

WANDER DOUGLAS PEREIRA

**DINÂMICA DO N E C EM SOLO ADUBADO COM CROTALÁRIA E
SULFATO DE AMÔNIO**

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2014

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

P436d
2014
Pereira, Wander Douglas, 1988-
Dinâmica do N e C em solo adubado com crotalária e
sulfato de amônio / Wander Douglas Pereira. – Viçosa, MG,
2014.
49f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexos.

Orientador: Ricardo Henrique Silva Santos.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 37-47.

1. Adubação verde. 2. Amônia - Volatilidade. 3. Solos -
Compostos orgânicos. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Fitotecnia. Mestrado em Fitotecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 631.874

WANDER DOUGLAS PEREIRA

DINÂMICA DO N E C EM SOLO ADUBADO COM CROTALÁRIA E
SULFATO DE AMÔNIO

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

Aprovada: 27 de Outubro de 2014.



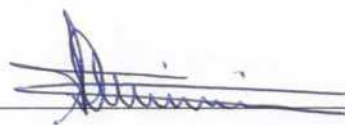
Prof^a. Emanuelle Mercês Barros Soares



Prof. Leonardus Vergütz

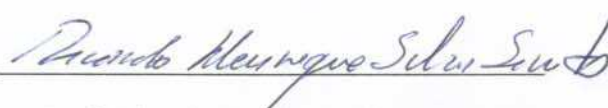


Dr. Paulo César de Lima



Prof. Teógenes Senna de Oliveira

(Coorientador)



Prof. Ricardo Henrique Silva Santos

(Orientador)

À Deus, pela saúde e oportunidades a mim concedidas; aos meus pais, José Luiz e Maria das Graças, e aos meus irmãos, Wagner e Kélen, pelos esforços, incentivos, orações e por serem os pilares de sustentação para mais uma etapa vencida em minha vida; aos demais familiares e amigos...

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade e condições para realizar este trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, Capes, pela concessão da bolsa de estudo.

Ao professor Ricardo pela orientação, paciência e ensinamentos desde a época de estagiário e bolsista de iniciação científica até o final deste curso.

Ao meu coorientador professor Teógenes pela atenção, paciência e ensinamentos desde o início do Mestrado.

A todos os amigos do Laboratório de Agroecologia que sempre tornaram mais prazerosa as atividades de campo e laboratório, pelos momentos de descontração e pelas contribuições para este trabalho, agradeço sinceramente.

Aos funcionários da Horta Velha pelo apoio na condução do experimento sempre que necessário.

Aos funcionários do Laboratório de Física do Solo.

Aos funcionários e amigos do Laboratório de Matéria Orgânica e Resíduos.

BIOGRAFIA

WANDER DOUGLAS PEREIRA, filho de José Luiz Pereira e Maria das Graças Pereira, nasceu no dia 24 de Setembro de 1988, em Viçosa-MG.

Em Agosto de 2007 iniciou o curso de Agronomia na Universidade Federal de Viçosa, vindo a concluí-lo em Novembro de 2012.

Em Novembro de 2012 iniciou o curso de Mestrado em Fitotecnia no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, defendendo a dissertação em Outubro de 2014.

RESUMO

PEREIRA, Wander Douglas, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, Outubro de 2014. **Dinâmica do N e C em solo adubado com crotalária e sulfato de amônio.** Orientador: Ricardo Henrique Silva Santos. Coorientadores: Teógenes Senna de Oliveira e Segundo Sacramento Urquiaga Caballero.

A adubação verde apresenta grande potencial para incrementar matéria orgânica do solo (MOS) e N no sistema agrícola, possibilitando promover diversos benefícios em propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Conhecer, ao longo do tempo, a dinâmica de C e N em frações da matéria orgânica do solo, bem como as perdas por volatilização de amônia, torna-se importante a fim de melhor compreender o assunto e aumentar os benefícios da adubação verde para o sistema agrícola. Objetivou-se com este trabalho estudar a dinâmica do C e N em frações da MOS e as perdas por volatilização de amônia, após a adubação do cafeeiro com *Crotalaria juncea* e sulfato de amônio. O experimento foi conduzido em ambiente protegido, em vasos de 150 dm³ e 0,59 m² de área superior, contendo um cafeeiro (*Coffea arabica* L.) cultivar Catuaí 44 com dois meses de idade após o transplântio. Este trabalho foi conduzido em cinco repetições, com um tratamento e avaliações ao longo do tempo. Foi aplicado aos vasos 280 g de material orgânico proveniente da parte aérea da crotalaria (4,75 Mg ha⁻¹ e teor de N na matéria seca de 3,4%), visando fornecer parte da dose de N recomendada para a cultura do café. O restante da dose de N foi fornecido na forma de sulfato de amônio. As adubações de plantio forneceram 16,8 g/vaso de N, sendo 9,6 via leguminosa e 7,2 g/vaso de N via sulfato de amônio. Logo após a distribuição da leguminosa aos vasos com cafeeiros foram instalados coletores de amônia classificados como semi-aberto e estáticos. No interior desses tubos foi adicionada a leguminosa na mesma proporção aplicada aos vasos. Nesses tubos haviam espumas embebidas com ácido sulfúrico e glicerina, que captavam a amônia volatilizada. As espumas foram trocadas aos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 12, 15, 18, 25, 32, 67 e 123 dias após a instalação dos coletores. Determinou-se o N retido nas espumas. Altas taxas de volatilização de amônia ocorreram logo nos primeiros dias após a aplicação da leguminosa. Mais de 50% da amônia volatilizada no período avaliado foi perdida após nove dias da instalação do experimento. Após 30 dias a volatilização de amônia se equivaliu a 10,7% do total de N aplicado, e a 14,6% após 123 dias. Para estudar a dinâmica do C e N no solo e em frações da MOS foram coletadas amostras de solo dos vasos nas profundidades 0-5 cm e 5-10 cm. A primeira

