (UC), ureia +NBPT (U+NBPT) e Ureia+Cu+B (U+Cu+B) e 5 doses (1,2; 2,0; 2,8; 3,6, 4,8 g vaso<sup>-1</sup> de N), as subparcelas da presença e ausência de serapilheira e subsubparcelas de 2 épocas de avaliação (90 e 180 dias). O delineamento experimental foi em blocos casualizados com três repetições. Independente da fonte, a dose de 1,2 g vaso<sup>-1</sup> de N foi suficiente para proporcionar altura da planta, diâmetro do caule, número de nós, pares de folhas e ramos plagiotrópicos iguais ou superiores aos demais tratamentos. De modo semelhante, as menores doses de N em todas as fontes avaliadas foram suficientes para promover ganhos similares de massa seca. Contudo, os maiores teores de N foliar foram proporcionados pelos inibidores de urease e na maior dose aplicada impactando também, em maior atividade da enzima urease na folha. Em relação à serapilheira foliar cafeeira, não é recomendado sua utilização no plantio do cafeeiro, pois ela proporcionou redução de 9,1; 3,3; 10,5 e 19,3 % na altura, número de nós, diâmetro do caule e número de ramos plagiotrópicos, respectivamente, e reduziu a produção de massa seca e o

acúmulo de N na parte aérea. Fontes, doses de N e a serapilheira não influenciaram os teores de clorofila, entretanto, equações lineares demonstram aumento dos teores de clorofila ao longo do tempo após a adubação nitrogenada.

**Palavras-chave:** Nitrogênio, resíduos vegetais, volatilização de  $\text{NH}_3$ , decomposição.

## CHAPTER 3

### INITIAL ARABICA COFFEE GROWTH INFLUENCED BY UREASE INHIBITOR FERTILIZERS AND ADDED COFFEE LEAF LITTER

#### Abstract

The use of nitrogen fertilizers and urease inhibitors together with coffee litter can be an alternative to be used in the renovation of coffee plantations. This combination can provide lower losses of N by volatilization and influence the contents, accumulation and initial growth of arabica coffee. The objective of the present study was to evaluate the effect of nitrogen fertilizers with urease inhibitors together with the leaf litter on biometric parameters, nitrogen content and accumulation, foliar urease activity and % of chlorophyll in the initial growth of coffee IAC 144. The greenhouse experiment was conducted in a scheme of sub-sub-divided parcel 3x5x2x2. The plots consisted of 3 sources: common urea (urea), urea + NBPT (U + NBPT) and urea + Cu + B (U + Cu + B) and 5 doses (1.2, 2.0, 2.8, 3.6, 4.8 g pot<sup>-1</sup> of N), the subplots of the presence and absence of litter and sub sub-plot of 2 epochs of evaluation (90 and 180 days). The experimental design was in a randomized block with three replicates. Regardless of the source, the dose of 1.2 g pot<sup>-1</sup> of N was sufficient to provide plant height, stem diameter, number of nodes, leaf pairs and plagiotropic branches equal to or greater than other treatments. Similarly, the lowest N dose in all sources evaluated was sufficient to promote the similar earnings of dry mass. However, the higher levels of leaf N were provided by the urease inhibitors and the higher applied dose, impacting also on the greater activity of the urease enzyme in the leaf. In relation to leaf litter, it is not recommended to use it in coffee planting, since it provided a reduction of 9.1; 3.3; 10.5 and 19.3% in height, number of nodes, stem diameter and number of plagiotropic branches, respectively, and reduced dry mass production and N accumulation in aerial part. Sources, N doses and leaf litter did not influence chlorophyll content; however, linear equations show increased chlorophyll content over time after nitrogen fertilization.

**Keywords:** Nitrogen, plant residues, NH<sub>3</sub> volatilization, decomposition.

## 1. INTRODUÇÃO

Um dos desafios no crescimento inicial de café arábica está relacionado com a adubação nitrogenada. Por ser o N um nutriente de baixa eficiência de aproveitamento (FERNANDES; BUZETTI, 2005; REICHARDT et al., 2009) devido a perdas por erosão, volatilização, desnitrificação e lixiviação (CANTARELLA, 2007), a adubação nitrogenada de plantio é um dos fatores que irão influenciar no crescimento inicial e desenvolvimento das mudas cafeeiras. Dessa forma, a fonte e dose de N a serem aplicadas no plantio devem proporcionar bom desenvolvimento inicial após o pegamento das mudas, já que o N é o nutriente mais exigido pelo cafeeiro (NETO et al., 2015; REICHARDT et al., 2009; SCHIAVINATTI, et al., 2011).

O fornecimento adequado de N promoverá desenvolvimento rápido da planta e rendimentos mais elevados em grãos de café (FENILLI et al., 2007; REIS et al., 2011). Apesar do acentuado incremento na produtividade, a recomendação de N para o plantio é dificultada, considerando as interações que levam a elevadas perdas. Uma das interações do adubo nitrogenado é com a serapilheira cafeeira, que pode imobilizar parte do adubo aplicado (REICHARDT et al., 2009) ou proporcionar barreira física e reduzir as perdas de N por volatilização da  $\text{NH}_3$  proporcionando maior absorção de N e desenvolvimento da cultura.

A ureia, principal fertilizante nitrogenado utilizado no Brasil, apresenta como principal desvantagem a volatilização da  $\text{NH}_3$  (FARIA et al., 2014; RIBEIRO et al., 2016 a; SOARES; CANTARELLA; MENEGALI, 2012). No clima tropical brasileiro, as perdas por volatilização da  $\text{NH}_3$  com a fonte ureia variam de 20 a 30% do N aplicado, entretanto, perdas de 60% do N aplicado por volatilização da  $\text{NH}_3$  foram relatadas para a ureia (SOARES; CANTARELLA; MENEGALI, 2012).

A redução das perdas de N por volatilização da  $\text{NH}_3$  pode ocorrer com o uso de fertilizantes nitrogenados estabilizados com inibidor de urease NBPT (N-n-butil tiofosfórico triamida) e Cu e B (BERNARDI et al., 2014; FARIA et al., 2014; NASCIMENTO et al., 2013; RODRIGUES et al., 2016). Inibidores de urease têm

demonstrado bons resultados na redução da volatilização da amônia (CANTARRELA et al., 2008; RIBEIRO et al., 2016 a, RODRIGUES et al., 2016; SOARES; CANTARELLA, H; MENEGALI; 2012) impactando em maior crescimento de mudas (GARCIA et al., 2011; MENDONÇA et al., 2007) e em aumento de produtividade de culturas (FRAZÃO et al., 2014; KANEKO et al., 2013; RATKE et al., 2011; SCHIAVINATTI et al., 2011; SCIVITTARO et al., 2010; SILVA et al., 2011).

Em relação à ureia, o uso de inibidor de urease NBPT proporcionou aumento de 18% da massa seca e 32 % no acúmulo de N na parte aérea de mudas de cafeeiros da cultivar Acaia IAC 474-19 aos 285 dias após plantio (GARCIA et al., 2011). Entretanto, Ribeiro et al (2016b) verificaram que a ureia comum proporcionou maior teor e acúmulo de N em relação a ureia+NBPT.

Em 2016, foram cultivados 150 mil hectares de café arábica no Estado do Espírito Santo (ES), os quais proporcionaram 3.932.100 sacas beneficiadas, colocando o ES como terceiro maior produtor brasileiro de café arábica (CONAB, 2017). Entretanto, muitas lavouras de produção de café arábica no ES são antigas e possuem baixa produtividade, necessitando da renovação das lavouras cafeeiras para proporcionar maior produtividade da cultura (ESPÍRITO SANTO, 2008). Assim sendo, a serapilheira presente em lavouras antigas associada aos fertilizantes inibidores de urease podem favorecer o crescimento inicial do cafeeiro durante a renovação do cafezal. Se essa hipótese for confirmada será de grande benefício aos cafeicultores, uma vez que terá maior aproveitamento do adubo pela cultura.

Diante do exposto, o objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito de adubos nitrogenados com inibidores de urease juntamente com a presença e ausência de serapilheira foliar cafeeira sobre parâmetros biométricos, teor e acúmulo de N, atividade da urease foliar e % de clorofila no crescimento inicial do cafeeiro arábica.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi realizado em casa de vegetação da área experimental do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCAUE-UFES) (Figura 1). O experimento foi conduzido durante os meses de março a agosto de 2016, totalizando 180 dias de avaliação.

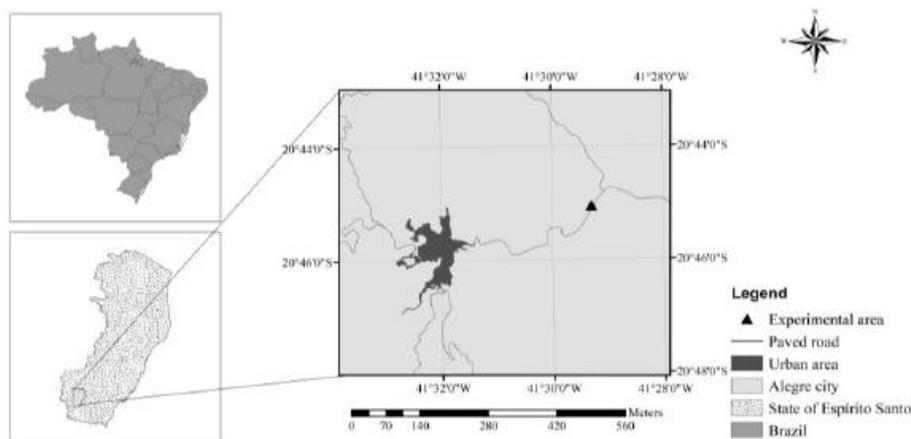


Figura 1- Localização da área de estudo. Fonte: Ribeiro et al (2016 b).

Foram utilizadas amostras do horizonte A de um Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média, coletadas na área experimental do CCAUE-UFES (solo característico da região). As amostras de solo foram secas ao ar e passadas em peneira de 2 mm de abertura de malha, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA).

Antes da montagem do experimento, a calagem foi realizada elevando-se a saturação por bases (V) a 60% utilizando-se, o método da saturação por bases (PREZOTTI et al., 2007). Foi utilizado o carbonato de cálcio P.A com PRNT de 100% para correção do pH do solo. O solo ficou incubado por 30 dias, sendo a umidade mantida constante durante esse período de incubação a 60 % do VTP (Volume Total de Poros). Após término deste período, as amostras foram novamente secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2,0 mm, para nova obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). A caracterização física e química do solo encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização química e física do Horizonte A de um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) coletado na profundidade de 0-20 cm em Alegre- ES.

Análise química	Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA)
-----------------	----------------------------------

<sup>1</sup> pH em água (1:2,5)	5,54
<sup>2</sup> Al trocável (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,18
<sup>3</sup> Fósforo (mg dm <sup>-3</sup> )	2,37
<sup>3</sup> Potássio (mg dm <sup>-3</sup> )	178
<sup>2</sup> Cálcio (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,70
<sup>2</sup> Magnésio (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0.69
<sup>4</sup> H + Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	3.57
SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1.86
CTC(t) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2.04
CTC(T) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	5.43
<sup>5</sup> Carbono orgânico (g kg <sup>-1</sup> )	17,43
<sup>6</sup> Nitrogênio total (g kg <sup>-1</sup> )	1,29
<b>Análise granulométrica</b>	
<sup>7</sup> Areia (dag kg <sup>-1</sup> )	67,91
<sup>7</sup> Silte (dag kg <sup>-1</sup> )	3,84
<sup>7</sup> Argila (dag kg <sup>-1</sup> )	28,25
Classe textural	Média

<sup>1</sup> Relação solo água 1:2,5; <sup>2</sup> Extrator KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; <sup>3</sup> Extrator Mehlich<sup>-1</sup>; <sup>4</sup> Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup> - pH 7, 0; <sup>5</sup> Yeomans e Bremner (1988); <sup>6</sup> Tedesco (1995); <sup>7</sup> Método da pipeta (Embrapa et al., 2017).

O experimento foi montado em um esquema de parcela subdividida 3x5x2x2. As parcelas foram constituídas de 3 fontes de N: ureia comum (UC), ureia +NBPT (U+NBPT) e ureia+Cu+B (U+Cu+B) e 5 doses (120, 200, 280, 360, 440 mg dm<sup>-3</sup> de N, equivalentes a 1,2; 2,0; 2,8; 3,6, 4,8 g vaso<sup>-1</sup> de N), as subparcelas da presença e ausência de serapilheira e subsubparcela de 2 épocas de avaliação (90 e 180 dias). O delineamento experimental foi em blocos casualizados com três repetições totalizando 180 unidades experimentais.

Mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) da cultivar IAC 144 foram plantadas em vasos de plástico com capacidade de 10 dm<sup>3</sup> e dispostos em bancadas. A adubação com P, K e micronutrientes foi realizada para experimentos conduzidos em casa de vegetação, de acordo com Novais; Neves; Barros (1991), em todo o volume de solo e em única aplicação. Cada dose de N foi parcelada em 2 aplicações (50% +50%), sendo a 1ª aplicação após 20 dias do transplante e a 2ª aplicação 60 dias após a primeira aplicação.

A serapilheira utilizada no experimento foi coletada de lavoura de café arábica Catuai 44 com 5 anos de idade. Somente as folhas foram utilizadas. As folhas foram separadas, limpas com algodão úmido e secas em estufa a 50 °C por 72 horas. Foi utilizada uma quantidade de 36 g vaso<sup>-1</sup>, equivalente a 6 Mg ha<sup>-1</sup>.

A caracterização química e bioquímica da serapilheira encontra-se na Tabela 2. Os teores de C e N foram obtidos segundo método de Yeomans; Bremner (1988) e Tedesco (1995), respectivamente. Os teores de P, K, Ca e Mg da serapilheira foram obtidos por digestão em forno de micro-ondas e determinação segundo método de Silva (1999). Os polifenóis solúveis foram extraídos com metanol (50%) e determinados por colorimetria, utilizando-se o reagente de Folin-Denis (ANDERSON; INGRAM, 1996).

Foram determinados os teores de cinza, lignina e celulose presente, pelo método da fibra em detergente ácido (FDA) segundo van Soest; Wine (1968). Foram usados o ácido sulfúrico e o cetiltrimetil amônio bromídico (CTAB), eliminando amido e os compostos nitrogenados, restando, assim, a lignina, celulose e cinzas. A celulose foi destruída pelo ácido sulfúrico 72% e a lignina determinada por diferença de peso, subtraindo-se as cinzas pela queima a 550°C, em mufla (ANDERSON; INGRAM, 1996).

Tabela 2- Caracterização química e bioquímica da serapilheira foliar cafeeira.

C (%)	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	C/N	C/P
47,40	2,12	0,09	1,94	0,70	0,31	22,36	526,67
CL (%)	LG (%)	PP (%)	CZ (%)	LG/N	LG/PP	PP/N	(LG+PP)/N
34,50	39,90	6,60	0,76	18,82	6,05	3,11	21,93

C = carbono; N = nitrogênio; P = fósforo; K = potássio; Mg= magnésio; C/N= relação carbono/nitrogênio; C/P= relação carbono/fósforo; CL = celulose; LG = lignina; PP = polifenóis solúveis totais; CZ= cinzas; LG/N= relação lignina/ nitrogênio; LG/PP= relação lignina/polifenóis; PP/N= relação polifenóis/nitrogênio; (LG+PP)/N= relação (lignina+polifenóis)/ nitrogênio.

A irrigação dos vasos foi realizada diariamente de acordo com a necessidade, mantendo-se umidade constante para todos os vasos a 60% do VTP (Volume Total de Poros). O controle de plantas daninhas foi realizado manualmente e de pragas e doenças não precisou ser realizado.

Aos 90 e 180 dias após adubação foram obtidos os dados da altura da planta (cm) do solo até a gema apical, diâmetro do caule (mm) a 1 cm do solo, número total de folhas, número total de ramos plagiotrópicos e número total de nós.

Ao término de cada período de avaliação, as plantas foram seccionadas a 1 cm do solo, acondicionadas em sacos de papel e levadas à estufa de circulação forçada de ar à temperatura de 65°C até peso constante. Posteriormente foram trituradas em moinho e passadas em peneiras de 1 mm de malha. O teor de N total foi obtido digerindo-se 0,2 g do material seco, com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> mais mistura de digestão (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O) seguida de destilação Kjeldahl (TEDESCO et al., 1995). O acúmulo de N na parte aérea da planta foi calculado multiplicando-se o teor de N pelo respectivo valor da massa seca ( $A = MS \times T$ , em que A = acúmulo do nutriente; MS = peso da massa seca; e T = teor de N).

Também, foi determinada a atividade da urease segundo metodologia adaptada de Hogan et al (1983) e Mc Cullough (1967) baseada na medida de amônia derivada da hidrólise enzimática da ureia produzida no tecido vegetal. A % de clorofila foi determinada aos 2, 4, 8, 16, 32, 64 e 128 dias após a adubação utilizando-se o medidor portátil de clorofila clorofiLOG ® 1030.

Para os atributos biométricos do solo, massa seca, teor e acúmulo de N e atividade da urease foliar, os resultados foram submetidos a análise de variância e teste de média utilizando-se o programa estatístico Sisvar (FERREIRA, 2007). Já para % de clorofila, os resultados foram submetidos à análise de variância e regressão utilizando-se o programa estatístico Sisvar (FERREIRA, 2007).

### **3. RESULTADOS**

#### **3.1. Atributos Biométricos**

As interações não demonstraram significância para todos os atributos biométricos avaliados. Contudo, os efeitos foram observados de forma isolada.

A altura da planta de cafeeiro não variou em função das fontes e doses de N, entretanto, a presença de serapilheira e a época após adubação influenciaram na altura do cafeeiro (Tabela 3). Sob presença de serapilheira, as plantas de cafeeiro apresentaram altura média de 41,7 cm, já na ausência de serapilheira a altura média foi de 45,9 cm. Semelhantemente, aos 180 dias após adubação as plantas apresentaram altura de 50,3 cm, valor superior em 13 cm em relação à época de 90 dias após a adubação (Tabela 3).

Em relação ao número de nós, ocorreu efeito das fontes, presença de serapilheira e época após a adubação (Tabela 3). A fonte que proporcionou maior número de nós foi a U+NBPT com valor médio de 12,4 nós. Sob presença de serapilheira, houve redução de 0,4 unidades no número de nós em relação ao tratamento sem serapilheira. Em relação à época após a adubação, aos 90 dias, as plantas de cafeeiro apresentaram média de 10,8 nós, já aos 180 dias a quantidade média de nós foi de 13,4 unidades (Tabela 3).

As fontes e doses não interferiram no diâmetro de caule (Tabela 3). Por outro lado, a presença de serapilheira (média=6,93 mm) proporcionou redução do diâmetro do caule em relação à ausência de serapilheira (média= 7,74 mm). Já para a época após adubação, verificou-se que aos 90 dias o diâmetro do caule foi de 5,65 mm e aos 180 dias de 9,02 mm (Tabela 3).

As doses, presença de serapilheira e época após a adubação influenciaram no número de ramos plagiotrópicos. O aumento da dose de N proporcionou redução do número de ramos plagiotrópicos, sendo a equação de melhor ajuste  $y = -0,517x + 8,06$  ( $R^2=90,3\%$ ). Sob presença de serapilheira, as plantas de cafeeiro apresentaram em média 5,6 ramos plagiotrópicos, já na ausência de serapilheira, o número de ramos plagiotrópicos foi de 7,5 unidades. Em relação à época após adubação, aos 90 dias, o número médio de ramos plagiotrópicos foi de 3,9, já aos 180 dias após adubação, o número de ramos plagiotrópicos foi de 9,2 unidades.

O número de pares de folhas não foi influenciado pelas fontes e doses de N, contudo, a presença de serapilheira e época após adubação influenciaram nesta variável. A presença de serapilheira reduziu o número de pares de folhas em média de 5,1 unidades em relação à ausência de serapilheira. Aos 90 dias após a adubação as plantas de cafeeiro apresentaram média de 13,3 pares de folhas, já aos 180 dias, a quantidade média de pares de folhas foi de 24,8 (Tabela 3).

Tabela 3: Altura da planta, número de nós, diâmetro do caule, número de ramos plagiotrópicos e pares de folhas após aplicação das fontes e doses de N na presença e ausência de serapilheira e nas épocas de avaliação aos 90 e 180 dias.

	Fonte de N			Serapilheira		Época (dias)	
	UC	U+NBPT	U+Cu+B	Presença	Ausência	90	180
Altura (cm)	44,2 <sup>ns</sup>	43,6 <sup>ns</sup>	43,7 <sup>ns</sup>	41,7 b	45,9 a	37,3 b	50,3 a
CV	9,84			3,97		5,78	
Número de Nós	12,1 ab	12,4 a	11,9 b	11,9 b	12,3 a	10,8 b	13,4 a
CV	5,25			3,74		5,05	
Diâmetro do caule (mm)	7,3 <sup>ns</sup>	7,2 <sup>ns</sup>	7,4 <sup>ns</sup>	6,93 b	7,74 a	5,65 b	9,02 a
CV	10,18			2,17		6,65	
Número de ramos plagiotrópicos	6,20 <sup>ns</sup>	6,60 <sup>ns</sup>	6,93 <sup>ns</sup>	5,6 b	7,5 a	3,9 b	9,20 a
CV	23,39			8,84		12,71	
Número de pares de folha	18,6 <sup>ns</sup>	19,3 <sup>ns</sup>	19,8 <sup>ns</sup>	17,2 b	21,3 a	13,7 b	24,8 a
CV	17,74			12,09		15,52	

Médias seguidas por mesma letra não diferem em 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey. ns significa que a análise de variância não foi significativa. Ureia Comum (UC), Ureia+NBPT (U+NBPT) e Ureia+Cu+B (U+Cu+B).

### Massa seca, teores e acúmulo de N

Verificou-se que as fontes e doses de N não influenciaram na produção de massa da parte aérea. Entretanto, a presença de serapilheira proporcionou redução da massa seca da parte aérea (massa seca= 23,74 g) em relação à ausência de serapilheira (massa seca= 31,79 g) (Figura 2). Além disso, a época após adubação também influenciou na produção de massa seca, sendo que aos 90 e 180 dias, a massa seca foi de 18,03 e 37,50 gramas planta<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 2).

As fontes, doses, presença ou ausência de serapilheira e época após a adubação influenciaram nos teores de N da parte aérea da planta. Verificou-se que U+NBPT foi a fonte que proporcionou maior teor de N (32,66 g kg<sup>-1</sup>), já a UC proporcionou menor teor de N (30,74 g kg<sup>-1</sup>) (Figura 2). O aumento da dose de N proporcionou

incremento nos teores de N na planta, sendo a equação de melhor ajuste  $y=0,90x^*+29,19$  ( $R^2=86,4$ ). Em relação à serapilheira, esta promoveu aumento nos teores de N da parte aérea em  $1,5 \text{ g kg}^{-1}$  em relação à ausência de serapilheira (Figura 2). Já para a época, aos 180 dias o teor de N foi superior em relação aos 90 dias (Figura 2).

Semelhantemente ao ocorrido para massa seca, as doses e fontes de N não influenciaram no acúmulo de N na parte aérea. Contudo, a presença da serapilheira (acúmulo= $784,56 \text{ mg planta}^{-1}$  de N) reduziu o acúmulo de N na parte aérea, já que a serapilheira promoveu grande inibição da produção de massa seca (Figura 2). Para a época após a adubação, verificou-se aumento no acúmulo de N aos 180 dias quando comparado aos 90 dias (Figura 2).

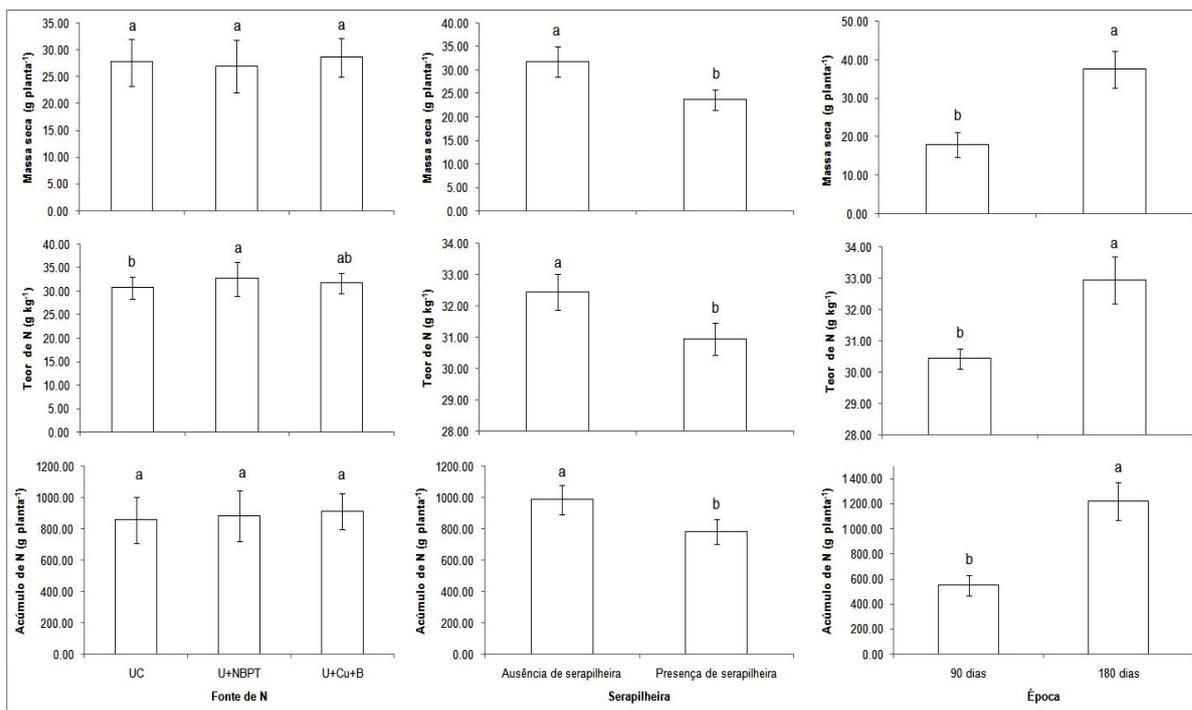


Figura 2 - Média da produção de massa seca, teor e acúmulo de N da parte aérea de cafeeiros IAC 144 influenciados pelas fontes de N, presença e ausência de serapilheira e época após adubação. Médias seguidas por mesma de letra não diferem em 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey. Ureia Comum (UC), Ureia+NBPT (U+NBPT) e Ureia+Cu+B (U+Cu+B). Barras representam o desvio padrão.

### 3.2. Atividade da urease foliar

Os valores da atividade da urease foliar variaram com as fontes de fertilizantes nitrogenados, da serapilheira e da época após adubação (Figura 3). A U+NBPT foi a

fonte que proporcionou maior atividade da enzima urease na folha ( $21,29 \mu\text{g N-NH}_4^+ \text{L}^{-1}$ ) (Figura 3). Em relação à dose, verificou-se que seu aumento proporciona aumento na atividade da enzima urease, sendo a equação de melhor ajuste  $y=2,13x^* + 13,08$  ( $R^2=63,6$ ). Já em relação à serapilheira, sua presença proporcionou aumento na atividade da enzima urease ( $20,54 \mu\text{g N-NH}_4^+ \text{L}^{-1}$ ) em relação à ausência de serapilheira ( $18,03 \mu\text{g N-NH}_4^+ \text{L}^{-1}$ ) (Figura 3). Quanto à época, aos 180 dias após adubação ( $23,2 \mu\text{g N-NH}_4^+ \text{L}^{-1}$ ) a atividade da urease foliar foi superior em relação aos 90 dias ( $15,4 \mu\text{g N-NH}_4^+ \text{L}^{-1}$ ) (Figura 3).

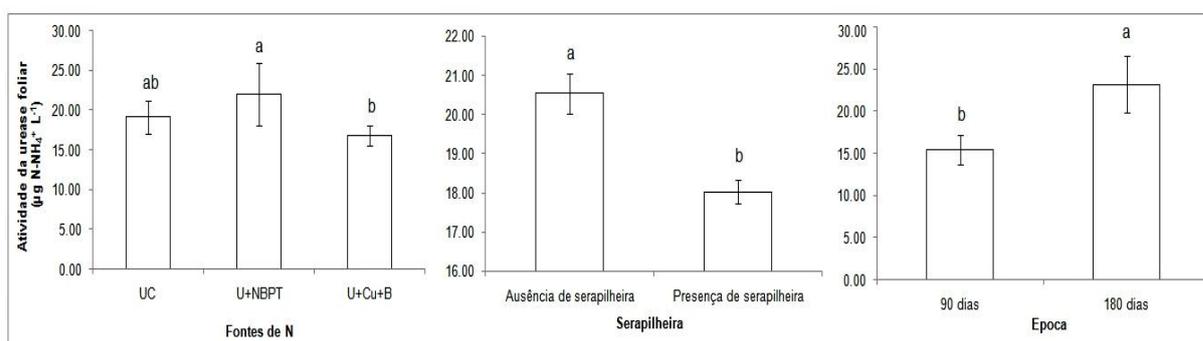


Figura 3- Atividade da urease foliar de cafeeiro IAC 144 influenciado pelas fontes de N, ausência e presença de serapilheira e época após adubação. Médias seguidas por mesma letra não diferem entre si em 5 % de significância pelo teste de Tukey. Ureia Comum (UC), Ureia+NBPT (U+NBPT) e Ureia+Cu+B (U+Cu+B). Barras representam o desvio padrão.

### 3.3. Clorofila A, B e total

Em relação a % de clorofila A, B e total as fontes, doses de N e a presença de serapilheira não influenciaram nestas variáveis (Figura 4). As fontes de N proporcionaram teores de clorofila A, B e total entre 36,96 a 37,10 %; 23,57 a 24,29 % e 60,7 a 61,87 %, respectivamente (Figura 4).

De modo semelhante, sob presença e ausência de serapilheira, os teores de clorofila foram respectivamente: 36,97 e 37,09% para clorofila A, 23,69 e 24,24 % para clorofila B e 61,03 e 61,67 % para clorofila total (Figura 4). Contudo, a época após a adubação demonstrou influenciar nos teores de clorofila A, B e total com melhores ajustes a equações lineares (Figura 4). As equações ajustadas demonstram que há aumento nos teores de clorofila ao longo do tempo após realização de adubação nitrogenada.

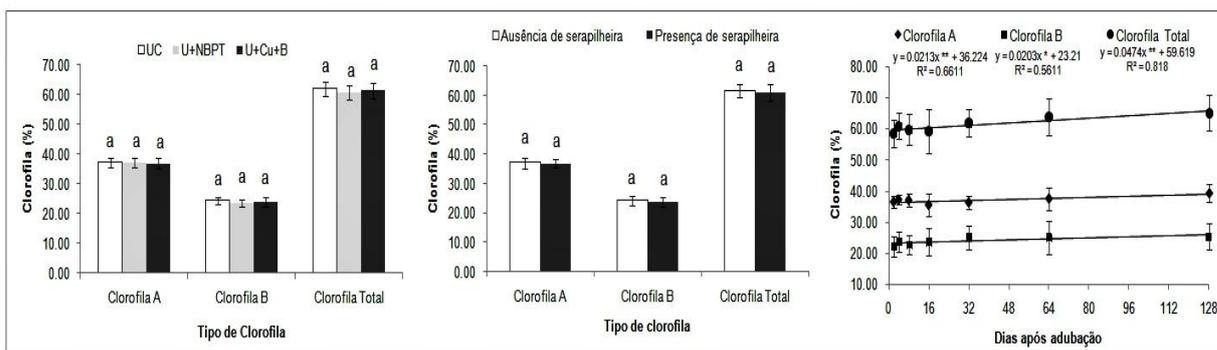


Figura 4- Média dos teores de clorofila A, clorofila B e clorofila total em folhas de cafeeiros IAC 144 influenciados pelas fontes de N, presença e ausência de serapilheira e dias após adubação nitrogenada. Médias seguidas por mesma de letra não diferem em 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey. ns: análise de variância não significativa. Ureia Comum (UC), Ureia+NBPT (U+NBPT) e Ureia+Cu+B (U+Cu+B). Barras significam desvio padrão da média.

#### 4. DISCUSSÃO

A falta de influência das fontes e doses de N na altura da planta, diâmetro do caule e número de folhas demonstra que, independente da fonte, a dose de  $1,2 \text{ g vaso}^{-1}$  de N ( $120 \text{ mg dm}^{-3}$  de N) é suficiente para promover rápido crescimento inicial do cafeeiro. Além disso, o aumento da dose de N proporcionou redução do número de ramos plagiotrópicos que, pela equação  $y = -0,517x + 8,06$  ( $R^2 = 90,3 \%$ ) passaria de 7,4 na dose  $1,2 \text{ g vaso}^{-1}$  de N para 5,5 na dose  $4,8 \text{ g vaso}^{-1}$  de N.

O aumento da dose de N na adubação inicial de lavouras cafeeiras adensadas é uma prática comum utilizada por muitos cafeicultores (BRAGANÇA et al., 2009). Segundo os autores, o aproveitamento dos adubos nitrogenados aplicados em plantios adensados não estaria sendo considerado, caracterizando uma desnecessária perda de recursos.

Do total de N acumulado na planta, aproximadamente 29% são alocados nas folhas; 24% no tronco+ramos ortotrópicos; 20% nas raízes; 17% nos frutos e 10% nos ramos plagiotrópicos (BRAGANÇA et al., 2008). Dessa forma, a dose de  $1,2 \text{ g vaso}^{-1}$  de N é suficiente para proporcionar bom crescimento inicial das mudas cafeeiras.

Vale ressaltar que a aplicação de doses superiores a  $1,2 \text{ g vaso}^{-1}$  de N em condições de laboratório está configurando excesso de adubação e

consequentemente, maior perda de adubo aplicado. A recomendação da dose de N em condições de campo para café arábica após o pegamento das mudas é de 3 a 5 g cova<sup>-1</sup> (GUIMARÃES et al., 1999). Entretanto, muitos cafeicultores, principalmente em sistemas adensados, têm tendência de aplicar altas doses de N, o que representa desperdício de adubo e recursos financeiros (BRAGANÇA et al., 2009). Diferentemente da presente pesquisa, em condições de campo, maior número de ramos plagiotróficos e número de nós foram obtidos para cafeeiro Rubi MG 1192 com o aumento da dose de N aplicado via ureia tanto em sistema irrigado quanto sem irrigação (NAZARENO et al., 2003).

As doses de 1,2 g vaso<sup>-1</sup> de N em todas as fontes foram suficientes para proporcionar altas produções de massa seca da parte aérea em relação às demais doses. Considerando as fontes, foram produzidos 27,77; 27,00 e 28,57 g para ureia comum, ureia+NBPT e ureia+Cu+B, respectivamente, não havendo diferença estatística entre essas médias. Diferentemente, a ureia+NBPT em comparação a ureia comum, proporcionou aumento de 18% na massa seca da parte aérea para cafeeiro Acaia IAC 474-19 (GARCIA et al., 2011). Para o trigo, aumentos lineares na produção de massa seca ocorreram com o aumento das doses de ureia+NBPT em relação à ureia comum (ESPÍNDULA et al., 2013). Já em Ribeiro et al (2016 b), a ureia associada com material orgânico e NBPT proporcionou menor massa seca da parte aérea quando comparada à ureia associada somente a material orgânico.

Os teores foliares de N proporcionados pelos inibidores de urease NBPT (32,66 g kg<sup>-1</sup>) foram superiores em relação à ureia comum (30,74 g kg<sup>-1</sup>) corroborando com Garcia et al. (2011), que também obtiveram maior teor de N na planta com ureia+NBPT em relação à ureia.

Pesquisa realizada por Espíndula et al. (2014) demonstrou concentração semelhante de N em folhas bandeira de trigo quando usadas as fontes ureia+NBPT e ureia comum em dose única na semeadura, entretanto, quando utilizadas essas fontes em doses parceladas e em cobertura (condição favorável à volatilização), foi verificada maior concentração de N foliar com o uso da fonte ureia + NBPT. Frazão

et al. (2014) também verificaram que adubação em cobertura com ureia com inibidor de urease favoreceu a obtenção de maior teor de N em folhas de milho.

Quanto à serapilheira, sua presença influenciou na redução de todos os atributos biométricos avaliados, não sendo recomendada sua utilização junto ao cafeeiro na fase inicial de crescimento após pegamento das mudas. Na presença de serapilheira, em relação à sua ausência, a redução foi de 9,1; 3,3; 10,5 e 19,3 % na altura, número de nós, diâmetro do caule e número de ramos plagiotrópicos, respectivamente.

Apesar de a serapilheira proporcionar barreira física e reduzir a volatilização de amônia e a evaporação da água do solo, o efeito negativo de sua utilização pode ser devido à liberação de aleloquímicos pela palhada em decomposição que inibem o desenvolvimento de culturas (FRANÇA et al., 2007). Resíduos de muitas espécies interferem no desenvolvimento do cafeeiro a exemplo do resíduo de milho incorporado ao solo, afetando o desenvolvimento de mudas de café cultivadas em sucessão (FRANÇA et al., 2007; SANTOS; SOUZA; ALVES, 2003).

Um dos aleloquímicos liberados da serapilheira é o alcaloide cafeína. A cafeína é um importante inibidor de crescimento, podendo acumular-se no solo junto ao cafeeiro, sendo fitotóxico às radículas de plantas jovens da própria espécie (WALLER et al., 1986). Segundo os autores, o cafeeiro é uma planta que apresenta autotoxicidade, ou seja, autoalelopatia. Isto justifica o fato de sementes de café presentes no solo não germinarem após a colheita do cafeeiro. Além da própria autoalelopatia da cultura, a cafeína liberada da decomposição da serapilheira inibiu o crescimento inicial do cafeeiro no presente estudo.

Os aloquímicos possuem propriedades reguladoras de crescimento que inibem, por exemplo, o crescimento das raízes (SANTOS; SOUZA; ALVES, 2003). Esses autores relataram redução de 20,6% da área foliar acumulada e 24% na altura de plântulas de cafeeiro que foram plantadas sobre palhada de milho comparadas à

testemunha plantada sem a palha de milho. Dessa forma, o plantio de mudas cafeeiras sob resíduos vegetais e serapilheira cafeeira deve ser evitado.

Maior atividade da urease foliar foi verificada pela fonte U+NBPT na dose de 4,8 g planta<sup>-1</sup>. Esse dado demonstra que o inibidor de urease aplicado ao solo reduz a perda de N por volatilização e a maior quantidade de N absorvido pelo cafeeiro influencia na atividade da enzima na folha. A ureia na planta pode ser formada pelo metabolismo de ureídeo, alantoato e alantoína (BAI; RELLY; WOOD, 2006). Contudo, o excesso de ureia na planta pode provocar necrose foliar, o que leva a perda de área fotossintética e menor produtividade, tendo a planta grande dependência da enzima urease, uma vez que grande parte do N utilizado pela planta se dá via ureia, o qual é reciclado pela enzima urease (POLLACCO et al., 2013).

A economia de N pela planta é altamente dependente da hidrólise da ureia, a qual é prejudicada sob condições de baixa disponibilidade de N inorgânico (BAI; RELLY; WOOD, 2006). Segundo os autores, a baixa disponibilidade de N inorgânico para a enzima urease ocasiona diminuição no metabolismo do N, acúmulo de ureia e redução na quantidade de aminoácidos a serem produzidos. Além do N inorgânico, a urease também é dependente do níquel, auxiliando na reciclagem do N a partir da ureia (POLACCO; MAZZAFERA; TEZOTTO, 2013, REIS et al., 2011).

Em condições de campo, Neto et al. (2015), em cafeeiro arábica do oeste baiano verificaram que a dose de ureia e a fenologia do cafeeiro interferem na atividade da enzima urease foliar. Segundo os autores, a maior atividade da enzima foi verificada na fase de granação do cafeeiro e na maior dose de N aplicada (800 kg ha<sup>-1</sup>).

Para os teores de clorofila, fontes e doses de N não interferiram nos teores, o que demonstra que a dose 1,2 g vaso<sup>-1</sup> de N é considerada adequada para proporcionar bons teores de clorofila para o crescimento inicial do cafeeiro. Apesar da redução dos parâmetros biométricos proporcionada pela presença de serapilheira, esta não influenciou nos teores de clorofila foliar do cafeeiro.