coleta foi realizada antes da aplicação da crotalária e sulfato de amônio, sendo considerada a testemunha. Outras cinco coletas foram realizadas a cada dois meses a partir da aplicação da leguminosa e sulfato de amônio, aos 60, 120, 180, 240 e 300 dias. Entre 240 e 300 dias foi realizada parte da adubação nitrogenada de primeiro ano pós-plantio, quando foi aplicado 15 g/vaso de N. Foi realizado o fracionamento densimétrico e granulométrico a fim de se obter as frações matéria orgânica leve livre (MOL livre), matéria orgânica particulada (MOP) e matéria orgânica associada aos minerais (MOM). Determinou-se os estoques de CO e N nas frações da MOS e também no solo. Na camada 0-5 cm, o estoque de CO no solo e na MOM apresentou reposta linear crescente, linear decrescente na MOP e quadrática na MOL livre, com incremento inicial nos valores. Já na camada 5-10 cm os estoques de CO no solo e na MOM apresentaram resposta quadrática com queda inicial nos valores. Na MOP a resposta foi quadrática com incremento inicial nos valores, enquanto que na MOL a resposta foi linear decrescente. A variação no estoque de CO (ΔEstCO) do solo foi positiva em todas as avaliações em relação à testemunha, em ambas as camadas. As frações da MOS apresentaram ΔEstCO positivas na maior parte do tempo. Os estoques de N no solo, MOM e MOP apresentaram respostas quadráticas com queda inicial nos valores, na camada 0-5 cm. Na MOL livre a resposta foi também quadrática, porém com incremento inicial nos valores. Na camada de 5-10 cm não houve alteração significativa nos estoques de N do solo, MOM e MOP. Enquanto que na MOL livre o estoque de N apresentou resposta linear decrescente. A variação no estoque de N (ΔEstN) ficou positiva na maior parte do tempo no solo, MOL livre e MOP, na camada 0-5 cm, em relação à testemunha. Já na camada 5-10 cm a ΔEstN foi sempre negativa no solo, MOP e MOM. Somente a fração MOL livre apresentou ΔEstN positiva, na camada 5-10 cm. Nas condições desse experimento, ocorrem altas taxas de volatilização de amônia logo após a adubação do cafeeiro com *C. juncea* e sulfato de amônio. A variação no estoque de COT do solo foi positiva durante todo tempo de avaliações, em ambas as camadas, permitindo conservar carbono no solo. A prática adotada foi eficiente para manter positiva a variação no estoque de N no solo e em frações da matéria orgânica do solo na maior parte do tempo somente na camada de 0-5 cm. A maior parte do N aportado ao solo foi rapidamente incorporado às frações mais estáveis da MOS.

ABSTRACT

PEREIRA, Wander Douglas, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, October of 2014.
Dynamics of N and C in soil fertilized with sunnhemp and ammonium sulfate.
Adviser: Ricardo Henrique Silva Santos. Co-advisers: Teógenes Senna de Oliveira and Segundo Sacramento Urquiaga Caballero.

Green manure presents great potential to increase soil organic matter (SOM) and N in the agricultural system, enabling promote several benefits to the soil's physical, chemical and biological properties. Know, over time, the dynamics of C and N in soil organic matter in the soil, as well as losses by ammonia volatilization, it is important to better understand the subject and increase the benefits of green manure for agricultural system. The objective of this work was to study the dynamics of C and N fractions of SOM and losses by ammonia volatilization after fertilization of coffee with *Crotalaria juncea* and ammonium sulfate. The experiment was conducted in a greenhouse in vases of 150 dm³ and 0,59 m² of top area, containing a coffee (*Coffea arabica* L.) grow Catuaí 44 with two months after transplanting. This study was conducted in five replicates of a treatment and evaluations over time. Was applied to the vases 280 g of organic material from the shoot crotalaria (4,75 Mg ha⁻¹ and N content in the dry matter of 3,4%), with the purpose of providing part of the N dose that is recommended for the coffee culture. The remaining dose of N was provided as ammonium sulfate. The planting fertilizations provided 16,8 g N/vase, and 9,6 via legume and 7,2 g N/vase via ammonium sulfate. Soon after the distribution of the legume on the vases with coffee tree were installed ammonia collectors classified as semi-open and static. Inside these tubes the leguminous were added in the same proportions as applied on the vases. These tubes were soaked foam with sulfuric acid and glycerine, which caught the volatilized ammonia. The foams were exchanged on the days 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 12, 15, 18, 25, 32, 67 and 123 after installation of the collectors. The N retained in the foam was then determined. High ammonia volatilization rates occurred in the first days after the application of legume. More than 50% of ammonia volatilized during the study period was lost after nine days of the experiment. After 30 days the ammonia volatilization was equivalent to 10,7% of the total N applied, and 14,6% after 123 days. To study the dynamics of C and N in soil and SOM fractions were collected soil samples from vases in the depths 0-5 and 5-10 cm. The first collection was performed before the application of sunnhemp and ammonium sulfate, and is considered the witness. Five other samples

were taken every two months from the application of legume and ammonium sulfate, 60, 120, 180, 240 and 300 days. Between 240 and 300 days was carried out of the nitrogen fertilization of first year after planting, when applied 15 g/vase of N. Was performed density and particle size fractionation to obtain fractions free light organic matter (free LOM) , particulate organic matter (POM) and organic matter associated with minerals (MOM). It was determined the stocks of OC and N in fractions of SOM and also in soil. In the 0-5 cm layer, the stock of OC in soil and MOM showed increasing linear response, linear decreasing in POM and quadratic in free LOM, with an initial increase in values. In the 5-10 cm layer CO stocks in soil and MOM showed a quadratic response with an initial drop in values. POM in the response was quadratic with an initial increase in values, while in LOM and response decreased linearly. The variation in the stock of OC (ΔEstOC) soil was positive in all evaluations compared to the control in both layer. Fractions of SOM were positively ΔEstOC most of the time. The N stocks in the soil, MOM and POM showed quadratic responses with an initial drop in values in the layer 0-5 cm. In free LOM response was also quadratic, but with an initial increase in values. In the layer of 5-10 cm, no significant change in soil N stocks, MOM and POM. While the stock of N in free LOM decreased linearly. The variation on N (ΔEstN) was positive for most of the time on the ground, free LOM and POM in the layer 0-5 cm, compared to the control. In the layer 5-10 cm ΔEstN was always negative in the soil, POM and MOM. Only the free fraction LOM was positively ΔEstN in the layer 5-10 cm. In the conditions of this experiment, there occurred high rates of volatilized ammonia soon after the fertilization of the coffee plant with *C. juncea* and ammonium sulfate. The variation of the TOC stored in the soil was positive during the entire evaluation processes, at both layers, allowing for the conservation of carbon in the soil. The adopted practice was efficient to keep a positive variation in the N stored in the soil and in the fractions of the organic material in the soil for most of the time only in the 0-5 cm layer. The largest part of the N applied to the soil was rapidly incorporated into the more stable SOM fractions.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO GERAL	3
2.1. Objetivos específicos	3
3. REVISÃO DE LITERATURA	3
3.1. A adubação verde.....	3
3.1.1. <i>Crotalaria juncea</i>	4
3.2. Mineralização do N.....	5
3.3. Perdas de N por volatilização	7
3.4. A matéria orgânica do solo	10
3.5. Formas e frações do N na MOS.....	11
4. MATERIAL E MÉTODOS	12
4.1. Aspectos gerais	12
4.2. Produção da leguminosa	14
4.3. Determinação da amônia volatilizada.....	15
4.4. Análises das frações da MO em camadas do solo	17
4.4.1. Fracionamento densimétrico.....	18
4.4.2. Fracionamento granulométrico.....	18
4.4.3. Determinação dos teores e estoques de nitrogênio e carbono orgânico ...	20
4.5. Análise estatística	20
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
5.1. Volatilização de amônia.....	21
5.2. Estoques de CO e N no solo e em frações da MOS.....	25
6. CONCLUSÕES.....	36
7. REFERÊNCIAS.....	37
ANEXOS.....	48

1. INTRODUÇÃO

Devido às preocupações com questões ambientais há a tendência em se priorizar técnicas de produção que promovam maior sustentabilidade. Nesse sentido, é fundamental o estudo de processos biológicos visando a nutrição dos cultivos.