O que influenciou nos teores de clorofila A, B e total foram as épocas de avaliação após adubações nitrogenadas. Apesar do efeito isolado da época, as adubações feitas aos 20 dias após o plantio (1ª parcela) e aos 60 dias após a 1ª aplicação (2ª parcela) incrementaram nos teores de clorofila A, B e total. Esse efeito não foi verificado por Oliosí et al. (2017) em estudo de campo com cafeeiro conilon Vitória Incaper 8142. Os autores verificaram que ao longo das datas de avaliação ocorreu alternância de aumento e diminuição nos teores de clorofila total. Entretanto, assim como na presente pesquisa, as fontes ureia, ureia+NBPT e ureia+Cu+B não diferiram os teores de clorofila total foliar.

A ausência de N reduz a biossíntese de clorofila e a área foliar, diminuindo, a absorção e utilização da luz solar como fonte de energia para realizar funções essenciais como a absorção de nutrientes (REIS et al., 2006). Neste sentido, é possível inferir que a variação na concentração de N na folha altere os teores de clorofila neste órgão vegetal. Assim sendo, torna-se de grande importância que o cafeicultor faça o uso do adubo nitrogenado após pegamento das mudas no plantio, independente da fonte a ser utilizada.

## **5. CONCLUSÕES**

Independente da fonte avaliada, a dose de 1,2 g vaso<sup>-1</sup> de N foi suficiente para proporcionar altura da planta, diâmetro do caule, número de nós, pares de folhas e ramos plagiotrópicos iguais às demais doses.

A menor dose de N (1,2 g vaso<sup>-1</sup> de N) em todas as fontes avaliadas foi suficiente para promover os maiores ganhos de massa seca da parte aérea. Entretanto, os maiores teores de N foliar foram proporcionados pelos inibidores NBPT.

A ureia+NBPT foi o tratamento que proporcionou maior atividade da enzima urease na folha.

A serapilheira foliar cafeeira deve ser trabalhada de forma a não limitar a disponibilidade de N para a planta, visto que sua presença proporcionou redução dos parâmetros fitotécnicos do cafeeiro.

Fontes, doses de N e a serapilheira não influenciaram os teores de clorofila das folhas, mas, equações lineares demonstraram aumento dos teores de clorofila ao longo do tempo após a adubação nitrogenada.

## 6. REFERÊNCIAS

ANDERSON, J. D.; INGRAM, J. S. I. 1996. Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods. 2.ed. Wallingford, UK CAB International, 171p.

BAI, C.; RELLY, C. C.; WOOD, B. W. Nickel deficiency disrupts metabolism of ureides, amino acids, and organic acids of young pecan foliage. **Plant Physiology**, v.140, p. 4330-443, 2006.

BERNARDI, A. C. C. et al. A. Ammonia volatilization from soil, dry-matter yield, and nitrogen levels of Italian ryegrass. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.45, n.2, p.153-162, 2014.

BRAGANÇA, S. M. et al. Accumulation of macronutrients for the Conilon coffee tree. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 31, n. 1, p. 103-120, 2008.

BRAGAÇA, S. M. et al. Resposta do cafeeiro conilon à adubação de NPK em sistemas de plantio adensado. **Coffee Science**, v.4, p.67-75, 2009.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. Fertilidade do Solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.

CANTARELLA, H. et al. A. Ammonia volatilisation from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. **Scientia Agricola**, v.65, n.4, p.397-401, 2008.

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17\\_01\\_17\\_14\\_51\\_54\\_boletim\\_cafe\\_-\\_janeiro\\_de\\_2017.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_01_17_14_51_54_boletim_cafe_-_janeiro_de_2017.pdf). Acesso: 17/05/2017.

ESPÍRITO SANTO (Estado). Secretaria de Estado da Agricultura, Abastecimento, Aquicultura e Pesca. Plano estratégico de desenvolvimento da agricultura capixaba novo Pedagog 2007-2025 – região do Caparaó. Vitória, 2008, 284p.

ESPÍNDULA, M. C. et al. Rates of urea with or without urease inhibitor for topdressing wheat. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v.73, p.160-167, 2013.

ESPÍNDULA, M. C. et al. Urease inhibitor (NBPT) and efficiency of single or split application of urea in wheat crop. *Revista Ceres*, Viçosa, v.61, n.2, p.273- 279, 2014.

FARIA, L. A. et al. Hygroscopicity and ammonia volatilization losses from nitrogen sources in coated urea. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.38, n.3, p. 942-948, 2014.

FENILLI, T. A. B. et al. Growth, development and fertilizer N recovery for a coffee crop growing in Brazil. **Science Agricola**, v.64, p.541-547, 2007.

FERNANDES, F. C. S; BUZETTI, S. Efeito de níveis de nitrogênio na produtividade de seis cultivares de milho (*Zea mays* L.). **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, v.7, p.1-7, 2005.

FERREIRA, D. F. 2007. SISVAR software: versão 4.6. Lavras: UFLA/DEX. Software.

FRANÇA, A. C.; SOUZA, I. F.; ALVES, L. W. R.; LIMA, R. R.; OLIVEIRA, E. Q. efeitos de restos culturais de milho no desenvolvimento inicial de cafeeiros. *Scientia Agraria*, Curitiba, v.8, n.3, p.247-255, 2007.

FRAZÃO, J. J. et al. Fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada e uréia na cultura do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.12, p.1262-1267, 2014.

GARCIA, A. L. A. et al. Efeito da uréia com inibidor de urease no crescimento de mudas de cafeeiro (*coffea arabica* l.). **Coffee Science**, v.6, p.1-7, 2011.

GUIMARAES, P. T. G. et al. Sugestões de Adubação para Grandes Culturas Anuais ou Perenes: Cafeeiro. In: RIBEIRO, A. C. et al. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais –5ª aproximação. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999, p.289-302.

HOGAN, M. E.; SWIFT, I. E.; Done, J. Urease assay and ammonia release from leaf tissue. **Phytochemistry**, Oxford, v. 22, p. 663-665, 1983.

KANEKO, F. H. et al. Fontes e manejos da adubação nitrogenada em algodoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.43, p.57- 63, 2013.

McCULLOUGH, H. The determination of ammonia in whole blood by a direct colorimetric method. *Clinica Chimica Acta*, Amsterdam, v.17, n.2, p. 297-304, 1967.

MENDONÇA, V. et al. Fertilizante de liberação lenta na formação de mudas de maracujazeiro amarelo. **Ciência Agrotécnica**, v.31, p.344-348, 2007.

NASCIMENTO, C. A. C. et al. Ammonia volatilization from coated urea forms. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 4, p. 1057-1063, jul/ago. 2013.

NAZARENO, R. B. et al. Crescimento inicial do cafeeiro Rubi em resposta a doses de nitrogênio, fósforo e potássio e a regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.903-910, 2003.

NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A. J. et al. Métodos de pesquisa em fertilidade do solo. EMBRAPA-SAE, Brasília. pp.189-254, 1991.

OLIOSI, G. et al. Fluorescência transiente da clorofila a e crescimento vegetativo em cafeeiro conilon sob diferentes fontes nitrogenadas. **Coffee Science**, Lavras, v. 12, n. 2, p. 248 - 259, abr./jun. 2017.

POLACCO, J. C.; MAZZAFERA, P.; TEZOTTO, T. Opinion-Nickel and urease in plants: still many knowledge gaps. **Plant Science**, v.199-200, p.79-90, 2013.

PREZOTTI, L. C. et al. Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo – 5ª aproximação. Vitória-ES, SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305p.

RATKE, R. F. et al. Production and levels of foliar nitrogen in rocket salad fertilized with controlled-release nitrogen fertilizers and urea. **Horticultura Brasileira**, v.29, p.246-249, 2011.

REICHARDT, K. et al. Relação entre a adubação nitrogenada e as condições hídricas do solo para um cafezal de Piracicaba, SP. **Coffee Science**, Lavras, v.4, n.1, p.41-55, 2009.

REIS, A. R. et al. Influence of nitrogen fertilization on nickel accumulation and chemical composition of coffee plants during fruit development. **Journal Plant and Nutrition**, v.34, p.1853-1866, 2011.

REIS, A. R. et al. Diagnóstico da exigência em nitrogênio pela utilização do medidor portátil de clorofila. *Bragantia*, Campinas, v.65, n.1, p.163-171, 2006.

RIBEIRO, V. J. et al. Volatilization of ammonia in stabilized slow-release nitrogen fertilizer under controlled conditions. **Australian Journal of Crop Science**, v.10, n.6, p.793-798, 2016 a.

RIBEIRO, V. J. et al. Slow-release stabilized nitrogen fertilizers on initial development and nutrition of coffee plants (*Coffea arabica* L.). **Australian Journal**, v.10, p.497-502, 2016.

RODRIGUES, J. O. et al. Volatilização de amônia de uréias protegidas na cultura do cafeeiro Conilon. **Coffee Science**, v.11, n.4, p. 530 - 537, 2016.

SANTOS, C. C.; SOUZA, I. F.; ALVES, L. V. R. Efeitos de restos culturais de milho sobre o crescimento de plantas de cafeeiro (*Coffea Arabica* L.). **Ciência & Agrotecnologia**, v.27, n.5, p.991-1001, 2003.

SCHIAVINATTI, A. F. et al. Influência de fontes e modos de aplicação de nitrogênio nos componentes da produção e produtividade do milho irrigado no cerrado. **Bragantia**, v.70, p.925-930, 2011.

SCIVITTARO, W. B. et al. Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia e resposta do arroz irrigado à aplicação de ureia tratada com o inibidor de urease NBPT. **Ciência Rural**, v.40, p.1283-1289, 2010.

SILVA, D. R. G. et al. Productivity and efficiency of nitrogen fertilization in maize under different levels of urea and NBPT-treated urea. **Ciência & Agrotecnologia**, v.35, p.516- 523, 2011.

SILVA, F. C. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia / Rio de Janeiro: Embrapa Solos / Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 1999. p.171-223.

SOARES, J. R.; CANTARELLA, H.; MENEGALI, M. L. C. Ammonia volatilization losses from surface-applied urea with urease and nitrification inhibitors. **Soil Biology and Biochemistry**, v.52, p.82-89, 2012.

TEDESCO, M. J, et al. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 174 p, 1995.

van SOEST, P.; WINE, R. H. Development of a comprehensive system of feed analysis and its applications to forages. *J. Ass. Agri. Chem.*, 51:780-785, 1968.

WALLER, G. R. et al. Caffeine autotoxicity in *Coffea arabica*. L. New York: John Wiley. 1986, p. 243-269.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.19, p.1467-1476, 1988.

## CAPÍTULO 4

### ATRIBUTOS FÍSICOS E DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM SISTEMA CAFEIEIRO ADENSADO DA REGIÃO MONTANHOSA DO SUL DO ESPÍRITO SANTO

#### Resumo

O plantio adensado do cafeeiro é uma tecnologia que reduz a perda de nutrientes do solo por erosão, lixiviação e oxidação da matéria orgânica e proporciona aumentos de produtividade. Contudo, há poucas informações sobre o impacto do adensamento nos atributos químicos, físicos e biológicos de solos de região montanhosa do ES. O objetivo da presente pesquisa foi determinar o impacto do adensamento sobre os teores e estoques de COT e NT do solo, C e N da biomassa microbiana, matéria orgânica leve, labilidade da matéria orgânica do solo, as substâncias húmicas, densidade, porosidade, emissões de CO<sub>2</sub>, temperatura e umidade do solo da região montanhosa do Território do Caparaó - Espírito Santo. Os sistemas de manejo avaliados foram: cafeeiro não adensado (3105 plantas ha<sup>-1</sup>), cafeeiro adensado (8333 plantas ha<sup>-1</sup>) e mata secundária (sistema de referência). O manejo cafeeiro adensado e não adensado proporcionaram reduções de 42,4 e 32,6 % nos teores de COT e 37,0 e 29,6 % nos teores de NT na profundidade 0-10 cm, respectivamente. O manejo cafeeiro adensado obteve menor densidade do solo (1,24 g dm<sup>-3</sup>), maior macroporosidade (0,27 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>) e porosidade total (0,55 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>) em relação ao cafeeiro não adensado que apresentou 1,36 g cm<sup>-3</sup>, 0,19 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup> e 0,43 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup> na profundidade 0-10 cm, respectivamente. O adensamento proporcionou aumento da matéria orgânica leve em 52,2% e redução do carbono da biomassa microbiana em 39,7 % em relação ao cafeeiro não adensado na camada 0-10 cm. A média anual das emissões de CO<sub>2</sub> foi de 1,61; 1,16 e 0,95 μ mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> ou 22,34; 16,10 e 13,18 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> para mata secundária, café não adensado e adensado, respectivamente. Entretanto, o cafeeiro adensado apresentou quociente metabólico de 4,82 mg CO<sub>2</sub> /mg CBM, já a mata e o cafeeiro não adensado apresentaram 3,88 e 3,54 mg CO<sub>2</sub> /mg CBM, respectivamente. Épocas quentes e úmidas do ano

favorecem as emissões de CO<sub>2</sub> do solo, sendo o manejo do cafeeiro adensado o sistema de manejo que apresentou maior sensibilidade de aumento das emissões de CO<sub>2</sub> com aumento em 10° C na temperatura. Pela análise de componentes principais verificou-se que o adensamento da lavoura de café proporcionou melhores condições físicas do solo.

**Palavras-chave:** Café arábica, espaçamento, agricultura familiar, física do solo e carbono orgânico.

## CHAPTER 4

### PHYSICAL AND ORGANIC MATTER OF SOIL ATTRIBUTES IN COFFEE SYSTEM CONDENSED IN MOUNTAINOUS REGION OF SOUTH ESPÍRITO SANTO

#### Abstract

Condensed coffee-tree is a technology that provides reduction in the loss of nutrients by erosion, lixiviation and oxidation of the soil organic matter and increases productivity. However, there is little information on the impact of condensation in the chemical, physical and biological soil attributes in mountainous region in the ES. The objective of this study was to determine the effect of condensation on the contents and stocks of TOC and TN, C and N in the microbial biomass, light organic material, lability of soil organic matter, humic substances, density, porosity, emission of CO<sub>2</sub>, temperature and moisture of the soil in mountainous region of Caparaó Territory - Espírito Santo. The management systems evaluated were: not-condensation coffee-tree (3105 plants ha<sup>-1</sup>), condensation coffee-tree (8333 plants ha<sup>-1</sup>) and secondary forest (reference system). The condensation and not-condensation coffee-tree provided reductions of 42.4 and 32.6% in TOC contents and 37.0 and 29.6% in TN contents at depth of 0-10 cm, respectively. The management condensation coffee-tree obtained lower soil density (1.24 g dm<sup>-3</sup>), higher macroporosity (0.27 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>) and total porosity (0.55 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>) compared to the not-condensation coffee-tree that showed 1.36 g cm<sup>-3</sup>, 0.19 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup> and 0.43 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup> at depth of 0-10 cm, respectively. Condensation coffee-tree increased light organic matter by 52.2% and microbial biomass carbon reduction by 39.7% in relation to the not-condensation coffee-tree in the 0-10 cm layer. The annual average of CO<sub>2</sub> emissions was 1.61; 1.16 and 0.95 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> or 22.34; 16.10 and 13.18 Mg ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> of CO<sub>2</sub> for secondary forest, not-condensation and condensation coffee-tree, respectively. However, the condensation coffee-tree showed a metabolic quotient of 4.82 mg CO<sub>2</sub>/mg CBM, already secondary forest and non-condensation coffee-tree showed 3.88 and 3.54 mg CO<sub>2</sub>/mg CBM, respectively. Hot and humid seasons of the year

favor the CO<sub>2</sub> emissions of the soil, and the management condensation coffee-tree is the system that showed the highest sensitivity of increasing CO<sub>2</sub> emissions with a temperature increase of 10 °C. By the components principal analysis was verified that the condensation coffee-tree provided better soil physical conditions.

**Keywords:** Arabica Coffee, spacing, family agriculture, soil physical and organic carbon.

## 1. INTRODUÇÃO

A cafeicultura é uma atividade de elevada importância econômica e social no mundo e no Brasil (SIQUEIRA; SOUZA; PONCIANO, 2011). No Brasil, o Território do Caparaó do Estado do Espírito Santo possui 70% da renda agrícola originária da cafeicultura e 82% dos estabelecimentos agrícolas constituídos por agricultores familiares que são responsáveis pela geração de emprego na região (IBGE, 2009). Contudo, para a sustentabilidade agrícola, além da geração de emprego e renda, a cafeicultura necessita apresentar baixo impacto ambiental e melhorar na qualidade do solo.

O Território do Caparaó apresenta relevo ondulado a montanhoso, sendo o cafeeiro instalado nesta condição. Além disso, a cafeicultura nesta região se expandiu sob manejo convencional com o emprego de agrotóxicos, reduzido aporte de resíduos orgânicos e baixa população de plantas por hectare (GUIMARÃES et al., 2013). Nestas condições, as perdas de solo e água por erosão hídrica são acentuadas quando comparadas às perdas em relevo plano, levando a degradação do solo e do meio ambiente com consequente redução da capacidade produtiva (GUIMARÃES et al., 2015).

A produtividade da lavoura cafeeira é influenciada pelo número de plantas por hectare (PEREIRA et al., 2011; VALADARES et al., 2013). Assim sendo, a escolha correta do espaçamento é um ponto fundamental que deve ser considerado na implantação da lavoura, pois poderá acarretar em maior ou menor produtividade. Atualmente, o sistema de plantio adensado de café compreende espaçamentos que resultam em uma população cafeeira variando de 5 a 10 mil plantas por hectare, com tendência de adoção cada vez maior principalmente em pequenas propriedades presentes em relevo acidentado (AUGUSTO et al., 2006; VALADARES et al., 2014).

Dentre as vantagens dos plantios adensados destacam-se o melhor aproveitamento da água e nutrientes (GUARÇONI M. 2011), a minimização dos efeitos das altas temperaturas e maior umidade do solo (SCALCO et al., 2012). Além disso, com o

adensamento no plantio é possível obter o dobro da produtividade em relação a sistemas não adensados e retorno rápido dos investimentos da implantação do cafezal (BRAGANÇA et al., 2009).

As pesquisas em sistemas cafeeiros adensados estão, em sua maioria, relacionadas a incrementos de produtividades (AUGUSTO et al., 2006, PEREIRA et al., 2011, VALADARES et al., 2013) e reduções nas adubações, uma vez que a quantidade de N, P e K tende a reduzir por planta devido às alterações morfológicas e fisiológicas proporcionadas pelo adensamento (BRAGANÇA et al., 2009, GUARÇONI M. 2011, VALADARES et al., 2014). Assim sendo, há necessidade de verificar as alterações proporcionadas no solo pelos sistemas adensados a fim de prever a qualidade ambiental do solo e a sustentabilidade agrícola.

O adensamento é considerado um sistema conservacionista que protege o solo, diminuindo o processo erosivo (PROCHNOW et al., 2005) e as perdas de nutrientes por lixiviação e de matéria orgânica por oxidação, proporciona melhor manejo dos resíduos vegetais e aumento da ciclagem de nutrientes. Dessa forma, pode-se aumentar os estoques de matéria orgânica do solo, por meio do incremento dos compartimentos lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica do solo. Segundo Teodoro et al. (2003), a densidade populacional próxima de 6 mil plantas ha<sup>-1</sup> é ideal para aumentar os teores de matéria orgânica, nutrientes, reduzir a erosão e acarretar o aumento da produtividade.

O adensamento de plantio pode causar modificações em alguns fatores ligados ao manejo da cultura, como o aumento da quantidade de serapilheira e de raízes. Conseqüentemente, maior taxa de recuperação e ciclagem de nutrientes (GUARÇONI M. 2011) e o maior conteúdo de água no solo (SCALCO et al., 2012) poderão ocorrer. Essas novas condições podem aumentar os teores de nutrientes e matéria orgânica presentes no solo.