O N é comumente o nutriente mais exigido pelas culturas, merecendo atenção especial. No caso do café (*Coffea arabica* L.) existe grande demanda por esse nutriente, entretanto, o fornecimento de N a partir de processos biológicos é um fator limitante, visto que o uso de composto orgânico requer grandes doses, além de haver grande dificuldade para produzi-lo.

Uma alternativa para o fornecimento de N às culturas a partir de processos biológicos é a adubação verde. Os potenciais benefícios dessa técnica agrícola para o agroecossistema são amplamente conhecidos. Sabe-se que com essa prática é possível incrementar a matéria orgânica do solo (MOS) (Delarmelinda et al., 2010), e isso possibilita promover benefícios em propriedades físicas, químicas e biológicas para o solo (Duarte et al., 1995; Colozzi Filho & Cardoso, 2000; Moreira & Siqueira, 2006; Silva & Mendonça, 2007).

Além disso, o incremento de carbono orgânico no solo ajuda a mitigar o efeito estufa pela remoção do CO₂ da atmosfera (Hutchinson et al., 2007). O incremento da temperatura ambiental, decorrente do efeito estufa, pode promover aumentos na atividade biológica, acelerando a decomposição e mineralização da MOS (Lal, 2004). Diante disso, a adubação verde tem potencial para assimilar carbono e incrementar MOS, o que pode ajudar a reduzir o impacto da agricultura nas mudanças climáticas.

Outro benefício, associado a utilização de leguminosas, é o aporte de N para o sistema. Leguminosas apresentam grande potencial para fornecer N aos cultivos, como em cafeeiros (Ricci et al., 2005), em razão do potencial de FBN.

Entretanto, apesar desse potencial da adubação verde em incrementar MOS e N no sistema, nem sempre observa-se respostas positivas em variáveis de crescimento e, ou, de produção quando se utiliza essa técnica agrícola visando a nutrição nitrogenada dos cultivos, e em especial para o café (Paulo et al., 2001; Bergo et al., 2006; Paulo et al., 2006).

Comumente se observa nos trabalhos baixa eficiência de recuperação do N de leguminosas nas culturas. Geralmente, os valores são inferiores a 25% (Seo et al., 2006; Ambrosano et al., 2011; Araújo et al., 2011), enquanto que no solo e no material

remanescente recuperaram-se maiores quantidades de N derivado da leguminosa (Araújo et al., 2005; Seo et al., 2006; Lange et al., 2009; Araújo et al., 2011). Portanto é necessário compreender a dinâmica do N proveniente de leguminosas na MOS para aumentar a eficiência da adubação verde e seus benefícios.

O fracionamento físico da MOS é um procedimento que permite separar as frações orgânicas de acordo com sua localização física no solo. Com esse procedimento pode-se relacionar as frações da MOS com sua função no solo (Christensen, 2001; Sohi et al., 2001).

A matéria orgânica leve livre (MOL livre) é um compartimento mais sensível para indicar alterações devido a prática agrícola, comparativamente ao carbono orgânico total e o carbono associado à fração pesada (associações organo-minerais) (Marin et al., 2006; Souza et al., 2006). As associações organo-minerais (silte e argila) tendem a variar pouco com o manejo adotado (Souza et al., 2006). Conhecer as alterações nesses compartimentos orgânicos torna-se importante, uma vez que a maior parte do N do solo está na forma orgânica (Moreira & Siqueira, 2006; Cantarella, 2007).

Kölbl et al. (2006) estudaram a dinâmica do N, proveniente da mostarda (*Sinapis alba*), em frações da MOS. Inicialmente houve maior recuperação do N derivado da leguminosa na MOL livre, porém aos 161 dias após o início do experimento as frações organo-minerais de silte e argila continham as maiores proporções do N proveniente da mostarda. Bimüller et al. (2013) também relataram rápida recuperação do N, proveniente da serrapilheira em decomposição, nas associações organo-minerais de silte e argila. A rápida incorporação do N às frações orgânicas mais estáveis reduz a eficiência da adubação verde.

Além disso, o que pode estar interferindo para reduzir a eficiência da adubação verde são as perdas de N por volatilização de amônia. Apesar de se conhecer outras formas voláteis, a amônia é a principal forma estudada. Com a decomposição e mineralização do material orgânico ocorre a amonificação (Moreira & Siqueira, 2006). Nesse processo a amônia é produzida e pode ser perdida para a atmosfera, contabilizando as perdas por volatilização. Há relatos também de que pode haver perda de amônia diretamente do material em decomposição, sem envolver o solo no processo (Janzen & McGinn, 1991).

A definição se o processo de volatilização de amônia vai ocorrer ou não, em que intensidade e em quais formas voláteis depende de características como atividade biológica, condições edáficas e climáticas (Myrold, 2005; Cantarella, 2007). Também,

características do material em decomposição como teor de N, relação C/N, teores de lignina e polifenóis e se o material foi incorporado, ou não, irão definir o processo de volatilização (Ruijter et al., 2010).

A incorporação do resíduo vegetal reduz as perdas por volatilização de amônia (Ruijter et al., 2010). Entretanto no caso de culturas perenes como o cafeeiro, a prática da incorporação do adubo verde torna-se inviável, visto que a incorporação pode provocar danos às raízes do cafeeiro. Nesse caso, o procedimento adotado é a aplicação superficial. Porém, essa prática pode reduzir a eficiência da adubação verde devido a volatilização de amônia.

Diante da importância de se melhor compreender a dinâmica do carbono e nitrogênio em solo adubado com leguminosas, visando solucionar a baixa eficiência de fornecimento de N para culturas agrícolas, é que este trabalho foi proposto.

2. OBJETIVO GERAL

Objetivou-se com este trabalho estudar a dinâmica do carbono e nitrogênio em frações da MOS e as perdas por volatilização de amônia, após a adubação do cafeeiro com *Crotalaria juncea* e sulfato de amônio.

2.1. Objetivos específicos

- 2.1.1. Quantificar as frações da MOS e o N-total e carbono orgânico dessas frações ao longo do tempo;
- 2.1.2. Determinar os estoques de N-total e carbono orgânico nas camadas do solo ao longo do tempo;
- 2.1.3. Determinar os estoque de N e carbono orgânico nas frações da MOS ao longo do tempo.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. A adubação verde

A adubação verde pode ser definida como uma prática agrícola que tem como objetivo plantar uma espécie vegetal, cultivá-la até seu pleno desenvolvimento vegetativo, quando então será cortada ou acamada, sendo sua massa deixada sobre a superfície ou incorporada ao solo, visando manter ou aumentar a matéria orgânica do

solo (MOS) (Souza et al., 2012). Tal prática possibilita melhorar propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, favorecendo o crescimento e rendimento das culturas em sucessão. Souza et al. (2012) citam ainda que o adubo verde não precisa necessariamente ser produzido na área onde será utilizado, podendo ser cortado e levado para o local de interesse. Contudo, nesse caso, alguns benefícios dessa prática agrícola podem não ser alcançados.