Partindo da hipótese que os sistemas cafeeiros adensados aumentam os teores, estoques e compartimentos da matéria orgânica do solo, bem como a atividade microbiana e emissão de CO<sub>2</sub> do solo em relação aos sistemas não adensados, o objetivo da presente pesquisa foi determinar o impacto do adensamento sobre os teores e estoques de C e N do solo, C e N da biomassa microbiana do solo, a matéria orgânica leve do solo, a labilidade da matéria orgânica do solo, as substâncias húmicas do solo, densidade e porosidade e as emissões de CO<sub>2</sub> do solo, temperatura e umidade do solo, em lavoura de café arábica implantada no Território do Carapaó Capixaba.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Caracterização das áreas de estudo e do material de solo

O estudo foi desenvolvido em uma propriedade cafeeira localizada no distrito de Celina, município de Alegre-ES. A propriedade possui 4,6 ha, sendo 0,7 ha cultivados com café arábica sob manejo adensado e 1 ha de café arábica sob manejo não adensado. A propriedade está localizada pelas coordenadas geográficas de 20°46'42" S, 41°36'48" W e altitude de 696 m.

Antes da implantação das lavouras cafeeiras adensada e não adensada a área foi ocupada aproximadamente por 50 anos com pasto de *Brachiaria decumbens*. Anteriormente à brachiaria, a área era ocupada por Mata Secundária com a presença de espécies pertencentes ao bioma Mata Atlântica, tais quais: embauba (*Cecropia pachystachya*), caviúna (*Machaerium scleroxylon*), papagaio (*Aegiphila integrifolia*), cinco folhas (*Penax quinquefolium*), etc.

Antes do plantio das mudas cafeeiras, covas com dimensões de 0,4 x 0,4 x 0,4 metros foram abertas manualmente e realizada uma adubação com ureia, fosfato natural e cloreto de potássio. O manejo realizado desde a implantação dos talhões adensado e não adensado constituiu de duas aplicações anuais do formulado N-P-K (20-05-20), superfosfato simples e calcário de dois em dois anos de acordo com

análise química do solo, controle de pragas e doenças quando necessário com uso de insumos agroquímicos externos a lavoura, controle de plantas espontâneas com roçadeira, colheita do café realizada de forma manual.

O talhão do café não adensado foi plantado no ano de 2006. Possui declividade de 33%, espaçamento de 2,3 x 1,4 metros ( $3.105 \text{ plantas ha}^{-1}$ ) com uma planta por cova da variedade Catuai 44 com idade da lavoura de 10 anos. A lavoura de café adensado foi plantada no ano de 2009. Possui declividade de 30 %, espaçamento de 2 x 0,6 metros ( $8.333 \text{ plantas ha}^{-1}$ ), com uma planta por cova da variedade Catuai 44, com idade da lavoura de 7 anos.

Os tratamentos avaliados consistiram de dois sistemas de manejo, adensado (ADEN) e não adensado (NADEN) em quatro replicatas para cada sistema. Como referência para a comparação dos dados, foi coletada amostra de solo de áreas de Mata Secundária próxima à lavoura.

## 2.2. Amostragem de solo e preparo das amostras

No terço médio de cada área dos diferentes sistemas de manejo foi demarcado um talhão de aproximadamente 0,25 ha. Cada talhão apresentou 4 replicatas. Cada replicata foi constituída por 5 linhas cafeeiras, tendo cada linha 10 plantas. As amostragens foram realizadas em 04/2016 na projeção da copa cafeeira onde foi aberta uma trincheira e feita a coleta de amostras deformadas e indeformadas nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-40 cm. No fragmento de mata, próximo aos locais de coleta, foram abertas 4 trincheiras e realizado o mesmo procedimento de amostragem da área cafeeira.

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico. As características físicas e químicas estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1- Caracterização química e física de um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) sob Mata Secundária coletado no distrito de Celina, município de Alegre- ES.

Análise química	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm
-----------------	---------	----------	----------

<sup>1</sup> pH em água (1:2,5)	4,98	4,88	4,72
<sup>2</sup> Al trocável (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,30	1,00	1,10
<sup>3</sup> Fósforo (mg dm <sup>-3</sup> )	0,26	0,23	0,16
<sup>3</sup> Potássio (mg dm <sup>-3</sup> )	29,00	18,50	13,50
<sup>2</sup> Cálcio (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,33	0,16	0,18
<sup>2</sup> Magnésio (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,16	0,12	0,09
<sup>4</sup> H + Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	16,55	15,15	14,75
SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,56	0,33	0,31
CTC(t) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,86	1,33	1,41
CTC(T) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	17,12	15,48	15,06
Análise granulométrica			
<sup>5</sup> Areia (dag kg <sup>-1</sup> )	39	46	38
<sup>5</sup> Silte (dag kg <sup>-1</sup> )	9	7	7
<sup>5</sup> Argila (dag kg <sup>-1</sup> )	52	47	55
Classe textural	Argilosa	Argilosa	Argilosa

<sup>1</sup> Relação solo água 1:2,5; <sup>2</sup> Extrator KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; <sup>3</sup> Extrator Mehlich<sup>-1</sup>; <sup>4</sup> Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup> - pH 7, 0; <sup>5</sup> Método da pipeta (Embrapa et al., 2017).

Após coleta do solo nos sistemas de manejo avaliados as amostras foram levadas para o laboratório de solo para posterior destorroamento, secagem e passagem na peneira de 2 mm, obtendo a terra fina seca ao ar (TFSA).

### 2.3. Atributos avaliados

A densidade do solo (DS) foi determinada pelo método do anel volumétrico (Embrapa, 2017), sendo obtida pela razão entre a massa de cada amostra seca a 105-110 °C e o volume de cada anel volumétrico que foi acoplado no amostrador de Uhlend. A densidade de partículas (DP) foi obtida pelo método do balão volumétrico utilizando-se álcool com líquido penetrante (EMBRAPA, 2017). Para a determinação da macroporosidade (MACRO), os anéis volumétricos foram inicialmente saturados em bandejas contendo água a 2/3 da altura dos anéis. Após total saturação, os anéis foram levados ao extrator de Richards e submetidos à tensão 6 kPa até que toda a água presente nos macroporos fosse retirada pela pressão aplicada. Pela diferença de peso entre as amostras saturadas e após a aplicação da tensão de 6 kPa, obtém-se a MACRO. Depois de pesadas, as amostras foram levadas a estufa

a 105 °C até peso constante, sendo a microporosidade (MICRO) obtida pela diferença de peso entre as amostras após a aplicação de 6 kPa e as amostras secas em estufa. A porosidade total (PT) foi obtida pela equação:  $1-DS/DP$ , onde DS é a densidade do solo e DP é a densidade de partículas.

Os teores de COT e NT foram obtidos pelo método descrito em Yeomans; Bremmer (1988) e Tedesco (1995), respectivamente. De posse dos teores de COT e NT foram calculados os estoques em cada profundidade. O estoque foi calculado pela seguinte fórmula:  $\text{estoque (Mg ha}^{-1}\text{)} = \text{teor (g kg}^{-1}\text{)} \times \text{DS} \times \text{E}/10$ , em que DS = densidade do solo na profundidade ( $\text{kg dm}^{-3}$ ) e; E = espessura da camada de solo (cm).

O carbono da biomassa microbiana (CBM) foi determinado pelo método de irradiação extração adotando-se fator de conversão (Kc) de 0,33 (ISLAM; WEIL, 1998). Nas amostras não irradiadas desta análise foi obtido o carbono extraível em sulfato de potássio (pH=6,8). A matéria orgânica leve (MOL) foi determinada por densimetria em água, segundo Anderson e Ingram (1989). O carbono associado à matéria orgânica leve (CMOL) foi obtido via oxidação úmida em meio ácido com dicromato de potássio, segundo Yeomans e Bremmer (1988).

O carbono orgânico oxidável foi determinado conforme método adaptado de Chan; Bowman; Oates (2001). O carbono lábil (CL) foi obtido através da oxidação a  $0,167 \text{ mol L}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  em meio ácido com  $6 \text{ mol L}^{-1}$  de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  e o carbono não lábil (CNL) pela diferença do COT menos carbono lábil. Os teores de carbono orgânico total (COT) do solo foram utilizados no cálculo do Índice de Compartimento de Carbono (ICC) que consiste em verificar quanto de COT foi perdido com o cultivo em relação à referência  $\text{ICC} = \text{COT}_{\text{cultivado}} / \text{COT}_{\text{referência}}$ . Também foram determinados a Labilidade (L) =  $\text{CL} / \text{CNL}$ , o Índice de Labilidade (IL) =  $\text{L}_{\text{cultivado}} / \text{L}_{\text{referência}}$  e o Índice de Manejo de Carbono (IMC) =  $\text{ICC} \times \text{IL} \times 100$ , de acordo com Blair; Lefroy; Lisle. (1995).

As substâncias húmicas (SH) foram obtidas de acordo com a metodologia da Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (IHSS) (SWIFT, 1996) e os teores de C e N nos ácidos fúlvicos, húmicos e humina foram determinados segundo Mendonça e Matos (2005).

As emissões de CO<sub>2</sub> foram avaliadas uma vez por mês durante um ano (abril de 2016 a março de 2017) sempre no período da manhã (entre 6:30 e 8:30 horas). Para tal, utilizou-se um sistema automatizado portátil de fluxo de CO<sub>2</sub> do solo LI-COR (LI-8100) Nebraska EUA. Em seu modo de medição, o sistema LI-8100 detecta as mudanças na concentração de CO<sub>2</sub> liberados do solo por meio de espectroscopia na região do infravermelho (IRGA Infrared Gas Analyzer). No momento da leitura, o equipamento é acoplado a um cano de PVC de 10 cm de diâmetro que ficou fixo a 5 cm de profundidade no solo da projeção da copa cafeeira durante o período experimental. O CO<sub>2</sub> foi medido três vezes em cada uma das quatro replicatas de cada sistema de manejo. Cada leitura teve duração de 1,5 minutos. Os valores de temperatura e umidade do solo foram determinados via reflectometria no domínio de frequência (FDR) (VELDKAMP; O'BRIEN, 2000) com o uso de um medidor portátil marca Pro Check.

A relação entre o fluxo de CO<sub>2</sub> (FCO<sub>2</sub>) e temperatura do solo (T<sub>solo</sub>) é descrita pela seguinte equação:  $FCO_2 = F0 \times \exp^{(b \times T_{solo})}$ . Aplicando a função logaritmo natural (Ln) em cada lado da equação tem  $\ln(FCO_2) = \ln[F0 \times \exp(b \times T_{solo})]$ . O resultado é  $\ln(FCO_2) = \ln(F0) + b \times T_{solo}$ . Essa relação linear entre  $\ln(FCO_2)$  e o T<sub>solo</sub> é esperada já que a temperatura do solo é um fator limitante na emissão de CO<sub>2</sub>. Com base no coeficiente b, é possível derivar o fator Q<sub>10</sub>, que representa o aumento percentual da emissão de CO<sub>2</sub> para um aumento de 10° C na temperatura do solo. Isto é derivado como  $Q_{10} = e^{10 \times b}$  (CARVALHO et al., 2012).

#### 2.4. Análise Estatística

As comparações envolvendo os sistemas de manejo e a área sob mata foram obtidas por meio de estatística descritiva. Além da análise descritiva, devido ao

grande número de variáveis avaliadas ( $n = 33$  variáveis), foi realizada análise de componentes principais, visando explorar tendências gerais das variáveis do solo, ou seja, verificar os atributos que melhor explicam as diferenças entre os sistemas de manejo. As variáveis mantidas na análise de componentes principais foram submetidas à análise de correlação com cada componente principal. Utilizou-se o programa R para realizar a análise de componentes principais (R CORE TEAM, 2015), com auxílio dos pacotes Vegan (OKSANEN et al., 2016).

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Atributos físicos do solo

Os valores da densidade do solo, densidade de partículas, umidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total estão presentes na Figura 1. As maiores variações nos atributos avaliados ocorreram na profundidade 0-10 cm. Os sistemas de manejo cafeeiro tenderam a ter maior densidade do solo, menor umidade e menor porosidade total em relação à mata secundária (Figura 1a, 1c, 1f). Semelhantemente, tendência de maior densidade do solo ( $1,36 \text{ g cm}^{-3}$ ), menor umidade do solo (15,51%), menor macroporosidade ( $0,19 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) e menor porosidade total ( $0,43 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) foram observados na profundidade 0-10 cm para o sistema não adensado em relação ao adensado que apresentou densidade do solo de  $1,24 \text{ g cm}^{-3}$ , umidade do solo de 17,88%, macroporosidade de  $0,27 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  e porosidade total de  $0,55 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  (Figura 1a, 1 c, 1d, 1f).

Já para os teores de areia silte e argila do solo observou-se pouca variação entre os manejos cafeeiros (Figura 1g, 1h, 1i). Entretanto, a mata apresentou menores teores de areia e maiores de argila em relação aos manejos cafeeiros.

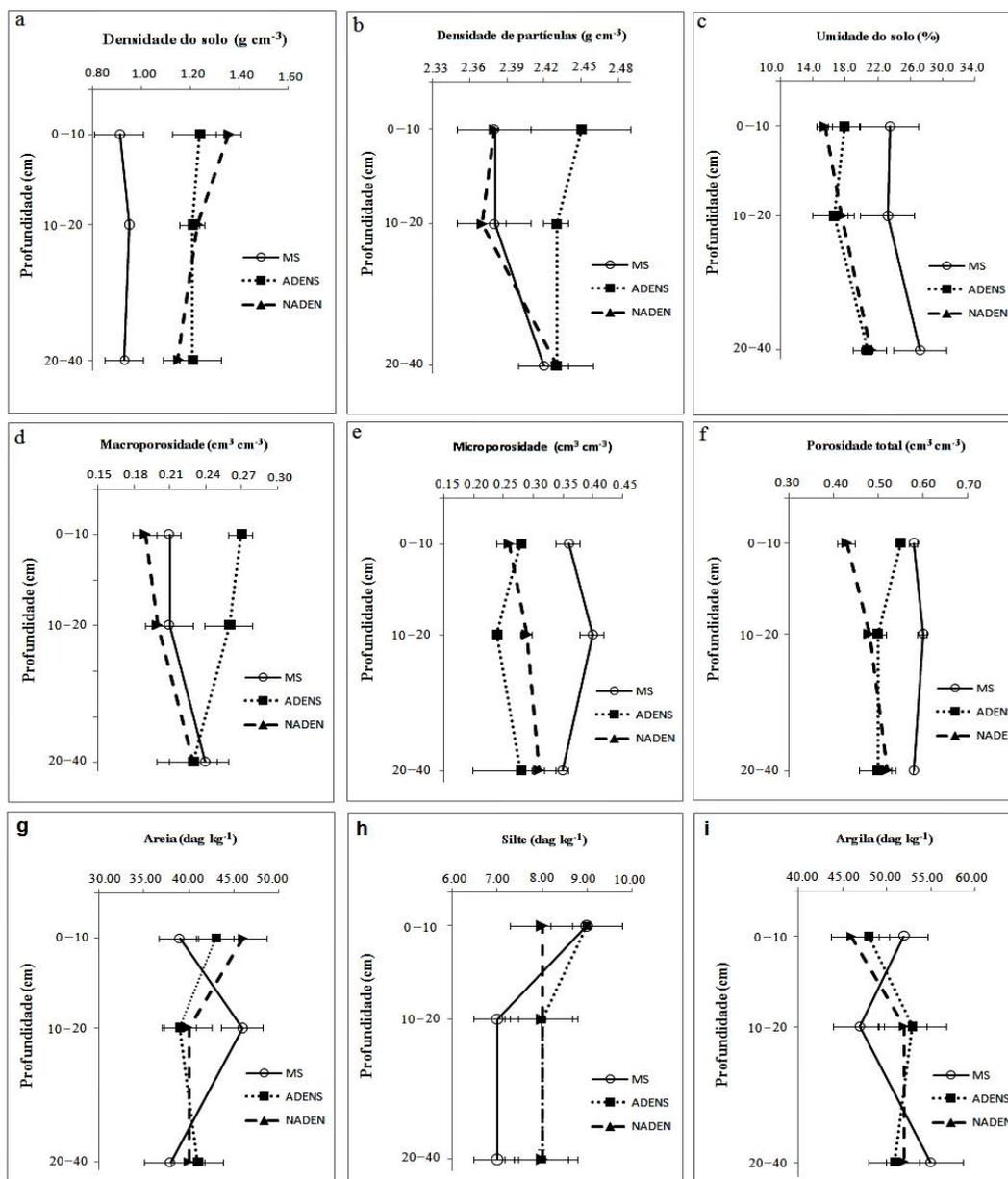


Figura 1- Valores médios da densidade do solo, densidade de partículas, umidade do solo, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, areia, silte e argila nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-40 cm. Mata secundária (MS), café adensado (ADENS) e café não adensado (NADEN). Barras presentes representam o desvio padrão.

### 3.2. Atributos da matéria orgânica

Os teores e estoques de COT e NT são apresentados na Figura 2. Em todas as profundidades, o café adensado e o não adensado obtiveram tendência de menores teores de COT e NT em comparação à mata secundária. Por outro lado, os

manejos cafeeiros apresentaram valores semelhantes dos teores de COT e NT em todas as profundidades (Figura 2 a, b).

Os estoques de COT (ESTC) tenderam a ser maiores na mata ( $30,78 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) e o cafeeiro não adensado ( $31,68 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) em relação ao adensado ( $24,35 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) na profundidade 0-10 cm. Contudo, em 20-40 cm, o adensado demonstrou tendência de recuperação dos ESTC sendo os valores: mata= $37,96 \text{ Mg ha}^{-1}$ , cafeeiro adensado= $37,09 \text{ Mg ha}^{-1}$  e não adensado= $32,49 \text{ Mg ha}^{-1}$  (Figura 2c). Para o estoque de NT (ESTN), a mata apresentou maiores estoques em todas as profundidades em relação aos manejos cafeeiros que tenderam a terem valores similares entre si (Figura 2d). Ressalta-se que na profundidade 20-40 cm, devido à maior espessura da camada em relação a duas primeiras camadas avaliadas, os valores do ESTC e ESTN são maiores.

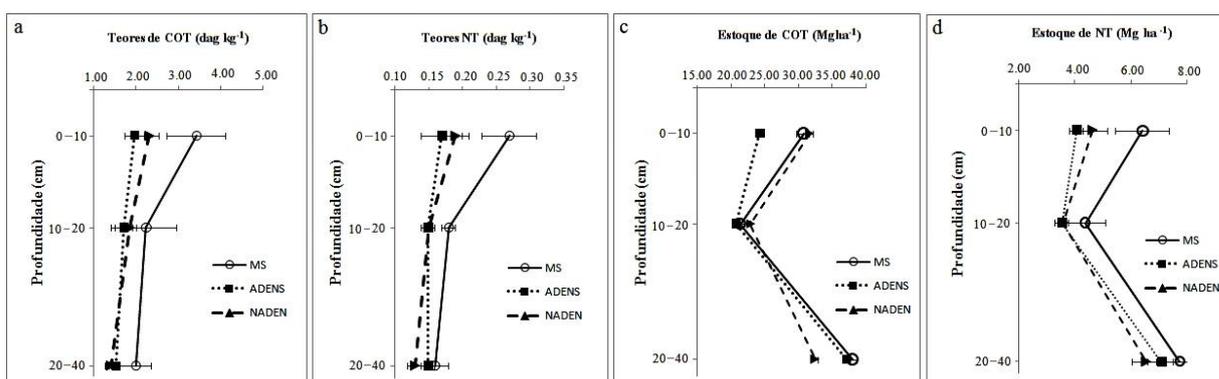


Figura 2- Valores médios dos teores de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), estoque de carbono (ESTC), estoque de nitrogênio (ESTN) nas profundidades 0-10, 10-20, 20-40 cm. Mata secundária (MS), café adensado (ADENS) e café não adensado (NADEN). As barras representam o desvio padrão.

Os atributos relacionados à biomassa microbiana e a matéria orgânica do solo são apresentados na Figura 3. O cafeeiro adensado tendeu a redução do CBM ( $197,27 \mu\text{g g}^{-1}$ ) em relação ao não adensado ( $327,27 \mu\text{g g}^{-1}$ ) e a mata secundária ( $414,51 \mu\text{g g}^{-1}$ ) na profundidade 0-10 cm (Figura 3a). Contudo, em 20-40 cm, há tendência na recuperação da biomassa microbiana no cafeeiro adensado que apresentou  $283,64 \mu\text{g g}^{-1}$ , já cafeeiro não adensado foi  $141,82 \mu\text{g g}^{-1}$  de CBM (Figura 3a). Maior modificação no NBM ocorreu na camada superficial do solo com teores de 77,13; 31,11 e  $24,63 \mu\text{g g}^{-1}$  para mata secundária, cafeeiro não adensado e cafeeiro

adensado, respectivamente (Figura 3b). Em geral, em todas as profundidades, os dois manejos cafeeiros apresentaram valores similares de NBM. O baixo teor de CBM no sistema cafeeiro adensado promoveu a menor relação CBM/COT (0,0086) em 0-10 cm (Figura 3e). Nesta profundidade, esta relação foi de 0,0125 e 0,0155 para mata secundária e cafeeiro não adensado, respectivamente. Entretanto, ainda que continuem baixos os valores da relação CMB/COT em 10-20 e 20-40 cm, os valores foram similares.

Na figura 3f observam-se maiores modificações da MOL na camada 0-10 cm. Nesta camada, a mata secundária, café adensado e não adensado apresentaram valores de 5,18; 2,77 e 1,82 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. De modo semelhante, o cafeeiro adensado apresentou tendência de maiores teores de CMOL nas camadas inferiores avaliadas obtendo o cafeeiro adensado e não adensado valores de 64,71 e 48,66 g kg<sup>-1</sup> na profundidade 10-20 cm, respectivamente; 78,92 e 59,12 g kg<sup>-1</sup> em 20-40 cm, respectivamente (Figura 3g). Para os valores da relação CMOL/ COT houve similaridade entre os manejos cafeeiros (Figura 3i), contudo, o NMOL/ NT tende a ser superior no sistema adensado (Figura 3j).

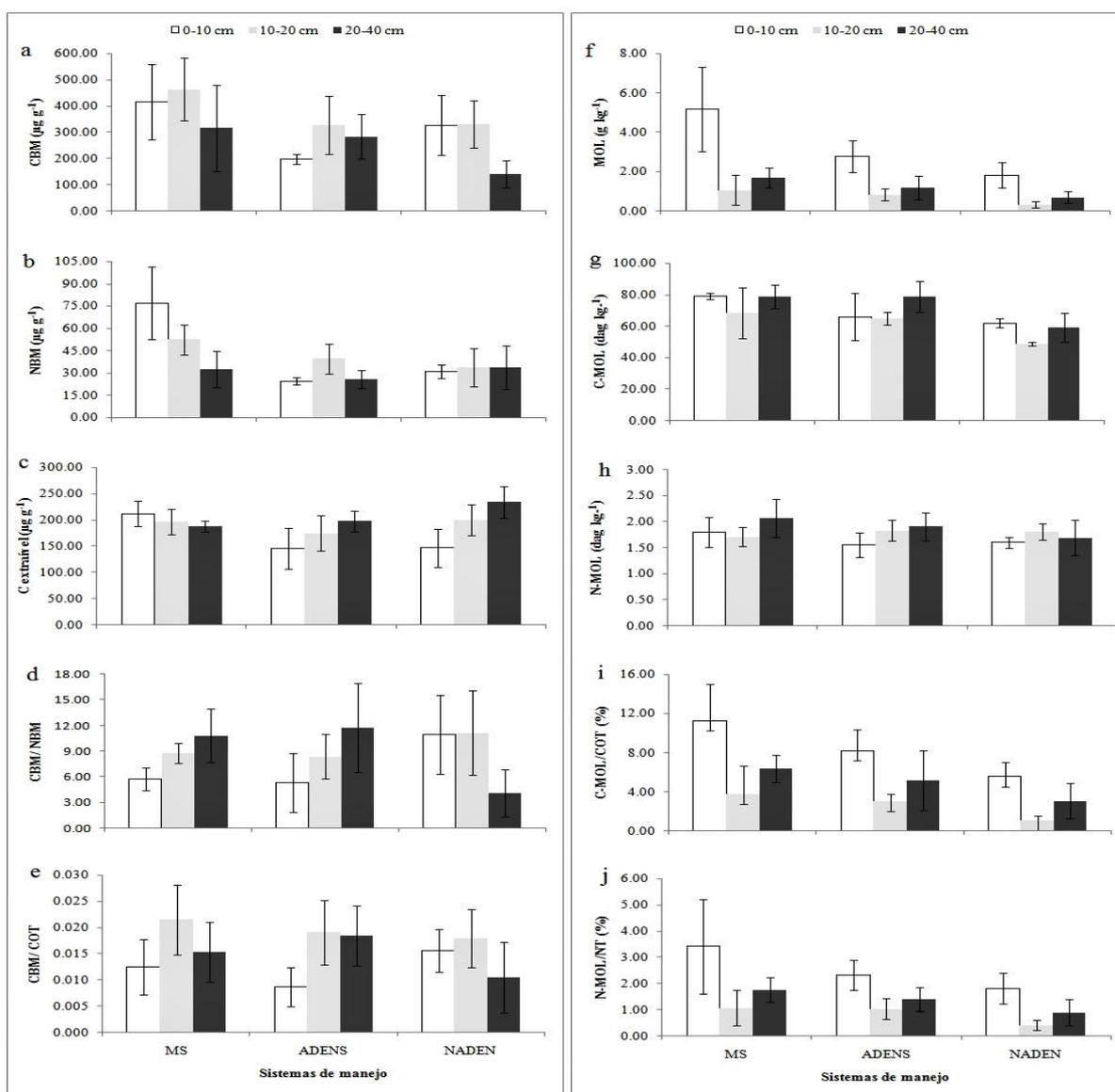


Figura 3- Valores médios dos teores de carbono da biomassa microbiana (CBM), nitrogênio da biomassa microbiana (NBM), carbono extraível (C extraível), relação CBM/ NBM, relação CBM/ COT, matéria orgânica leve (MOL), carbono da matéria orgânica leve (C-MOL), nitrogênio da matéria orgânica leve (N-MOL), relação C-MOL/ COT e N-MOL/ NT nas profundidades 0-10,10-20 e 20-40 cm. Mata secundária (MS), café adensado (ADENS) e café não adensado (NADEN). As barras representam o desvio padrão.

A figura 4 mostra os teores de C e N presentes nas frações das substâncias húmicas. De modo geral, as maiores modificações ocorreram na profundidade 0-10 cm e para a fração humina. Esta fração das substâncias húmicas apresentou tendência de redução nos teores em profundidade. Também, tendência de reduções do C e N da fração humina nos manejos cafeeiros ocorreu em relação à mata secundária. Na profundidade 0-10 cm, os teores de C-FH foram de 2,44; 1,41 e 1,44

dag kg<sup>-1</sup> e de N-FH foi de 0,16; 0,09 e 0,11 dag kg<sup>-1</sup> para mata secundária, café adensado e café não adensado, respectivamente (Figura 4a, 4b).

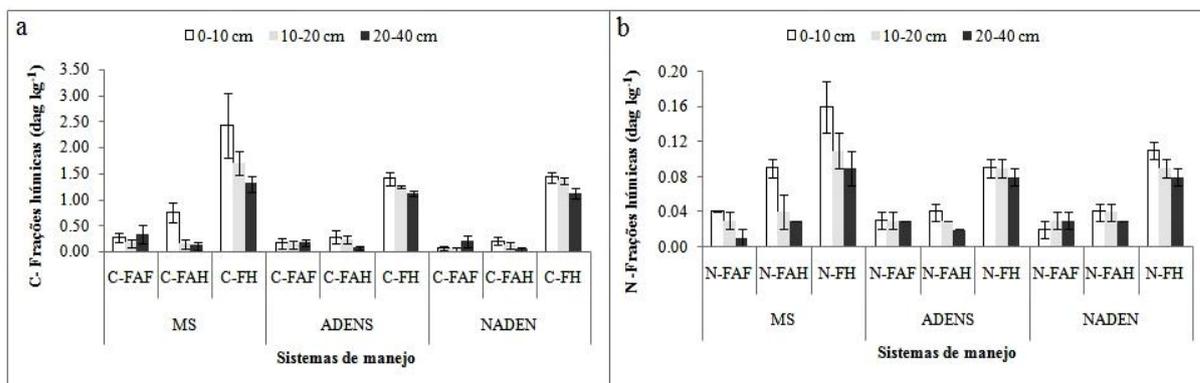


Figura 4- Médias dos teores de carbono da fração ácido fúlvico (C-FAF), fração ácido húmico (C-FAH), fração humina (C-FH) e dos teores de N da fração ácido fúlvico (N-FAF), fração ácido húmico (N-FAH), fração humina (N-FH) nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-40 cm. Mata secundária (MS), café adensado (ADENS) e café não adensado (NADEN). As barras representam o desvio padrão.

Os resultados referentes à labilidade e não-labilidade do C estão presentes na Figura 5. Maiores modificações nestes atributos ocorreram na profundidade 0-10 cm com reduções para os manejos cafeeiros em relação à mata secundária. Entre os manejos cafeeiros, somente na profundidade 20-40 cm verificou-se tendência de maior teor de CNL para café adensado que apresentou 0,86 dag kg<sup>-1</sup> em relação ao não adensado que obteve 0,65 dag kg<sup>-1</sup> (Figura 5, b). Assim sendo, nesta profundidade foi verificada tendência de maior L e IL ao café não adensado que proporcionou maior IMC em relação ao café adensado (Figura 5c, 5e, 5f).

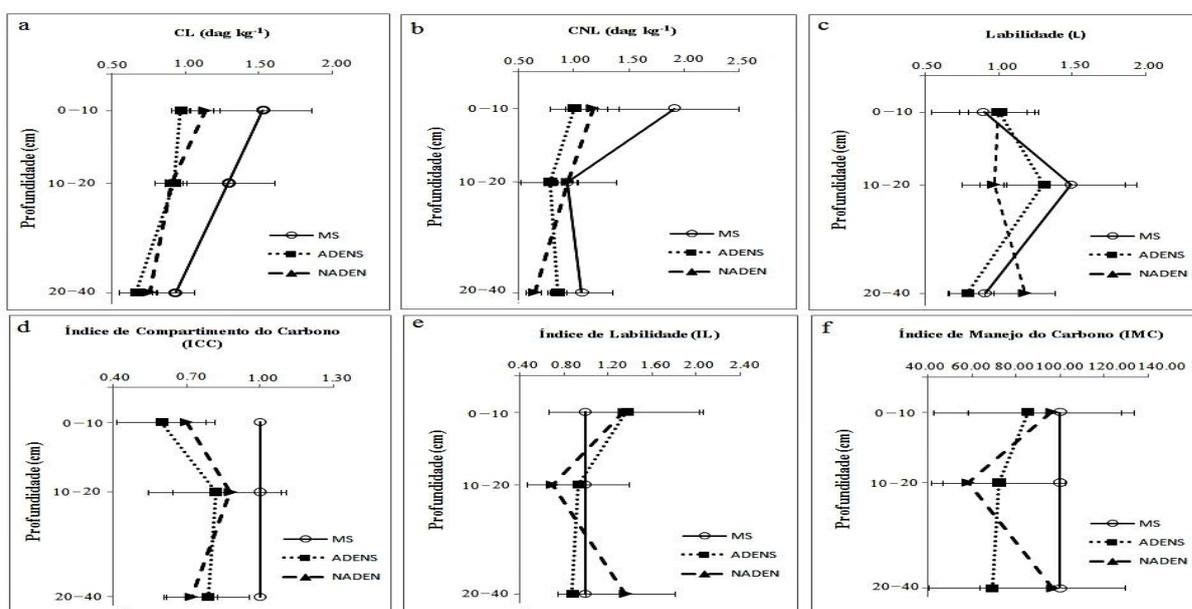


Figura 5. Médias dos teores de carbono lábil ( $C_L$ ), carbono não lábil ( $C_{NL}$ ), labilidade ( $L$ ), relação carbono lábil/ carbono orgânico total ( $C_L/COT$ ), índice do compartimento do carbono (ICC), índice de labilidade (IL) e índice do manejo do carbono (IMC) nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-40 cm. Mata secundária (MS), café adensado (ADENS) e café não adensado (NADEN). As barras representam o desvio padrão.

As médias mensais e anuais das emissões  $CO_2$ , umidade e temperatura do solo, quociente metabólico, relação da emissão de  $CO_2$  com temperatura e o índice Q10 encontram-se na Figura 6. Os valores de emissão de  $CO_2$  variaram de  $0,5 \mu mol m^{-2} s^{-1}$  em julho de 2016 para o cafeeiro adensado a  $2,3 \mu mol m^{-2} s^{-1}$  para a mata secundária e café adensado em novembro de 2016 (Figura 6a). Para a temperatura do solo, a mais baixa ocorreu em julho de 2016 na mata secundária ( $16,1^\circ C$ ) e mais alta em janeiro de 2017 no cafeeiro não adensado ( $28,3^\circ C$ ) (Figura 6b). Já para a umidade do solo, o menor valor foi verificado para cafeeiro não adensado ( $0,06 m^3 m^{-3}$ ) em setembro de 2016 e o maior valor para cafeeiro adensado ( $0,37 m^3 m^{-3}$ ) em dezembro de 2016 (Figura 6c). De modo geral, nos meses mais frios e secos as emissões de  $CO_2$  foram menores e nos meses quentes e chuvosos, as emissões de  $CO_2$  tenderam a aumentar.

Em relação às médias anuais, o cafeeiro adensado foi o sistema de manejo que obteve tendência de menor emissão de  $CO_2$  com valor médio de  $0,95 \mu mol m^{-2} s^{-1}$ , já o não adensado e mata secundária apresentaram média anual de 1,16 e 1,61  $\mu mol m^{-2} s^{-1}$ , respectivamente (Figura 6d). Para a temperatura do solo, observou-se tendência de pequena redução das médias anuais entre o cafeeiro adensado que obteve  $23,9^\circ C$  e cafeeiro não adensado que apresentou  $24,5^\circ C$  (Figura 6e). Comportamento semelhante entre os manejos cafeeiros foi observado para a umidade do solo sendo: adensado com média anual de  $0,23 m^3 m^{-3}$  e não adensado com  $0,21 m^3 m^{-3}$  (Figura 6f).

Apesar da tendência em menor emissão de  $CO_2$ , houve tendência de aumento do quociente microbiano do cafeeiro adensado ( $4,82 mg CO_2/ mg CBM$ ) em relação ao cafeeiro não adensado ( $3,54 mg CO_2/ mg CBM$ ) e mata secundária ( $3,88 mg CO_2/ mg CBM$ ) (Figura 6g).

Outra relação que pode ser observada na Figura 6h é da emissão de CO<sub>2</sub> com a temperatura. Nela, o cafeeiro adensado apresentou o maior parâmetro b (0,072) tendo equação linear  $y=bx + a$ . Essa tendência de maior inclinação da reta demonstra maior sensibilidade ao aumento da temperatura do solo para o cafeeiro adensado (Figura 6h). Tal fato é verificado no fator Q10 que demonstrou percentual de aumento nas emissões de CO<sub>2</sub> para um aumento de 10°C da temperatura do solo em 1,68; 2,05 e 1,94 na mata secundária, cafeeiro adensado e não adensado, respectivamente.

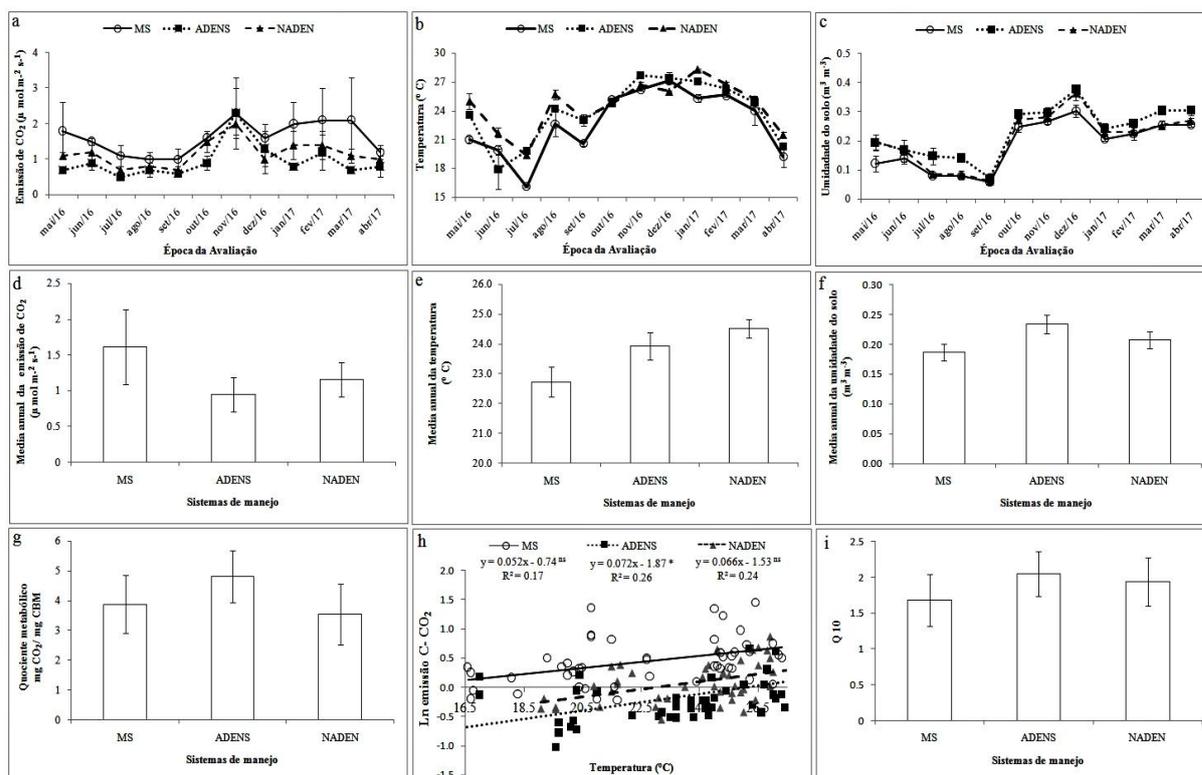


Figura 6- Médias mensais e anuais das emissões CO<sub>2</sub>, umidade e temperatura do solo, quociente metabólico, relação da emissão de CO<sub>2</sub> com temperatura e índice Q10 sob sistemas com mata secundária, cafeeiro adensado e cafeeiro não adensado. Barra presente significa o desvio padrão da média.

### 3.3. Análise de componentes principais

As variáveis utilizadas nos componentes principais foram selecionadas através de correlação de Pearson. Devido à importância do COT em correlacionar e representar a maioria das variáveis optou-se por apresentar os valores da correlação do COT com as demais variáveis analisadas nas três profundidades avaliadas (Tabela 2). Por se tratar de conjunto de dados de 33 variáveis e três profundidades, as

apresentações de todos os resultados das correções tornam-se desnecessárias já que a maioria se correlacionou com o COT (Tabela 2).

Na profundidade 0-10 cm, além do COT, selecionou-se para os componentes principais as variáveis CBM/COT, CBM/NBM, DS e MACRO. Mesmo a DS tendo correlacionado com o COT, ela foi selecionada aos componentes principais pela sua importância nas propriedades físicas do solo. Na profundidade 10-20 cm, além do COT, selecionou-se para compor os componentes principais as variáveis: relação C/N, DS e MACRO. Vale ressaltar que as variáveis que não correlacionaram com COT se correlacionaram com a relação C/N, por isso C/N foi mantida nos componentes principais. Já na profundidade 20-40 cm, selecionou-se o COT, NBM e DS. As variáveis que não se correlacionaram com o COT correlacionaram com o NBM, por isso a escolha destas variáveis para representar os conjuntos de dados.

Tabela 2- Correlação do COT com as demais variáveis na profundidade 0-10, 10-20 e 20- 40 cm.