A adubação verde é uma prática importante em um sistema agrícola, já que possibilita o uso de um recurso local, é um processo biológico, aumenta a diversidade do sistema e pode reduzir a dependência em relação à indústria (Neto et al., 2008). Além disso, é uma técnica que pode estar sob domínio do agricultor.

A adubação verde pode ser utilizada para diversas finalidades agrônômicas, como no controle integrado de ervas consideradas daninhas, cobertura e proteção do solo, incremento da MOS, controle de nematoides, aumentos na colonização das culturas por fungos micorrízicos arbusculares, ciclagem e acúmulo de nutrientes próximo a superfície do solo e aporte de N com a FBN (Duarte et al., 1995; Espindola et al., 1998; Colozzi Filho e Cardoso, 2000; Erasmos et al., 2004; Ricci et al., 2005; Neto et al., 2008; Delarmelinda et al., 2010; Perin et al., 2010; Souza et al., 2012; Araújo et al., 2013).

Dependendo dos objetivos, época do ano, da cultura principal, entre outros fatores, diversas espécies vegetais podem ser utilizadas. No caso em especial do cafeeiro, espécies perenes ou anuais, de pequeno ou grande porte podem ser utilizadas, sendo preferíveis espécies com metabolismo C_3 , pois podem manter sua plena atividade, mesmo sob o sombreamento presente nas entre linhas do cafezal já formado, além de se dar preferência também às espécies fixadoras de N (Souza et al., 2012).

3.1.1. *Crotalaria juncea*

A *Crotalaria juncea* apresenta ciclo anual, é subarbusciva e pode atingir três metros de altura (Burle et al., 2006). Essa espécie apresenta diversas características que a faz ser recomendada para a prática da adubação verde, como crescimento inicial rápido, é fixadora de N_2 , tem capacidade de reciclar nutrientes e apresenta abundante produção de sementes (Perin et al., 2010; Souza et al., 2012). A espécie é eficiente na cobertura e proteção de solos, produzindo em média 7 t ha^{-1} de matéria seca (Burle et al., 2006).

A *Crotalaria juncea* é eficaz na absorção e acúmulo de N e de outros nutrientes (Ricci et al., 2005; Burle et al., 2006; Perin et al., 2010). Essa leguminosa cultivada de forma solteira acumulou 305 kg ha⁻¹ de N na parte aérea, dos quais 173 kg ha⁻¹ foram provenientes da FBN (Perin et al., 2004). Em outro trabalho, quando cultivada em consórcio com cafeeiros, a crotalária acumulou 200 kg ha⁻¹ de N via FBN (Ricci et al., 2005).

3.2. Mineralização do N

A maior parte do N do solo está na forma orgânica (mais de 95%) sendo necessário a mineralização para que fique disponível para as plantas (Moreira & Siqueira, 2006; Cantarella, 2007). Por meio do processo de amonificação, o N-orgânico é convertido à amônia (NH₃), que entra em equilíbrio com a água e resulta na formação de amônio (NH₄⁺) (Moreira & Siqueira, 2006). O amônio no solo pode ser absorvido ou sofrer nitrificação, formando o nitrato que também pode ser absorvido pelas plantas (Moreira & Siqueira, 2006; Cantarella, 2007).

O processo de mineralização do N se inicia com a ação de enzimas extracelulares que atuam no material orgânico, transformando-o em unidades orgânicas menores e N-mineral, os quais podem ser absorvidos pelas células microbianas. No interior dessas células ocorre a produção de amônia, além de outros compostos orgânicos, sendo que o excesso de amônio é transferido para fora das células microbianas (Myrold, 2005; Moreira & Siqueira, 2006). Nesse caso percebe-se que há duas formas de mineralização, a mineralização direta, que ocorre dentro das células microbianas por ação das enzimas intracelulares, e a mineralização indireta, que ocorre no meio externo devido a ação de enzimas extracelulares (Myrold, 2005).

Quando as células microbianas morrem, parte do N é novamente mineralizado e outra parte continua como N-orgânico, podendo constituir os diversos compartimentos da MOS, incluindo aqueles mais estáveis, representados pelas substâncias húmicas (Moreira & Siqueira, 2006).

A taxa de mineralização dos nutrientes de um material orgânico depende de suas características químicas, como as relações C/N, C/P e C/S, composição química de proteínas, celulose, hemicelulose, lignina, teor e capacidade dos polifenóis em complexar proteína e das condições do meio, como pH, umidade, temperatura e concentração de oxigênio, as quais influenciam na atividade da microbiota (Aita &

Giacomini, 2003; Moreira & Siqueira, 2006; Cantarella, 2007). Além disso, a aplicação superficial ou incorporada do material orgânico também vai influenciar na taxa de decomposição.

Associado à mineralização tem-se o processo de imobilização do N do solo, o qual consiste na transformação do N inorgânico em orgânico pelos microrganismos que incorporam esse N disponível em solução às suas células (Moreira & Siqueira, 2006). Também faz parte desse processo, a incorporação do N em outros compartimentos da MOS (Cantarella, 2007).

Em estudo de avaliação da dinâmica da mineralização do N de plantas de cobertura solteiras e consorciadas, observou-se que o processo foi negativamente influenciado pela concentração de celulose e as relações C/N e lignina/N, e positivamente influenciado pelas concentrações de N total e N solúvel em água (Aita & Giacomini, 2003). Nesse tipo de estudo, em que se avalia a dinâmica da mineralização do N, é possível identificar que há um comportamento bem característico nas curvas de mineralização de N (Aita & Giacomini, 2003; Diniz et al., 2014). Nas duas primeiras semanas ocorre liberação mais acentuada do N, que está associado ao compartimento mais lábil dos resíduos. Posteriormente, o processo fica mais lento, devido a presença de materiais mais recalcitrantes.

Na medida em que os resíduos vão sendo decompostos e posteriormente a MOS vai sendo decomposta, ocorre a liberação de CO₂, incorporação de N e com isso há um estreitamento da relação C/N nos estágios mais avançados de decomposição da MOS (Silva & Mendonça, 2007). Embora ocorra esse estreitamento, a MOS vai se transformando, passando de formas mais lábeis para formas menos lábeis, ocorrendo a estabilização do material, o que a torna mais recalcitrante, e daí mais difícil é o acesso aos nutrientes dessa fonte orgânica.