0-10 cm															
			<u>C</u>				<u>CBM</u>					<u>CMOL</u>		<u>NMOL</u>	
NT	ESTC	ESTN	N	CBM	NBM	CE	COT	NBM	MOL	CMOL	NMOL	COT	NT	CL	CNL
0.99	0.59	1.00	1.00	0.92	0.99	0.98	0.40	-0.22	0.88	0.90	1.00	0.76	0.86	1.00	1.00
							<u>CBM</u>					<u>CMOL</u>		<u>NMOL</u>	
ICC	LAB	IL	IMC	CAF	CAH	CFH	NAF	NFAH	NHU	DS	DP	PT	MA-CRO	MI-CRO	U
1.00	-0.99	-0.98	0.84	0.75	0.94	0.98	0.73	0.97	1	-0.88	-0.68	-0.47	-0.48	0.92	0.87
10-20 cm															
			<u>C</u>				<u>CBM</u>					<u>CMOL</u>		<u>NMOL</u>	
NT	ESTC	ESTN	N	CBM	NBM	CE	COT	NBM	MOL	CMOL	NMOL	COT	NT	CL	CNL
0.97	-0.02	0.98	0.18	0.98	0.85	0.62	0.84	-0.13	0.58	0.44	-1.00	0.52	0.33	0.96	0.59
							<u>CBM</u>					<u>CMOL</u>		<u>NMOL</u>	
ICC	LAB	IL	IMC	CFAF	CFAH	CFH	NFAF	NFAH	NHU	DS	DP	PT	MA-CRO	MI-CRO	U
0.99	0.59	0.45	0.83	0.52	-0.48	1.00	-0.70	0.70	0.97	-0.95	-0.57	0.92	-0.47	0.99	0.99
20-40 cm															
			<u>C</u>				<u>CBM</u>					<u>CMOL</u>		<u>NMOL</u>	
NT	ESTC	ESTN	N	CBM	NBM	CE	COT	NBM	MOL	CMOL	NMOL	COT	NT	CL	CNL
0.87	0.77	0.97	0.98	0.79	0.16	-0.81	0.31	0.58	0.96	0.66	0.92	0.86	0.95	0.85	0.95
							<u>CBM</u>					<u>CMOL</u>		<u>NMOL</u>	
ICC	LAB	IL	IMC	CFAF	CFAH	CFH	NFAF	NFAH	NHU	DS	DP	PT	MA-CRO	MI-CRO	U
0.99	-0.41	-0.47	0.40	0.93	0.99	0.98	-0.68	0.31	0.98	-0.92	-0.97	0.83	0.98	0.80	0.97

NT: nitrogênio total; ESTC: estoque de carbono; ESTN: estoque de nitrogênio; C/N: relação Carbono/nitrogênio; CBM: carbono da biomassa microbiana; NBM: nitrogênio da biomassa microbiana; CE: carbono extraível em K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; CBM/COT: relação carbono da biomassa microbiana /carbono orgânico total; CBM/NBM: relação carbono da biomassa microbiana/ nitrogênio da biomassa microbiana; MOL: matéria orgânica leve; CMOL: carbono da matéria orgânica leve; NMOL: nitrogênio da matéria orgânica leve; CMOL/COT: carbono da matéria orgânica leve/ carbono orgânico total; NMOL/NT: nitrogênio da matéria orgânica leve/ nitrogênio total; CL: carbono lábil; CNL: carbono não

lábil; ICC: índice de compartimento do carbono; LAB: labilidade; IL: índice de labilidade; IMC: índice de manejo do carbono; CFAF: carbono da fração ácido fúlvico; CFAH: carbono da fração ácido húmico; CFH: carbono da fração humina; NFAF: nitrogênio da fração ácido fúlvico; NFAH: nitrogênio da fração ácido húmico; NFH: nitrogênio da fração humina; DS: densidade do solo; DP: densidade de partículas; PT: porosidade total; MACRO: macroporosidade; MICRO: microporosidade; U: umidade do solo.

A análise de componentes principais apresentou 2 eixos (CP1 e CP2) que representaram 100% da variabilidade total dos atributos orgânicos e físicos (Tabela 3, Figura 7). Na profundidade 0-10 cm, a variância que explica 100% da variabilidade total dos atributos é representada de 56,37% e 43,63% pelo 1º e 2º eixos, respectivamente (Tabela 3, Figura 7). Já em 10-20 cm, os 2 eixos também representam 100% da variabilidade total sendo: 61,34% para o CP1 e 38,66% para o CP2. Na profundidade 20-40 cm, o 1º eixo representou 71,32% e o 2º eixo 28,68% da variabilidade total dos dados (Tabela 3, Figura 7).

Na profundidade de 0-10 cm, houve alta correlação positiva do CBM/COT, MACRO e CBM/NBM com o CP1 (maior variabilidade). Já o CP2 teve alta correlação positiva com o COT para explicar a variabilidade dos dados (Tabela 3). Na profundidade de 10-20 cm de profundidade, o COT apresentou alta correlação com CP1 e C/N teve correlação negativa com o CP2. Já na profundidade 20-40 cm, a DS teve alta correlação com CP1 e NBM com o CP2.

Tabela 3- Componentes principais (CPi), autovalores ( $\lambda_i$ ), variância explicada pelos componentes principais e correlação (1) entre variáveis originais e componentes principais na profundidade de 0-10, 10-20 e 20-40 cm.

Atributos do solo	Profundidade 0-10 cm		Profundidade 10-20 cm		Profundidade 20-40 cm	
	Componente principal		Componente principal		Componente principal	
	CP1	CP2	CP1	CP2	CP1	CP2
Autovalor ( $\lambda_i$ )	2,82	2,18	2,45	1,54	2,13	0,86
Variância explicada (%)	56,37	43,63	61,34	38,66	71,32	28,68
COT	0,26	0,96	0,89	0,45	-0,88	-0,46
CBM/COT	0,98	0,14	----	----	----	----
CBM/NBM	0,88	-0,47	----	----	----	----
NBM	-----	-----	----	----	-0,60	0,80
C/N	-----	-----	0,61	-0,79	----	----
DS	0,22	-0,97	-0,72	-0,70	0,99	0,07

MACRO	-0,97	-0,23	-0,88	0,48	----	----
-------	-------	-------	-------	------	------	------

COT: carbono orgânico total; CBM/COT: relação carbono da biomassa microbiana /carbono orgânico total; CBM/NBM: relação carbono da biomassa microbiana/ nitrogênio da biomassa microbiana; NBM: nitrogênio da biomassa microbiana; C/N: relação carbono/ nitrogênio; MACRO: macroporosidade. Atributo sem valor não foi selecionado para compor o componente para determinada profundidade.

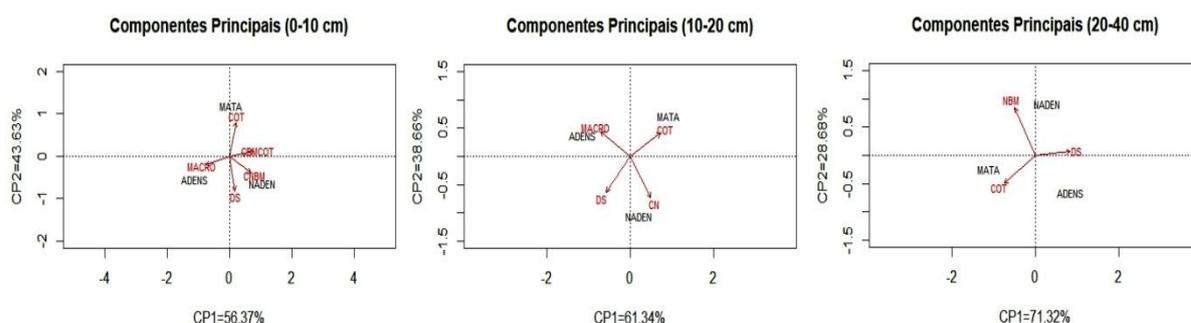


Figura 7- Análise de componentes principais (CP1 e CP2) dos valores médios dos atributos da matéria orgânica e físicos do solo nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-40 cm para mata secundária, cafeeiro adensado e não adensado. COT: carbono orgânico total; CBM/COT: relação carbono da biomassa microbiana /carbono orgânico total; CBM/NBM: relação carbono da biomassa microbiana/ nitrogênio da biomassa microbiana; NBM: nitrogênio da biomassa microbiana; C/N: relação carbono/ nitrogênio; MACRO: macroporosidade.

#### 4. DISCUSSÃO

Para os atributos físicos avaliados, a introdução dos cultivos cafeeiros proporcionou aumento na DS e redução da MICRO, PT e U. Semelhantemente, Theodoro et al. (2003) documentaram que cafeeiro não adensado obteve redução da PT e aumento da DS em relação à mata.

Solos argilosos devem apresentar um terço da porosidade total formada por macroporos (MACRO) e os dois terços restantes por microporos (MICRO), sendo a relação ideal MACRO/MICRO igual a 0,5 (CARMO et al., 2011; GONTIJO et al., 2008; GUIMARÃES et al., 2014a). Ainda, para um crescimento satisfatório do sistema radicular, o volume de MACRO deve estar acima de  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , valor considerado limite da porosidade de aeração (KIEHL, 1979). Considerando esses pressupostos, todos os sistemas obtiveram valores de MACRO acima de  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , no entanto, devido à alta MACRO e à baixa MICRO nos cafeeiros, a relação MACRO/MICRO igual a 0,5 não foi atingida.

Como MICRO é responsável pelo armazenamento de água no solo, a baixa MICRO não é benéfica. Assim sendo, uma pequena compactação desses solos, poderia ser benéfica em termos de maior retenção de água, pela transformação de parte dos macroporos em microporos (GONTIJO et al., 2008).

A redução da porosidade total (PT) do solo no sistema não adensado em relação ao adensado condicionou maiores valores de densidade do solo (DS) no primeiro. De modo semelhante, Gontijo et al. (2008) verificaram que a redução da PT foi a responsável pela maior DS tanto na linha de tráfego quanto na projeção da copa do cafeeiro não adensado em relação à mata.

Assim sendo, o manejo cafeeiro adensado proporcionou melhores condições físicas devido à redução da DS e aumento da PT. Corroborando com a presente pesquisa, Nunes et al. (2010) trabalhando com Latossolo Vermelho-Amarelo argiloso da Zona da Mata Mineira verificaram na profundidade 0-10 cm, que o cafeeiro não adensado cultivado a 16 e 22 anos apresentou, respectivamente, valores de densidade do solo de 1,12 e 1,27 kg dm<sup>-3</sup>, valores estes superiores aos do solo sob mata secundária de 30 e 40 anos que apresentaram valores de 1,02 e 0,98 kg dm<sup>-3</sup>, respectivamente. Esses dados demonstram que a introdução de cafeeiro sob largos espaçamentos promove perda da qualidade física do solo.

Os teores de COT e NT sofrem mudanças decorrentes do manejo, refletindo o histórico das áreas estudadas (PEZARICO et al., 2013). Em relação à mata secundária, a introdução de cultivos cafeeiros acarretou perdas nos teores de COT. Essas reduções foram de 42,4 e 32,6% nos teores de COT e 37,0 e 29,6 nos teores de NT, para o cafeeiro adensado e não adensado, na profundidade 0-10 cm, respectivamente. De modo semelhante, Benites et al. (2010) verificaram perdas de mais de 50% do COT após 12 anos de cultivo do cafeeiro sob manejo não adensado (2,17dag kg<sup>-1</sup>) em relação à mata que apresentou teor de 4,47 dag kg<sup>-1</sup>.

Segundo Ribeiro; Gontijo; Alvarez V (1999), os teores médios de COT na profundidade 0-10 cm do solo obtidos na mata secundária foram classificados como

bom, e os manejos cafeeiros foram classificados como médio. Esses foram semelhantes aos teores de COT de outros trabalhos com café adensado (RANGEL et al., 2008; THEODORO et al. 2003).

Apesar das perdas de COT nos cultivos cafeeiros, a adoção do manejo adensado (7 anos de idade) vem demonstrando recuperação e/ou minimização das perdas de COT e NT em relação ao cafeeiro não adensado (10 anos de idade). O maior aporte de resíduos orgânicos, que ocorre tanto via queda das folhas quanto sistema radicular, pode contribuir para aumento do COT (OLIVEIRA JUNIOR et al., 2008).

Os maiores teores de COT verificados na mata secundária não se traduziram em maiores ESTC, uma vez que a densidade do solo nos sistemas cafeeiros foi maior e estas densidades são utilizadas no cálculo dos estoques. Diferentemente, Rangel et al. (2007) em Latossolo de textura média cultivado a 11 anos com cafeeiro arábica sob diferentes espaçamentos de plantio relataram, em relação à mata, reduções médias de 45% no ESTC e 30% no ESTN na profundidade 0-10 cm. Guimarães et al. (2014b) também relataram reduções nos ESTC e ESTN do cafeeiro não adensado em relação à referência mata secundária.

Assim como no presente estudo, teores superiores de CBM do solo sob mata em relação a sistemas sob cafeeiros foram relatados por Glaeser et al. (2010); Guimarães et al. (2015) e Nunes et al. (2009). Por outro lado, Júnior e Melo (2000) em Latossolo Roxo de textura argilosa, não encontraram diferenças nos valores de CBM entre a mata e amostras de solo retiradas da projeção da copa de cafeeiro não adensado, mas encontraram diminuição no teor de COT com a introdução do cultivo.

Os maiores teores de CBM no cafeeiro adensado em 20 a 40 cm de profundidade podem estar relacionados à maior quantidade de raízes nesta profundidade. Por outro lado, era de se esperar maiores teores de CBM na camada 0-10 cm pelo maior aporte de materiais vegetais que formam a serapilheira (THOMAZINI et al., 2015). Entretanto, tal relação não foi observada e pode estar relacionada aos altos teores

de lignina (39,9%) e polifenóis (6,6%) presentes na serapilheira cafeeira que dificultam sua decomposição.

Contudo, Guimarães et al. (2017) relataram a importância da manta morta diversificada junto à do cafeeiro e sua relação no aumento da biomassa e atividade microbiana do solo. Almeida et al. (2007) e Glaeser et al. (2010) observaram em relação ao cafeeiro convencional não adensado, que manejos que aportam resíduos orgânicos incrementam o CBM.

As relações CBM/COT na mata (0.0125), cafeeiro adensado (0.0086) e cafeeiro não adensado (0,0155) em 0-10 cm de profundidade corresponderam a 1,25; 0,86 e 1,55% do COT, respectivamente. Esses baixos valores demonstram a baixa disponibilidade de substrato para a microbiota do solo, sendo somente os resíduos do cafeeiro o substrato para os microrganismos. Cabe ressaltar que a relação CBM/COT deve ser próxima de 3 % do COT (SILVA; MENDONÇA, 2007).

As maiores quantidades de MOL e CMOL do cafeeiro adensado em relação ao não adensado estão relacionadas aos maiores aportes de resíduos orgânicos via serapilheira cafeeira, porém não suficiente para incrementar a biomassa microbiana. Os valores da relação CMOL/ COT (%) reforçam a necessidade de maiores aportes orgânico uma vez que está relação foi, na profundidade 0-10 cm, 11,28; 8,20 e 5,55 % para mata, cafeeiro adensado e cafeeiro convencional, respectivamente. Segundo Silva; Mendonça (2007), CMOL deve representar no mínimo 15 % do COT. O CMOL pode ter consequências positivas para a qualidade química do solo, uma vez que a presença de C de maior biodisponibilidade pode fornecer energia e nutrientes para microrganismos e plantas, garantindo a permanência de processos essenciais ao funcionamento do solo como componente do ecossistema (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2008).

Mesmo os dados demonstrando a necessidade de maiores aportes de resíduos orgânicos de qualidade visando aumentar a biomassa microbiana e a matéria orgânica leve, a labilidade da matéria orgânica do solo sob manejos cafeeiros

próximo de 1 demonstra que em torno de 50% da matéria orgânica do solo se encontra disponível e os outros 50% não estão prontamente disponíveis na profundidade de 0-10 cm. Para manutenção da sustentabilidade do sistema solo é importante que haja equilíbrio entre esses compartimentos do solo (RANGEL et al., 2008), sendo parte de matéria orgânica facilmente decomponível para mineralização dos nutrientes e outra parte mais resistente no solo para melhoria das propriedades químicas e físicas do solo (LOSS et al., 2009).

Em meses quentes e chuvosos do ano (outubro a março) há tendência de aumento das emissões de CO<sub>2</sub> do solo devido ao aumento da temperatura e umidade do solo (LIEBIG et al., 2013; THOMAZINI et al., 2015). De modo geral, a emissão média anual de CO<sub>2</sub> do solo foi de 1,61; 1,16 e 0,95  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ou 22,34; 16,10 e 13,18 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> para mata secundária, café não adensado, café adensado, respectivamente. Sabendo-se que no ano de 2016 foram cultivados 150 mil ha de café arábica no estado do Espírito Santo (ES) (CONAB, 2017) e se todas as lavouras adotassem o mesmo espaçamento aqui avaliado, a redução das emissões de CO<sub>2</sub> do solo para a atmosfera no ES seria de 438.000 Mg ano<sup>-1</sup>. Isso é representativo para o ES e poderia ser mais representativo em escala nacional se o adensamento das lavouras fosse mais praticado.

Apesar das menores emissões de CO<sub>2</sub> no cafeeiro adensado, este sistema de manejo obteve incrementos no quociente metabólico. Este quociente relaciona a emissão de CO<sub>2</sub> e o CBM e informa sobre a respiração microbiana do solo. O aumento nos valores do quociente metabólico no manejo adensado demonstra maior respiração pela microbiota do solo ou maior nível de estresse na decomposição do material vegetal (THOMAZINI et al., 2015). Nossos dados indicam que o aporte de resíduos vegetais advindo da serapilheira formada pelas folhas e galhos cafeeiros pode não estar estimulando a atividade dos microrganismos no solo (CBM baixo e quociente metabólico alto), tanto é que a serapilheira cafeeira tende a acumular-se no solo. Isso demonstra que os micro-organismos do solo no sistema adensado podem estar sob estresse.

Esse estresse pode estar relacionado aos altos teores de lignina e polifenóis presentes na serapilheira que pouco contribuem para a atividade biológica e conseqüentemente, baixa taxa de decomposição do material (BRAGA et al., 2016; WINK et al., 2013). Em diferentes sistemas de manejo do solo há diferenciado estresse fisiológico agindo sobre os micro-organismos, ou seja, a energia necessária para processar os resíduos orgânicos aportados no solo está em função da complexidade química destes (FERNANDES et al., 2012).

Sob condições de estresse, os microrganismos gastam maior energia para manutenção dos mecanismos celulares, ou seja, há um maior custo de manutenção ou taxa de respiração relativa, em detrimento ao crescimento da biomassa (BRAGA et al., 2016). Assim, em solos com adição de serapilheira de baixa qualidade nutricional e altos teores de lignina e polifenóis, a biomassa microbiana estressada é incapaz de utilizar toda a energia obtida na decomposição para seu crescimento. No entanto, a serapilheira propicia maior proteção da superfície do solo, mantém a umidade e reduz a amplitude térmica do mesmo (XAVIER et al., 2006).

Além disso, os valores de Q10 foram superiores no sistema de manejo adensado. Com a elevação de 10°C da temperatura do solo, o manejo cafeeiro adensado proporcionará 22% a mais de emissão de CO<sub>2</sub> em relação à mata secundária. No sistema não adensado, a emissão de CO<sub>2</sub> será de 15% a mais em relação à emissão da mata secundária, com mesma elevação da temperatura em 10° C.

A análise de componentes principais confirmou os resultados da análise descritiva, entretanto, com poucos atributos respondendo pelo conjunto de 33 variáveis que foram analisadas nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-40 cm. Na prática, em 0-10 cm, as relações CBM/COT, CBM/NBM e a MACRO foram as variáveis que melhor diferenciaram os sistemas de manejo. O sistema cafeeiro adensado apresentou alta MACRO (0,27 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>), entretanto, cafeeiro não adensado está relacionado com o CBM/COT e CBM/NBM. Isso demonstra que o manejo adensado do cafeeiro tem proporcionado boas condições físicas do solo, porém, por ser um sistema recente (7

anos) e inserido em área sob pastagens em degradação, ainda não houve contribuição do adensamento sobre os atributos orgânicos do solo.

A mata secundária relacionou-se com o COT, mas, foi inversa com a DS. Isso significa que o aumento do COT proporciona redução da DS. Além do COT, a mata está melhor associada ao NT, ESTC, ESTN, CL, CNL e substâncias húmicas, indicando ser o sistema que apresenta maior ciclagem de nutrientes. Em um segundo momento, os dados indicam que o cafeeiro não adensado está mais próximo da mata secundária do que o cafeeiro adensado, comprovando os resultados da análise descritiva.