Num estudo onde avaliou-se a decomposição da massa e mineralização do N presente em resíduos de *Crotalaria juncea* nas doses equivalentes a 3, 6 e 9 Mg ha⁻¹ de matéria seca, verificou-se que a meia vida da biomassa seca era superior ao tempo de meia vida para mineralização do N (Diniz et al., 2014). Enquanto que em 9 dias 50% do N já havia sido mineralizado, a meia vida geral do resíduo foi de 98 dias, para a dose equivalente a 3 Mg ha⁻¹ de matéria seca de crotalária.

Entretanto, Diniz et al. (2014) citam que há dois compartimentos de material orgânico com tempos de meia vida bem distintos. No compartimento mais facilmente

decomponível, a meia vida foi de apenas 3 dias para a dose de 3 Mg ha⁻¹. Já no compartimento com material mais recalcitrante a meia vida foi de 134 dias, considerando a mesma dose de crotalária.

No mesmo trabalho é possível distinguir dois compartimentos quanto a mineralização do N. Considerando a dose de 3 Mg ha⁻¹, o compartimento mais facilmente decomponível apresentou tempo de meia vida do N de 1,8 dias, enquanto que o outro compartimento teve meia vida de 89,4 dias.

Trabalhando com gliricídia (*Gliricidia sepium*) e crotalária (*C. juncea*), em Viçosa-MG, Pontes et al. (2006) observaram que a cinética de decomposição foi semelhante entre os materiais, apesar do teor de matéria seca ser maior na gliricídia (29,7%) do que na crotalária (19,4%). A meia vida do resíduo de gliricídia (folhas e ramos finos) foi de 23 dias, enquanto que da crotalária foi de 28 dias. Já a meia vida do N foi de 13 e 13,7 dias, respectivamente para a gliricídia e a crotalária, apesar do teor inicial de N na *G. sepium* (3,1%) ser maior que na *C. juncea* (2,5%). Esse tempo de meia vida do N da crotalária é próximo ao verificado no trabalho de Diniz et al. (2014), que foi de 9 dias na dose de 3 Mg ha⁻¹ de matéria seca.

Já Ribas et al. (2010), estudando o resíduo de mucuna cinza (*Mucuna cinerea*) na dose de 2,5 Mg ha⁻¹, observaram que a liberação de 50% do N ocorreu por volta da quarta semana após a instalação do experimento.

A adubação verde com leguminosas tem potencial para alterar os teores de N nos compartimentos da MOS e também pode favorecer as perdas por volatilização, ou mesmo por lixiviação. A velocidade com que ocorre o processo de mineralização é função das condições edafoclimáticas, das características dos resíduos, do manejo e da quantidade de resíduo aplicado. Conforme o trabalho de Diniz et al. (2014), 50% do N da matéria seca da *C. juncea* foi mineralizado em menos de dez dias, quando a dose foi de 3 Mg ha⁻¹ de matéria seca. Entretanto quando a dose foi de 9 Mg ha⁻¹ o tempo de meia vida foi de 32 dias.

3.3. Perdas de N por volatilização

Durante a decomposição e mineralização do material orgânico, no processo de amonificação, pode ocorrer a produção de amônia e essa ser perdida para a atmosfera.

É importante destacar que o nitrogênio pode sofrer outras transformações no solo e ser perdido por outras formas voláteis (Cantarella, 2007; Gonzatto et al., 2013). O

amônio (NH_4^+) pode sofrer oxidação e formar o nitrato (NO_3^-), mas durante esse processo pode haver a formação de óxido nitroso (N_2O) e esse aumentar as perdas por volatilização de N do solo, conforme cita Cantarella (2007). Também, após o amônio sofrer oxidação e resultar na formação de nitrato, se as condições de solo passarem a ser redutoras, ocorre a desnitrificação e esse N pode ser perdido para atmosfera pelas formas gasosas óxido nítrico (NO), N_2O ou nitrogênio atmosférico (N_2).

Alguns trabalhos trazem estimativas de perdas por volatilização de amônia (Lara Cabezas et al., 1997; Marsola et al., 2000; Araújo et al., 2009; Ribas et al., 2010; Mariano et al., 2012). Nesses estudos se utilizam métodos diretos ou indiretos para quantificar a fração do N volatilizado na forma de amônia (Lara Cabezas & Trivelin, 1990).

Os métodos diretos utilizam câmaras para a captação de amônia em solução de ácido diluído, sendo que esses métodos podem ser classificados em sistema fechado-estático, fechado-dinâmico ou semi-aberto estático (Volk, 1959; Nõmmik, 1973; Kissel et al., 1977; Sommer & Olesen, 1991 citados por Araújo et al., 2009).

Já os métodos indiretos se baseiam na diferença entre a quantidade de N aplicado e o que sobrou no solo. Quando são empregados adubos com ^{15}N , a determinação fica mais precisa, sendo que essa técnica é muito utilizada em estudos do balanço de N no sistema solo-planta-atmosfera e na calibração de métodos diretos (Lara Cabezas & Trivelin, 1990; Araújo et al., 2009).

As perdas de N afeta a eficiência da adubação, podendo ocasionar perdas em produtividade, conforme observaram Lara Cabezas et al. (1997). Esses autores relatam que houve correlação linear negativa entre as perdas de nitrogênio por volatilização e a produção relativa do milho, tanto no sistema de plantio direto quanto no sistema convencional, com o adubo incorporado ou não.

Ribas et al. (2010) estudaram as perdas de N por volatilização de amônia a partir da adubação com doses crescentes da leguminosa mucuna cinza associada a 12 Mg ha^{-1} de composto orgânico, utilizando para isso o sistema fechado-estático onde se captava a amônia volatilizada em espumas embebidas em ácido sulfúrico 0,05 M com 3% de glicerina. Os autores relatam que na medida em que se aumentava a dose de mucuna cinza (0, 4, 8 e 12 Mg ha^{-1}) houve aumento mais que proporcional da volatilização de amônia, atingindo um valor acumulado de 30 kg ha^{-1} de N, após 30 dias de avaliação na

dose de 12 Mg ha⁻¹ da leguminosa, sendo que a leguminosa continha 26,64 g kg⁻¹ de N e o composto 14,15 g kg⁻¹ de N.

Todavia, é importante mencionar que, conforme citam Araújo et al. (2009), os métodos diretos para avaliação de amônia volatilizada subestimam o que realmente ocorre. O nitrogênio pode ainda sofrer transformações e ser perdido por outras formas voláteis (Cantarella, 2007; Gonzatto et al., 2013). Nesse caso, é provável que as perdas reais de N por volatilização no trabalho de Ribas et al. (2010) sejam maiores as perdas contabilizadas.

Em outro trabalho, verificou-se que a matéria seca de mucuna cinza na dose equivalente a 21 Mg ha⁻¹ e teor de N de 26,23 g kg⁻¹, proporcionou perda de amônia de 3,17 kg ha⁻¹, para aquelas condições ambientais e um período de avaliação de 50 dias (Miyazawa et al., 2001). É importante destacar que nesse trabalho o método para captar a amônia volatilizada foi diferente daquele utilizado no trabalho de Ribas et al. (2010). Nesse trabalho o método usado é classificado como semiaberto estático. Cada método para captar a amônia volatilizada apresenta uma determinada eficiência, necessitando de fatores de correção para melhorar as estimativas. Nesse caso, as diferenças entre trabalhos se devem, também, aos diferentes métodos utilizados.