Como já comentado, o cafeeiro adensado tem idade inferior em relação ao não adensado, possuindo até o momento, melhorias nos atributos físicos do solo. No entanto, se considerar o tempo de adoção de 5 anos para o manejo adensado e 7 anos para o manejo não adensado verifica-se, que pelo índice de contribuição anual, o manejo adensado tem promovido incremento nos atributos orgânicos do solo. Os estoques de C e N, por exemplo, obtiveram contribuição média anual de 5,49 e 0,98 Mg ha<sup>-1</sup> para o adensado e de 4,15 e 0,70 Mg ha<sup>-1</sup> para o não adensado, respectivamente. De modo semelhante, para o CBM a contribuição média anual foi de 53,88 e 38,05 µg g<sup>-1</sup> para o cafeeiro adensado e não adensado, respectivamente. Já para o NBM a contribuição média anual foi de 6,00 mg kg<sup>-1</sup> para o manejo adensado e 4,69 mg kg<sup>-1</sup> para o não adensado. Maiores contribuições anuais na MOL e substâncias húmicas também ocorreram no sistema adensado em relação ao não adensado.

Apesar de se verificar diferenças entre CL e CNL e seus índices entre adensado e não adensado apenas em 20-40 cm de profundidade, quando se avalia a contribuição anual, observou-se que o manejo adensado proporcionou maior incremento anual médio em relação ao não adensado. O CL e CNL obteve contribuição média anual de 0,17 e 0,18 dag kg<sup>-1</sup> para o adensado e de 0,13 e 0,13 dag kg<sup>-1</sup> para o não adensado, respectivamente. De modo semelhante, a contribuição média anual no ICC e IMC foi de 0,15 para o cafeeiro adensado e 0,11

para o cafeeiro não adensado. Já para o IMC, o cafeeiro adensado apresentou contribuição média anual de 15,14 e não adensado de 11,97.

Deve-se ressaltar que as pesquisas nestas áreas necessitam ser continuadas a fim de se verificar as contribuições nos adensamento nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo. Contribuições do adensamento já identificadas estão relacionadas às menores perdas de solo e água por erosão (GUIMARÃES et al., 2014). Além disso, o cafeicultor familiar tem relatado maiores rendimentos econômicos com o adensamento do cafeeiro.

## **5. CONCLUSÕES**

O adensamento do cafeeiro proporciona maiores quantidades de matéria orgânica leve e carbono associado à matéria orgânica leve em relação ao sistema não adensado. Entretanto, esses dois sistemas não diferiram entre si quanto aos teores de C orgânico e N total, e teores de C e N da humina e ácidos húmicos.

O cafeeiro adensado promoveu melhoria na qualidade física do solo em relação ao manejo convencional, pois apresentou menor densidade do solo, maior macroporosidade e porosidade total.

O manejo do cafeeiro sob sistema adensado proporciona menores emissões de CO<sub>2</sub> do solo, entretanto, apresentou metabolismo menos eficiente do C. Assim, menos C é incorporado ao solo pela biomassa microbiana e o sistema se torna mais vulnerável às perdas de CO<sub>2</sub> para atmosfera.

Épocas quentes e úmidas do ano favorecem emissões de CO<sub>2</sub> do solo devido ao aumento da temperatura e umidade. Considerando os cenários de mudanças climáticas futuras com tendência de aumento da temperatura do solo, o cafeeiro adensado terá maior emissão de CO<sub>2</sub> com aumento de 10°C na temperatura.

Os atributos COT, C/N, CBM/COT, CMB/NBM, NBM, DS e MACRO foram os responsáveis por melhor diferirem os sistemas de manejo na análise de

componentes principais. O manejo cafeeiro adensado esteve relacionado aos atributos físicos do solo.

## 6. REFERÊNCIAS

AUGUSTO, H. S. et al. Produtividade de cultivares de café (*Coffea arabica* L.) sob espaçamentos adensados. **Revista Ceres**, v.53, p.539-547, 2006.

ALMEIDA, E. F. et al. Biomassa microbiana em sistema agroflorestal na zona da mata mineira. **Revista Brasileira de Agroecologia**, vol. 2, n.2, p.739-742, 2007.

ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods. **CAB International**, 1989. 171p.

BENITES, V. M. et al. Análise discriminante de solos sob diferentes usos em área de mata atlântica a partir de atributos da matéria orgânica. **Revista Árvore**, v.34, n.4, p.685-690, 2010.

BLAIR, G. J.; LEFROY, R. D. B.; LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, v.46, p. 1459-1466, 1995.

BRAGA, R. M. et al. Biomassa e atividade microbiana sob diferentes coberturas florestais. **Cerne**, v.22, p.137-144, 2016.

BRAGANÇA, S. M. et al. Resposta do cafeeiro conilon à adubação de NPK em sistemas de plantio adensado. **Coffee Science**, v.4, p.67-75, 2009.

CARMO, D. L. et al. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cafeeiro em três sistemas de manejo no sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.991-998, 2011.

CHAN, K. Y.; BOWMAN, A.; OATES, A. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an paleustalf under different pasture leys. **Soil Science**, Baltimore, v.166, n.1, p. 61-67, 2001.

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). Available from: [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17\\_01\\_17\\_14\\_51\\_54\\_boletim\\_cafe\\_janeiro\\_de\\_2017.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_01_17_14_51_54_boletim_cafe_janeiro_de_2017.pdf). Accessed on: 05/17/2017.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solos / organizadores, Guilherme Kangussú Donagema... [et al.]. - Dados eletrônicos. - Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p. - (Documentos / Embrapa Solos).

FERNANDES, M. M. et al. Matéria orgânica e biomassa microbiana em plantios de eucalipto no Cerrado Piauiense. **Revista Floresta e Ambiente**, v.19, p.453-459, 2012.

GLAESER, D. F. et al. Biomassa microbiana do solo sob sistemas de manejo orgânico em cultivos de café. **Ensaio e Ciência: Ciências biológicas, Agrária e da Saúde**, v.14, n.2, p.103-114, 2010.

GONTIJO, I. et al. Atributos físico-hídricos de um Latossolo de cerrado em diferentes posições de amostragem na lavoura cafeeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2227-2234, 2008.

GUARÇONI M., A. Características da fertilidade do solo influenciadas pelo plantio adensado de café conilon. **Semina: Ciências Agrárias**, v.32, p.949-958, 2011.

GUIMARÃES, G. P. et al. Erosão hídrica e compartimentos da matéria orgânica do solo em sistemas cafeeiros conservacionistas e convencionais. **Coffee Science**, v.10, p.365-374, 2015.

GUIMARÃES, G. P. et al. Soil aggregation and organic carbon of oxisols under coffee in agroforestry systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.278-287, 2014a.

GUIMARÃES, G. P. et al. Stocks and oxidizable fractions of soil organic matter under organic coffee agroforestry systems. **Coffee Science**, v.9, n.1, p.132-141, 2014b.

GUIMARÃES, G. P. et al. Avaliação da qualidade do solo e de cafeeiros em propriedade familiar do Território do Caparaó-ES. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.8, p.236 -246, 2013.

GUIMARÃES, N. F. et al. Biomassa e atividade microbiana do solo em diferentes sistemas de cultivo do cafeeiro. **Revista de Ciências Agrárias**, v.40, n.1, p.34-44, 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Censo Agropecuário 2006 – agricultura familiar – primeiros resultados. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 267p. 1CD – ROM.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. **Biology and Fertility Soils**, Vienna, v.27, p.408-416, 1998.

JÚNIOR, M. M.; MELO, W. J. Alterações na Matéria Orgânica e na Biomassa Microbiana em Solo de Mata Natural Submetido a Diferentes Manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.6, p.1177-1182, jun. 2000.

KIEHL, E.L. **Manual de edafologia**. São Paulo, Ceres, 1979. 262p.

LIEBIG, M. A. et al. Carbon dioxide efflux from long-term grazing management systems in a semiarid region. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.164, p.137-144, 2013.

LOSS, A. et al. Frações oxidáveis do carbono orgânico em Argissolo Vermelho-Amarelo sob sistema de aléias. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n.5, p.867-874, 2009.

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. 1ª Ed. Viçosa, UFV, 2005. 107 p.

NUNES, L. A. P. L. et al. Atributos físicos do solo em área de monocultivo de cafeeiro na zona da mata de Minas Gerais. **Bioscience Journal**, v.26, n.1, p.71-78, 2010.

NUNES, L. A. P. L. et al. Impacto do monocultivo de café sobre os indicadores biológicos do solo na zona da mata mineira. **Ciência Rural**, v.39, n.9, p. 2467 a 2474, 2009.

PEREIRA, S.P. et al. Crescimento, produtividade e bienalidade do cafeeiro em função do espaçamento de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.152-160, 2011.

OKSANEN, J. et al. Vegan: Community Ecology Package. R package version 2.3-5. 2016. <<http://CRAN.R-project.org/package=vegan>>.

OLIVEIRA JUNIOR, A. C. et al. Indicadores Químicos de Qualidade da Matéria Orgânica de Solo da Sub-Bacia do Rio das Mortes Sob Manejos Diferenciais de Cafeeiros. **Química Nova**, v.31, n.7, p.1733-1737, 2008.

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

PROCHNOW, D. et al.. Razão de perdas de terra e fator c da cultura do cafeeiro em cinco espaçamentos, em Pindorama (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.91-98, 2005.

RANGEL, O. J. P. et al. Estoque e frações da matéria orgânica de Latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1341-1353, 2007.

RANGEL, O. J. P. et al. Frações oxidáveis do carbono orgânico do Latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. **Ciência & Agrotecnologia**, Lavras, v.32, n.2, p.429-437, 2008.

RIBEIRO, A. C.; GONTIJO, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (eds.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais –5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 359 p. 1999.

SCALCO, M. S. et al. Cultivo irrigado e não irrigado do cafeeiro em plantio superadensado. **Coffee Science**, v.6, p.193-202, 2011.

SIQUEIRA, H. M. de.; SOUZA, P. M. de.; PONCIANO, N. J. Café convencional versus café orgânico: perspectivas de sustentabilidade socioeconômica dos agricultores familiares do Espírito Santo. **Revista Ceres**, v.58, p.155-160, 2011.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. VI-Matéria Orgânica do Solo. In: NOVAIS, R. F; ALVAREZ, V. H. A. V.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do Solo**. 1.ed. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.275-374.

R CORE TEAM (2015). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <http://www.R-project.org/>.

SWIFT, R. S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D. L., ed. Methods of soil analysis. Part.3. Chemical methods. Soil Science society of America Journal. Book Series: 5. **Soil Science society of America Journal**. Madison, 1996. p.1018-1020.

TEDESCO, M. J, et al. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 174 p, 1995.

THEODORO, V. C. A. et al. Alterações químicas em solo submetido a diferentes formas de manejo do cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.6, p.1039-1047, 2003.

THOMAZINI, A. et al. SOC dynamics and soil quality index of agroforestry systems in the Atlantic rainforest of Brazil. **Geoderma Regional**, v.5, p.15-24, 2015.

VALADARES, S. V. et al. Produtividade e bienalidade da produção de cafezais adensados, sob diferentes doses de N e K. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, p.296-303, 2013.

VALADARES, S. V. et al. Yield gains of coffee plants from phosphorus fertilization may not be generalized for high density planting. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.905-911, 2014.

XAVIER, F.A.S. et al. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na Chapada da Ibiapaba – CE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, n.2, p.247-258, 2006.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.19, p.1467-1476, 1988.

WINK, C. et al. A idade das plantações de Eucalyptus sp. influenciando os estoques de carbono. **Ciência Florestal**, v.23, n.2, p.333-343, 2013.

## CAPÍTULO 5

### **SUGESTÕES /RECOMENDAÇÕES ACERCA DOS INIBIDORES DE UREASE, SERAPILHEIRA CAFEEIRA E ADENSAMENTO CAFEEIRO**

Nos últimos anos, tem-se dado grande importância às pesquisas relacionadas à matéria orgânica do solo. Isto se deve aos efeitos benéficos nos atributos químicos, físicos e biológicos do mesmo. Contudo, alterações no manejo como a substituição de um fertilizante por outro, aporte de resíduos orgânicos ou aumento do número de plantas em uma determinada área podem impactar sobre a matéria orgânica do solo. Esse impacto se torna mais visível em solos que apresentam baixos teores de nutrientes, a exemplo de Latossolos presentes na região montanhosa do Território do Caparaó do Espírito Santo.

No que tange ao uso dos fertilizantes com inibidores de urease, estes são uma alternativa à adubação nitrogenada a base de ureia, pois tanto a ureia+NBPT (redução média de 83,1%) quanto a ureia+Cu+B (redução média de 20,4%) promoveram redução da quantidade de amônia volatilizada em relação à ureia comum. Outro ganho ambiental que não é contabilizado pelo cafeicultor com a utilização dos inibidores de urease é a redução nas emissões de CO<sub>2</sub> do solo. Reduções médias de 67,6% para ureia+NBPT e 23,5% para ureia+Cu+B foram diagnosticadas na presente pesquisa em relação à ureia comum. Contudo, mesmo havendo menor volatilização de NH<sub>3</sub>, menor emissão de CO<sub>2</sub> e também redução da dose a ser aplicada com o uso dos inibidores de urease, a utilização destes ainda não é bem aceita pelo cafeicultor familiar. Isso se deve ao elevado custo para a aquisição destes fertilizantes já que a ureia+Cu+B e ureia+NBPT possui custo de compra em torno de 15 e 30% superior em relação à ureia comum, respectivamente.

Há de se ressaltar que a redução na atividade da urease do solo com seus inibidores de urease é benéfica por proporcionar redução na liberação do N presente nestes fertilizantes, fazendo com que permaneça maior período de tempo no solo. Assim sendo, o atraso e redução da volatilização são importantes por proporcionar

maior tempo para a incorporação ou movimentação do fertilizante para volume maior de solo.

Uma questão de interesse quanto à utilização dos inibidores de urease está relacionada ao pH do solo. A ureia+NBPT antecipou a acidificação do solo aos 16 dias em relação às outras fontes que reduziram o pH aos 32 dias. Desse modo, o monitoramento do pH do solo faz-se necessário principalmente se utilizar ureia+NBPT que possui rápida hidrólise e conseqüentemente menor eficiência se o pH do solo estiver ácido.

Apesar das fontes e doses de N não terem impactado nos teores de matéria orgânica, observou-se que a adubação nitrogenada promoveu redução de 5,1% nos teores de COT dos 16 aos 32 dias. O estímulo proporcionado à microbiota do solo pela adição nitrogenada faz com que parte da matéria orgânica do solo seja decomposta em curto período de tempo. Assim sendo, é recomendado o aporte de resíduos orgânicos no solo e o monitoramento da matéria orgânica ao longo das aplicações dos fertilizantes nitrogenados.

Um resíduo orgânico presente nas lavouras cafeeiras e de grande importância na redução da volatilização é a própria serapilheira cafeeira. Na ausência de serapilheira, a volatilização foi de 17,4% do equivalente a 150 kg ha<sup>-1</sup> de N para a ureia, já com a dose equivalente a 4500 kg ha<sup>-1</sup> de serapilheira a volatilização foi de 11,6%. Os dados demonstram que é recomendada a utilização da serapilheira cafeeira cobrindo a ureia, pois esta proporciona barreira física que reduz as perdas por volatilização. Em termos de volatilização, as associações de inibidores de urease mais serapilheira não são recomendadas, pois não reduziram as volatilizações como observado para ureia. Assim, o trabalho envolvido pelo cafeicultor para retornar com a serapilheira da entre linha para a copa cafeeira quando se utiliza ureia é compensado, porém, estudos de campo são necessários para se ter confirmação.

Outra compensação do uso da serapilheira cafeeira que justifica sua utilização está relacionada à taxa de decomposição e liberação de nutrientes. Após 64 dias de

decomposição, a quantidade liberada de C, N, P, K, Ca e Mg foi equivalente a 547,1; 49,0; 1,28; 17,4; 18,2 e 5,0 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, para a dose equivalente a 4,5 Mg ha<sup>-1</sup> de serapilheira. Esses nutrientes liberados contribuem na fertilização do solo. Apesar da baixa taxa de decomposição e pequena quantidade de nutriente liberado, há de se ressaltar a importância da permanência da serapilheira no solo na prevenção contra erosão e no auxílio na manutenção da umidade do solo.

Novamente, há de se relatar sobre a importância de utilizar fontes orgânicas de rápida decomposição, a exemplo de leguminosas, esterco e compostos orgânicos. Por ser a serapilheira cafeeira rica em lignina, celulose e polifenóis, a serapilheira não incrementou em matéria orgânica durante o período avaliado. Ao contrário, verificou-se redução de 15,4 % nos teores de COT e 21,4% nos teores de N dos 16 aos 64 dias. Daí, a necessidade e recomendação da utilização de fontes orgânicas com altos teores de N.

Apesar da indicação na utilização da serapilheira cafeeira, esta deve ser utilizada em lavouras já formadas. Não é recomendada a utilização de serapilheira foliar cafeeira no desenvolvimento inicial do cafeeiro, pois a muda de cafeeiro é sensível ao aleloquímico alcaloide cafeína. A serapilheira proporcionou redução de 9,1; 3,3; 10,5 e 19,3% na altura, número de nós, diâmetro do caule e número de ramos plagiotrópicos, respectivamente. Com esses dados não é recomendado o uso de serrapilheira junto às mudas durante a renovação do cafezal.

Ainda em relação ao desenvolvimento inicial do cafeeiro é recomendado ao cafeicultor não multiplicar uma dose habitual pelo número de plantas quando se aumenta o número de plantas na área (sistema adensado). Tal diagnóstico foi verificado nesta pesquisa e confirmado em outros trabalhos de campo. Assim sendo, independente da fonte de N, a dose 1,2 g vaso<sup>-1</sup> de N foi suficiente para promover o mesmo desenvolvimento inicial que a dose de 4,8 g vaso<sup>-1</sup> de N. Doses elevadas de N não são recomendadas no desenvolvimento inicial do cafeeiro após pegamento das mudas, pois além de caracterizar perda de recurso financeiro e impacto ambiental pela maior volatilização da NH<sub>3</sub> e emissão de CO<sub>2</sub>, proporciona redução

do número de ramos plagiotrópicos. Como os ramos plagiotrópicos são os ramos de produção, a menor quantidade de ramos observados no início do desenvolvimento do cafeeiro poderá impactar futuramente em menor produtividade.

Outra tendência no manejo do cafeeiro que implica em mudanças nos tratos culturais é o adensamento. Esta prática tem sido recomendada principalmente em regiões montanhosas com cafeicultura familiar por proporcionar maior rentabilidade e proteção do solo contra a erosão.

Recomenda-se o uso do sistema cafeeiro arábica adensado, pois tem se verificado uma melhora nos valores de alguns atributos químicos, físicos e biológicos do solo, além de menores emissões de CO<sub>2</sub>. Com apenas 7 anos de adoção no manejo adensado em área que era anteriormente cultivado sob pastagem em degradação, os resultados mostraram-se, para muitas variáveis, semelhantes ao cafeeiro convencional que apresentava 10 anos de idade. Contudo, é válido ressaltar que o ano de 2015 foi aquém do esperado em relação aos índices pluviométricos. Assim como em todo o estado do Espírito Santo, o distrito de Celina em Alegre-ES, local onde estão presentes as lavouras estudadas, também passou longa estiagem. Impactos negativos na planta como a queimadura das folhas e seca dos ponteiros foram verificados. Essa situação influencia para baixo o aporte de biomassa de resíduos cafeeiros na lavoura. Na época da coleta do solo (abril de 2016), a lavoura apresentava “castigada” e estava em recuperação. O baixo aporte de biomassa mencionado reforça a necessidade de diversificação de plantas cultivadas na área de produção, mesmo em sistemas adensados. Além da maior diversidade de resíduos aportada ao solo, a obtenção de microclimas proporcionados pelas diferentes alturas dos extratos vegetais ameniza os efeitos da alta insolação diretamente sobre o cafeeiro e sobre o solo em épocas de ausência de chuva.