Em estudo sobre a volatilização de amônia a partir de doses cama de aviário, foi observado que a volatilização acumulada atingiu valores de 36,7, 81,2 e 186,8 kg ha⁻¹, respectivamente para as doses 25, 50 e 100 t ha⁻¹, sendo que o material continha inicialmente 31,75 kg t⁻¹ de N total e 7,45 kg t⁻¹ de N-NH₄⁺ (Peña, 2010). Nas maiores doses houve maior quantidade de amônia volatilizada ao longo do tempo, atingindo valores de 19,7%, 21,8% e 25,1% do N aplicado na forma amoniacal e 4,6%, 5,1% e 5,9% do N total, respectivamente para as doses de 25, 50 e 100 t ha⁻¹ de cama de aviário. Observou-se ainda que as maiores perdas de N por volatilização ocorreram na primeira coleta, efetuada no terceiro dia após a aplicação da cama de aviário, variando de 48,2 a 71,6% do N volatilizado, da maior para menor dose aplicada.

A maioria dos trabalhos avaliam as perdas a partir de adubos nitrogenados solúveis (Lara Cabezas et al., 1997; Alves et al., 2011; Mariano et al., 2012; Rodrigues et al., 2012), o que demonstra a importância de mais estudos nesse sentido.

3.4. A matéria orgânica do solo

A matéria orgânica do solo (MOS) é compreendida como a fração composta por organismos vivos e seus restos em decomposição (Silva & Mendonça, 2007). Nesse caso, pode-se classificar os compartimentos da MOS em matéria orgânica viva e matéria orgânica não-vivente (Silva & Mendonça, 2007).

A matéria orgânica viva pode ser definida como o “material orgânico associado às células de organismos vivos que se encontra temporariamente imobilizado (dreno), mas que apresenta potencial de mineralização (fonte)” (Silva & Mendonça, 2007). Ela inclui raízes, macrorganismos e microrganismos, representando, geralmente, não mais do que 4% do carbono orgânico total do solo (Silva & Mendonça, 2007).

O material orgânico não associado a células de organismos vivos é denominado matéria orgânica não-vivente. Ela contribui, em média, com 98% do carbono orgânico total do solo, e pode ser subdividida em matéria macrogânica (ou matéria orgânica leve ou particulada), que corresponde por 3 a 20%, e húmus (Silva & Mendonça, 2007). A fração húmus, por sua vez, é constituída por substâncias húmicas e não-húmicas (Silva & Mendonça, 2007).

As substâncias não-húmicas são representadas por proteínas, carboidratos, lignina, lipídios, ácidos orgânicos, polifenóis, ácidos nucleicos e pigmentos provenientes da transformação da MOS ou adicionados via atividades de plantas ou de microrganismos (Moreira & Siqueira, 2006).

Já as substâncias húmicas são compostas por ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e huminas, que diferem entre si devido ao grau de condensação, estabilidade química e a reatividade no solo (Moreira & Siqueira, 2006).

A matéria orgânica leve pode ser dividida em MOS leve livre (interagregados), que apresenta a composição química similar a da liteira, e MOS leve oclusa (intra-agregados) (Christensen, 1992). Essa divisão ocorre quando a MOS leve livre, em um estágio mais avançado de decomposição, é “aprisionada” no interior dos agregados do solo (complexos organo-minerais secundários). Os complexos organo-minerais secundários, por sua vez, são originários de complexos organo-minerais primários que sofrem um agrupamento e se organizam (Christensen, 1992). Os complexos organo-minerais primários constituem-se em fortes interações químicas entre os componentes minerais (areia, silte e argila) e orgânicos do solo, que estão em estágio ainda mais avançado de decomposição, sendo conhecida também como a fração pesada da MOS.

3.5. Formas e frações do N na MOS

Há uma relação entre os diversos compartimentos da MOS e o nitrogênio. Na medida em que a MOS vai sendo decomposta, ocorre a liberação CO_2 e há também um estreitamento da relação C/N (Silva & Mendonça, 2007). Mas ao mesmo tempo em que o resíduo vai se transformando, passando de formas mais lábeis (matéria orgânica leve) para formas menos lábeis (substâncias húmicas), ocorre a estabilização do material, o que o torna mais recalcitrante, e daí mais difícil é o acesso aos nutrientes desse compartimento. Aumentos nos estoques de carbono do solo estão diretamente relacionados com aumentos do nitrogênio do solo, e o nitrogênio é fundamental para a estabilização do carbono através da formação de substâncias humificadas, que são mais ricas em N do que outros compartimentos orgânicos menos recalcitrantes (Lovato et al., 2004; Ribeiro et al., 2011).

Nesse caso, com relação a ciclagem de nutrientes, é possível diferenciar quatro compartimentos que apresentam tempo de ciclagem diferenciados (Silva & Mendonça, 2007). O compartimento com menor tempo de ciclagem é a MOS viva, que sofre influência principalmente da microbiota do solo, sendo considerado o compartimento mais suscetível às alterações no manejo do solo e, portanto, o reservatório mais ativo da MOS (Roscoe et al., 2006). Outro compartimento, com tempo de ciclagem um pouco maior, corresponde MOS leve livre, sendo também bastante suscetível ao manejo do solo (Roscoe & Machado, 2002; Souza et al., 2006). A MOS leve protegida fisicamente apresenta tempo de ciclagem maior em relação ao compartimento anterior, já que os agregados representam uma barreira física ao acesso da microbiota e das enzimas a esse compartimento orgânico (Roscoe & Machado, 2002). Por fim, tem-se o compartimento formado pela MOS associada quimicamente aos componentes minerais do solo, sendo o compartimento mais recalcitrante (Roscoe & Machado, 2002).

O solo apresenta grande reserva de N. Apesar disso, somente uma fração pequena é mineralizada em curto prazo, sendo que “mais de 60% do N mineralizado do solo vem de frações que representam cerca de 10% do total de N orgânico, enquanto que a fração envelhecida de N, que representa metade de seu estoque, praticamente não é mineralizada”, já que tem tempo de meia vida estimado em 600 anos (Moreira & Siqueira, 2006).

A MOS associada a biota do solo apresenta grande importância para nossos solos, seja por influenciar na dinâmica dos outros compartimentos orgânicos, ou pelo fato de

próprio compartimento ser estratégico na mineralização de nutrientes. A chamada MOS viva pode corresponder por até 4% do carbono orgânico total do solo, sendo que a biomassa microbiana é o principal componente desse compartimento, podendo representar de 1 a 3% do carbono orgânico total do solo de regiões tropicais, 5% do nitrogênio, apresenta tempo de meia vida de apenas 0,25 anos e ainda contribui com cerca de 30% do nitrogênio mineralizado do solo (Moreira & Siqueira, 2006; Silva & Mendonça, 2007).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Aspectos gerais

Este trabalho faz parte de um projeto que tem como objetivos avaliar, ao longo do tempo, a contribuição da *Crotalaria juncea* para a nutrição do cafeeiro, a dinâmica do N proveniente da crotalária em frações da MOS e as perdas por volatilização de amônia. Para alcançar esses objetivos, foi utilizado material orgânico proveniente da crotalária enriquecida com ^{15}N . Entretanto, até a data de defesa desta dissertação, os resultados com os valores de ^{15}N ainda não estavam disponíveis. Sendo assim, esses resultados serão publicados posteriormente.

O experimento foi conduzido em ambiente protegido na área denominada Horta Velha pertencente ao Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa - MG. As coordenadas geográficas são 20° 45' 14" S e 42° 52' 53" W e 650 metros de altitude. A região apresenta inverno frio e seco e verão quente e chuvoso, com temperatura média de 19,4 °C, sendo a média máxima de 26,4 °C e a média mínima de 14,8 °C.

A fim de caracterizar as variações de temperatura no ambiente protegido, foi instalado um termômetro de máxima e mínima, e os dados foram coletados diariamente durante a condução do experimento.

A unidade experimental consistiu em um vaso de 150 dm³ e 0,59 m² de área superior, contendo uma planta de café (*Coffea arabica* L.) cultivar Catuaí 44, com dois meses de idade após o transplântio.

O solo utilizado, de textura argilo-arenosa, foi retirado de uma área já cultivada e próxima ao local deste experimento. O solo foi cuidadosamente retirado em duas profundidades, 0 a 20 e 20 a 40 cm, e colocado nos vasos mantendo as mesmas

camadas. A adubação do solo foi realizada conforme recomendação da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais - CFSEMG (Guimarães et al., 1999).

O fundo das caixas foi preenchido com argila expandida a fim de se possibilitar a drenagem do excesso de água e posterior retorno às caixas da água percolada.

Antes do transplântio das mudas de café foram fornecidos 65 g de P_2O_5 por planta (50% como superfosfato simples e 50% como fosfato natural reativo) misturado ao solo. Após o plantio dos cafeeiros, realizou-se adubação de cobertura com o fornecimento de 10 g de K_2O total por planta, em quatro aplicações, utilizando-se sulfato de potássio como fonte.

Os vasos foram irrigados para manter a umidade do solo entre 70 e 80% da sua capacidade de campo, medida pelo sensor dielétrico ECH₂O, que foi calibrado conforme Miranda et al. (2007).

O material orgânico proveniente da leguminosa foi aplicado aos vasos com cafeeiros recém transplântados, visando fornecer parte do N requerido pela cultura. Esses vasos receberam 280 g de resíduo da parte aérea de *C. juncea*, o que correspondeu a uma dose de aproximadamente 4,75 Mg ha⁻¹. A leguminosa apresentava concentração de 3,4% de N na matéria seca.

Para a adubação nitrogenada de plantio objetivou-se disponibilizar 6 g de N/planta, sendo que 60% desse nitrogênio foi fornecido via sulfato de amônio e 40% na forma de matéria seca da parte aérea da crotalária. Para a adubação mineral considerou-se eficiência de recuperação de 50%, nesse caso a dose aplicada foi de 7,2 g de N. Para a crotalária, foi adotada eficiência de recuperação de 25% (Seo et al., 2006; Ambrosano et al., 2011; Araújo et al., 2011), o que resultou em dose de 9,6 g de N.

Para a adubação de primeiro ano pós-plantio foram aplicados 10 g de K_2O /planta na forma de sulfato de potássio, parcelado em três aplicações de 6,66 g/planta de sulfato de potássio.

Na adubação de primeiro ano pós-plantio objetivou-se disponibilizar 15 g de N/planta, sendo 60% fornecido na forma de sulfato de amônio e 40% na forma de matéria seca da parte aérea da crotalária. Considerando as eficiências de recuperação do N dos fertilizantes, conforme citado acima, as doses foram de 22,5 g de N/planta via sulfato de amônio e 15 g de N/planta via leguminosa. A adubação mineral foi parcelada em três aplicações, enquanto que a adubação verde foi realizada em uma aplicação e no mesmo dia da última parcela de sulfato de amônio.

Todavia, até a última data de coleta de solo para o presente trabalho, havia sido aplicado somente as duas primeiras parcelas da adubação mineral. Nesse caso, entre a penúltima e a última coleta de solo foram aplicados 15 g de N/planta via fertilizante mineral.

Este trabalho foi conduzido em cinco repetições, com um tratamento e avaliações ao longo do tempo.

4.2. Produção da leguminosa

A leguminosa utilizada no experimento foi produzida em casa de vegetação, utilizando caixas de 150 dm³ preenchidas com substrato formado por areia média peneirada e vermiculita na proporção de 1:1 e esterilizado com ácido sulfúrico (2%).

Visando atingir aos objetivos do projeto, conforme já citado, a crotalária foi enriquecida com ¹⁵N. Sendo assim, foi necessário inibir a FBN. Para inibir a FBN as sementes foram esterilizadas. Para a desinfecção, as sementes foram imersas em solução de hipoclorito de sódio a 1% por cinco minutos, seguido de imersão por um minuto em álcool 70% e lavadas em água.

O fertilizante utilizado para a marcação da crotalária foi a uréia com 10% de átomos de ¹⁵N em excesso. Houve parcelamento da adubação com a uréia enriquecida com ¹⁵N, visando o máximo aproveitamento desse fertilizante pela crotalária. A adubação nitrogenada forneceu 330 mg dm⁻³ de N para as leguminosas. A adubação nitrogenada foi realizada com 80 mg dm⁻³ de N pela uréia enriquecida (44% de N) e 250,0 mg dm⁻³ de N pela uréia comum (44% N), ambas as doses divididas em oito aplicações semanais.

Houve também a adubação do substrato com de 300 mg dm⁻³ de fósforo (P₂O₅) utilizando o fertilizante superfosfato simples (18% P₂O₅) em uma única aplicação antes da semeadura, sendo misturado em todo o vaso, bem como 87 mg dm⁻³ de K₂O na forma de sulfato de potássio (47% K₂O), dividido em oito aplicações semanais após a semeadura.

A semeadura foi realizada no mês de Outubro na razão de 40 sementes por metro linear e 50 cm entre linhas. Após a emergência das plântulas, foi realizado um desbaste visando obter 50 plantas de *C. juncea* por vaso.

A leguminosa foi irrigada duas vezes por dia e o controle de irrigação foi estabelecido em função da drenagem, com aumento da irrigação na ausência de água

drenada e diminuição no caso contrário, retornando-se às caixas o volume drenado. A leguminosa foi produzida até o florescimento, quando, então, foi cortada aos 77 dias após a semeadura.