## APÊNDICES

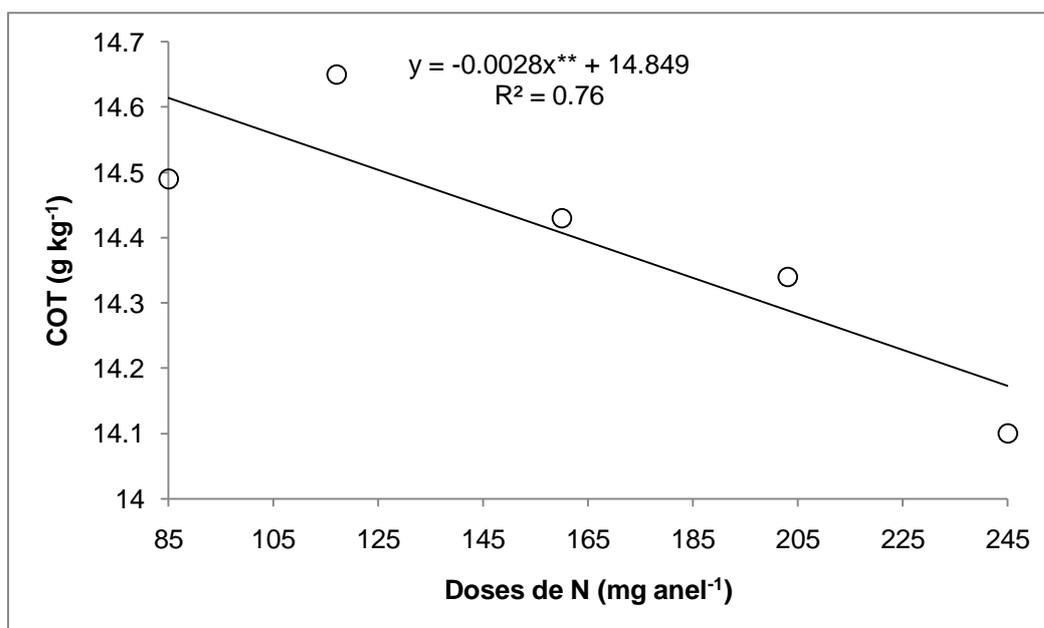
## Capítulo 1

**APÊNDICE A-** Média dos teores de carbono orgânico total (COT) em função das fontes de N utilizadas.

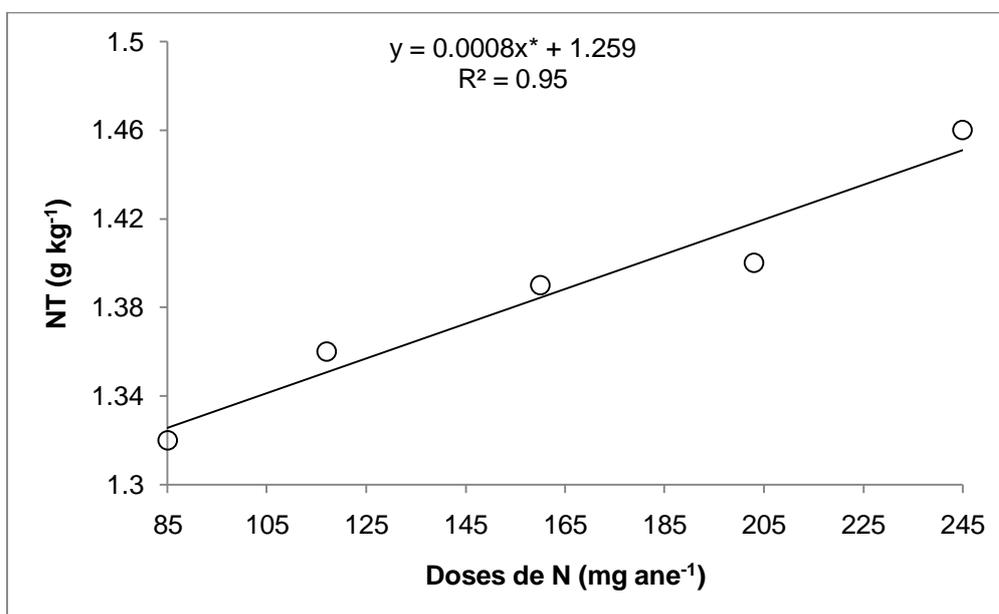
Fontes de N	COT (g kg <sup>-1</sup> )
UC	14,43 a
U+NBPT	14,36 a
U+Cu+B	14,41 a

Médias seguidas por mesma letra não diferem em 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey. Ureia Comum (UC), Ureia+NBPT (U+NBPT) e Ureia+Cu+B (U+Cu+B).

**APÊNDICE B-** Média dos teores de carbono orgânico total (COT) em função das doses de N aplicadas.



**APÊNDICE C-** Média dos teores de nitrogênio total (NT) em função das doses de N aplicadas.

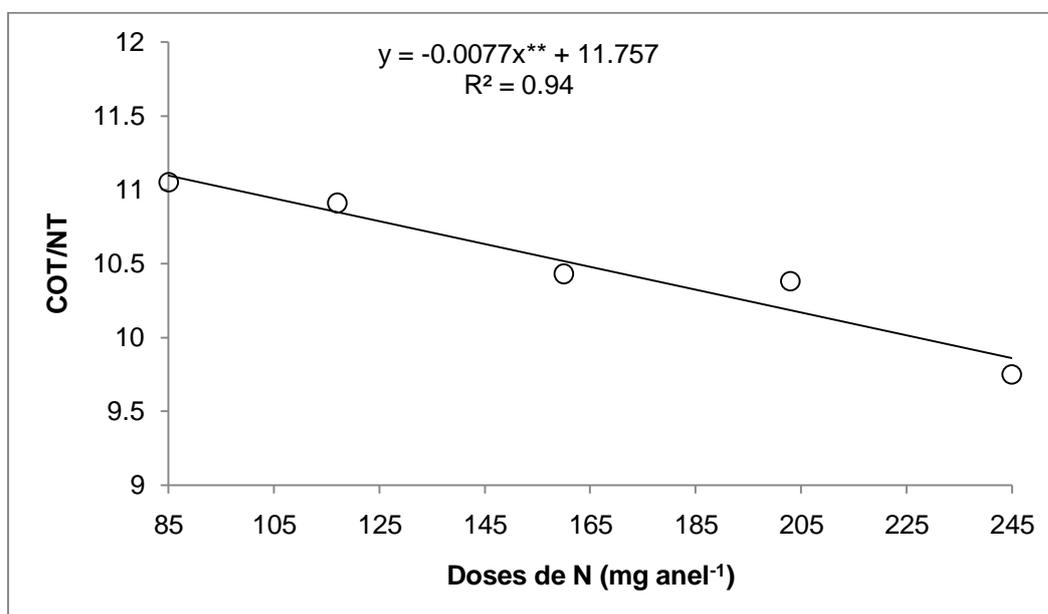


**APÊNDICE D-** Média da relação carbono orgânico total/ nitrogênio total (COT/NT) em função das fontes de N utilizadas.

Fontes de N	COT/NT
UC	10,54 ab
U+NBPT	10,08 b
U+Cu+B	10,89 a

Médias seguidas por mesma letra não diferem em 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey. Ureia Comum (UC), Ureia+NBPT (U+NBPT) e Ureia+Cu+B (U+Cu+B).

**APÊNDICE E-** Média da relação carbono orgânico total/ nitrogênio total (COT/NT) em função das doses de N aplicadas.

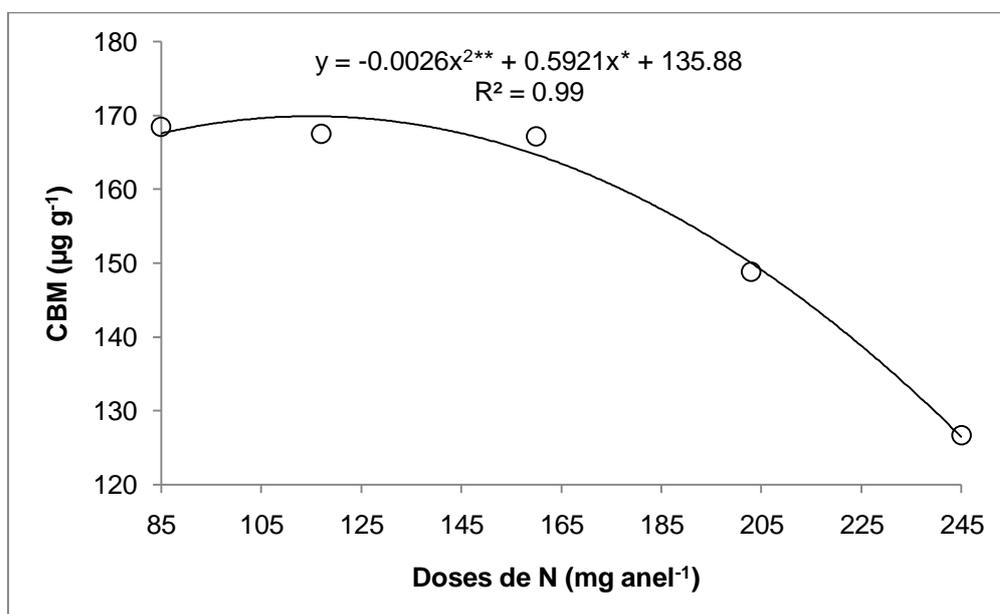


**APÊNDICE F-** Média dos teores de carbono da biomassa microbiana (CBM) em função das fontes de N utilizadas.

Fontes de N	CBM ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )
UC	152,58 ab
U+NBPT	135,61 b
U+Cu+B	179,15 a

Médias seguidas por mesma letra não diferem em 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey. Ureia Comum (UC), Ureia+NBPT (U+NBPT) e Ureia+Cu+B (U+Cu+B).

**APÊNDICE G-** Médias dos teores de carbono da biomassa microbiana (CBM) em função das doses de N aplicadas.

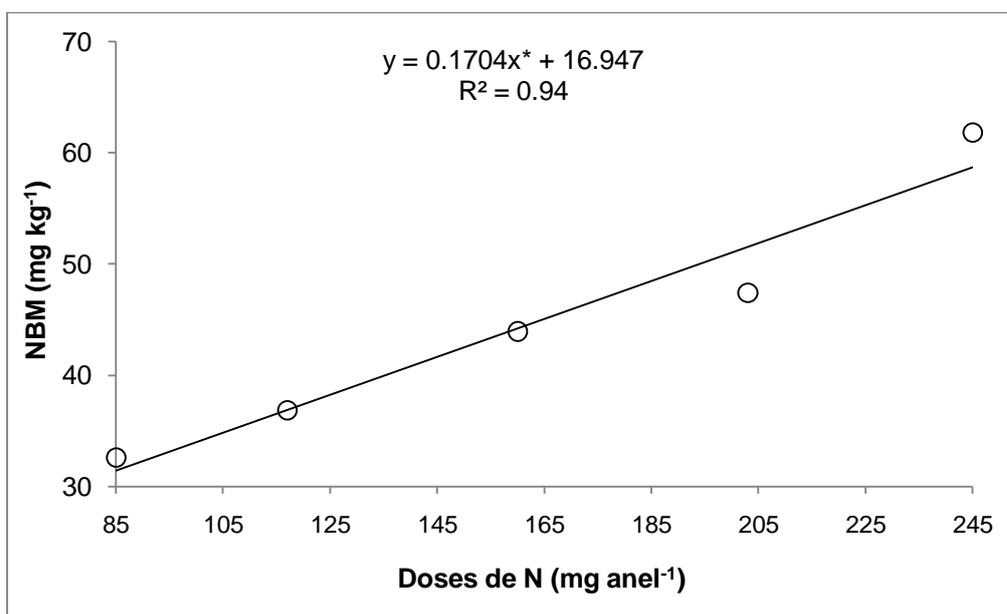


**APÊNDICE H-** Média dos teores de nitrogênio da biomassa microbiana (NBM) em função das fontes de N utilizadas.

Fontes de N	NBM (mg kg <sup>-1</sup> )
UC	43,32 a
U+NBPT	42,75 a
U+Cu+B	47,59 a

Médias seguidas por mesma letra não diferem em 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey. Ureia Comum (UC), Ureia+NBPT (U+NBPT) e Ureia+Cu+B (U+Cu+B).

**APÊNDICE I** - Médias dos teores de nitrogênio da biomassa microbiana (NBM) em função das doses de N aplicadas.



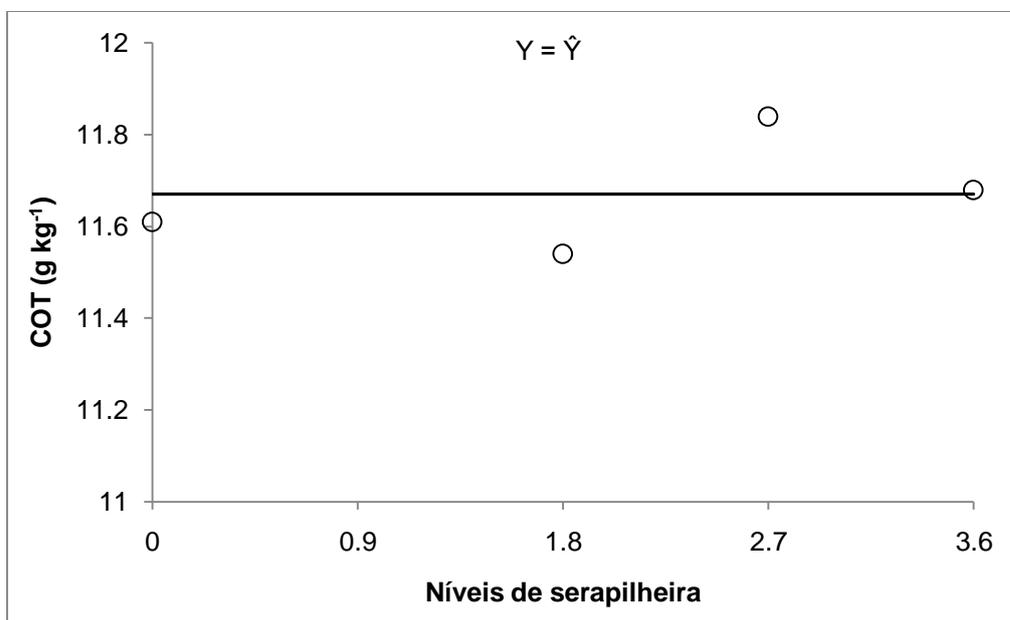
## Capítulo 2

**APÊNDICE J**- Média dos teores de carbono orgânico total (COT) em função das fontes de N utilizadas.

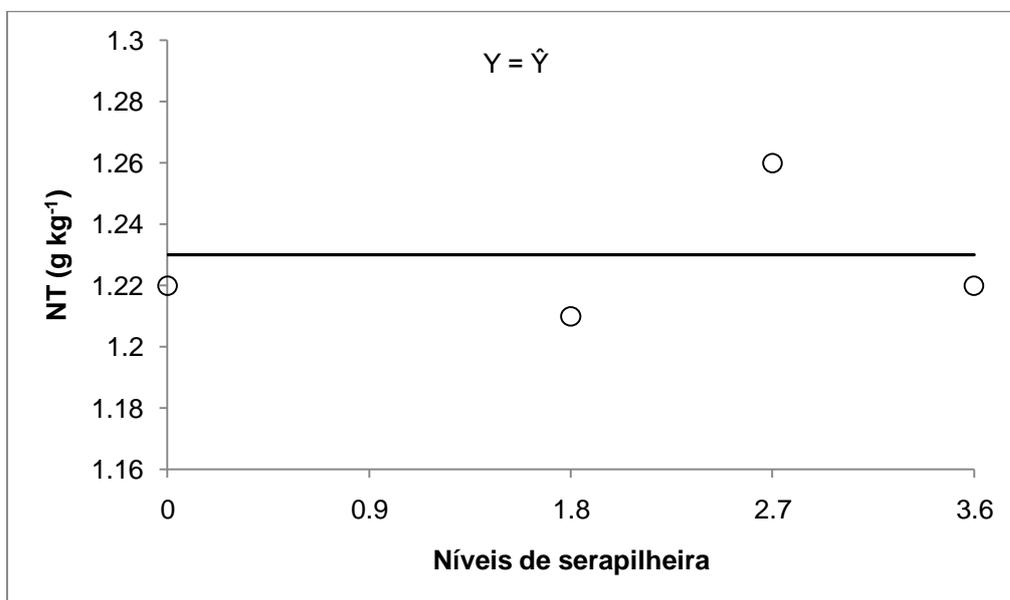
Fontes de N	COT (g kg <sup>-1</sup> )	NT (g kg <sup>-1</sup> )
UC	11,24 a	1,19 a
U+NBPT	11,79 a	1,24 a
U+Cu+B	11,96 a	1,24 a
Média	11,67	1,22

Médias seguidas por mesma letra não diferem em 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey. Ureia Comum (UC), Ureia+NBPT (U+NBPT) e Ureia+Cu+B (U+Cu+B).

**APÊNDICE K-** Média dos teores de carbono orgânico total (COT) em função das doses dos níveis de serapilheira aplicados.



**APÊNDICE L-** Média dos teores de nitrogênio total (NT) em função dos níveis de serapilheira aplicados.

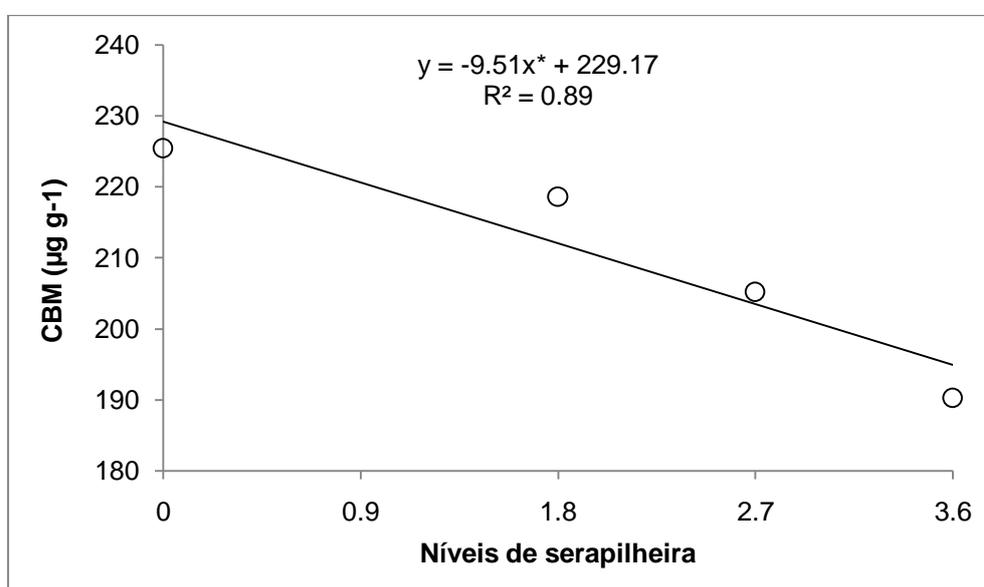


**APÊNDICE M-** Média dos teores de carbono da biomassa microbiana (CBM) em função das fontes de N utilizadas.

Fontes de N	CBM ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )
UC	195,45 b
U+NBPT	230,00 a
U+Cu+B	204,24 ab

Médias seguidas por mesma letra não diferem em 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey. Ureia Comum (UC), Ureia+NBPT (U+NBPT) e Ureia+Cu+B (U+Cu+B).

**APÊNDICE N-** Médias dos teores de carbono da biomassa microbiana (CBM) em função dos níveis de serapilheira aplicados.



**APÊNDICE O-** Média dos teores de nitrogênio da biomassa microbiana (NBM) em função das fontes de N utilizadas.

Fontes de N	NBM ( $\text{mg kg}^{-1}$ )
UC	17,7 c
U+NBPT	21,5 b
U+Cu+B	23,2 a

Médias seguidas por mesma letra não diferem em 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey. Ureia Comum (UC), Ureia+NBPT (U+NBPT) e Ureia+Cu+B (U+Cu+B).

**APÊNDICE P** - Médias dos teores de nitrogênio da biomassa microbiana (NBM) em função dos níveis de serapilheira aplicados.