4.3. Determinação da amônia volatilizada

Para a determinação da amônia volatilizada foi adotada a metodologia descrita por Peña (2010). Nesse caso, logo após a distribuição da leguminosa nos vasos com os cafeeiros, foram instalados coletores de amônia classificados como semi-aberto e estáticos. Esses coletores são tubos de PVC, com 20 cm de diâmetro, 60 cm de altura e inseridos 5 cm no solo (Figura 1). No interior desses tubos foi adicionada a leguminosa *C. juncea* na mesma proporção aplicada ao vaso.

Para captar a amônia volatilizada no interior desses tubos, a 20 cm do solo foram colocadas espumas de nylon com 15 cm de diâmetro, 3 cm de espessura e densidade de $0,012 \text{ kg dm}^{-3}$. Havia um suporte no interior dos tubos que permitia a sustentação das espumas com diâmetro de 15 cm (Figura 2).

Esses discos de espuma foram embebidos em solução de H_2SO_4 1 mol L^{-1} com 3% de glicerina. A 10 cm da parte superior dos tubos foi inserida uma segunda espuma com as mesmas características, porém com diâmetro de 20 cm. Essa segunda espuma foi também embebida com a solução de ácido sulfúrico e glicerina, e teve a função de evitar a contaminação da espuma inferior com a amônia do ar.



Figura 1. Câmara de volatilização instalada.



Figura 2. Detalhe do suporte para a espuma no interior da câmara de volatilização.

As espumas foram trocadas aos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 12, 15, 18, 25, 32, 67 e 123 dias após a instalação dos coletores. Em cada coleta houve a troca das espumas inferiores e superiores. As espumas inferiores foram acondicionadas em sacos plásticos e conservadas em geladeira até a extração do sulfato de amônio. Já as espumas superiores foram descartadas a cada troca.

Para extração do sulfato de amônio das espumas foi utilizado um sistema com funil de Büchner acoplado a um Kitasato e esse ligado a uma bomba de vácuo. Após inserir a espuma no funil de Büchner, foram adicionados 250 ml de água deionizada. Em seguida foi inserido um disco de plástico sobre a espuma para que se pudesse aumentar a força do vácuo promovido pela bomba.

A bomba funcionava por dois minutos. O conteúdo recolhido no Kitasato era homogeneizado e em seguida retirado uma alíquota para posterior análise. O mesmo procedimento foi realizado com espumas embebidas na solução de ácido sulfúrico e glicerina para descontar uma possível contaminação das amostras com nitrogênio dessas fontes. As alíquotas ficaram conservadas em frascos de vidro na geladeira até a análise.

O teor de nitrogênio total foi determinado por destilação a vapor seguindo o método adaptado de Bremner & Mulvaney (1982) e Tedesco et al. (1995), citados por Mendonça & Matos (2005). Para isso, uma alíquota de 5 ml do extrato das espumas foi adicionada ao tubo para destilação, juntamente com 20 ml de NaOH a 10 mol L^{-1} . Em seguida foi feita a destilação Kjeldahl e o destilado recolhido em 20 ml de uma solução

de ácido bórico mais indicador. O passo seguinte foi a titulação com HCl a 0,05 mol L⁻¹ padronizado.

O nitrogênio total foi calculado pela seguinte fórmula:

$$N = (V_{am} - V_{br}) \times [H^+] \times 14 / \text{alíquota, em que:}$$

N = nitrogênio total em mg/L

V_{am} = volume de HCl, em ml, gasto na titulação da amostra

V_{br} = volume de HCl, em ml, gasto na titulação do branco

[H⁺] = concentração real do HCl (padronizado)

14 = peso atômico do N

Alíquota = 0,005 L do extrato

4.4. Análises das frações da MO em camadas do solo

Para avaliar a dinâmica do C e N do solo ao longo do tempo, foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0-5 e 5-10 cm. Realizou-se uma primeira amostragem antes da aplicação da leguminosa e sulfato de amônio, sendo essa amostra considerada a testemunha. Outras cinco foram coletadas a cada dois meses a partir da aplicação da leguminosa, aos 60, 120, 180, 240 e 300 dias. Entretanto, na camada de 5-10 cm, devido a um erro, não foi coletada a amostra de solo aos 60 dias. Nesse caso, a primeira data de amostragem, após as adubações, ocorreu aos 120 dias na camada de 5-10 cm.

O solo foi coletado com trado tipo sonda, coletando-se seis amostras simples por repetição na data das coletas. Sendo que a cada coleta, os buracos abertos eram fechados e marcados com palitos, para que não houvesse nova coleta em um ponto já amostrado.

Outras amostras, naquelas mesmas profundidades, foram retiradas a cada dois meses para determinação da densidade de solo pelo método do anel volumétrico, de acordo com Embrapa (2011).

As amostras de solo foram secadas à sombra e passadas em peneira de 2 mm, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA). Posteriormente, procedeu-se o fracionamento densimétrico e granulométrico da MOS das amostras conforme metodologia adaptada de Sohi et al. (2001), Machado (2002) e Roscoe & Machado (2002). Em seguida, foram realizadas as determinações dos teores de C e N nessas frações e também dos teores totais no solo.

4.4.1. Fracionamento densimétrico

A primeira etapa do fracionamento físico da MOS foi o *fracionamento densimétrico*. Esse procedimento visou separar a MOL livre. Para essa determinação utilizou-se metodologia adaptada de Sohi et al. (2001).

Foram adicionados 5 g de solo (TFSA) e 30 ml de solução de iodeto de sódio (NaI), com densidade de $1,8 \text{ g cm}^{-3}$ ($\pm 0,1 \text{ g cm}^{-3}$) em tubos de centrífuga. O procedimento foi realizado em triplicatas visando recuperar maior quantidade de material orgânico e assim viabilizar as análises futuras. Em seguida, o tubo fechado com a tampa foi invertido lenta e manualmente por cinco vezes, até o ângulo de 180° , visando a liberação da MOL livre ao mesmo tempo em que se evita o rompimento dos agregados (Lunardi, 2002). Posteriormente as amostras foram centrifugadas por 25 minutos a 2520 rpm (1301 x G). Na sequência fez-se a extração por filtração da MOL livre, que apresenta menor densidade e estava flotando na solução (Sohi et al., 2001).

4.4.2. Fracionamento granulométrico

Na solução restante de NaI e solo foi realizado o *fracionamento granulométrico*, conforme metodologia adaptada de Machado (2002) e Roscoe & Machado (2002). Esse procedimento visou separar os complexos organo-minerais em função das classes texturais areia, silte e argila.

O material orgânico recuperado junto à fração areia é denominado matéria orgânica particulada (MOP). Já aquele recuperado junto às frações silte e argila é denominado matéria orgânica associada aos minerais (MOM).

Para obter as frações da MOS de acordo com as classes texturais, esse material remanescente foi agitado juntamente com 0,5 g de hexametáfosfato de sódio e 200 ml de água destilada, em um agitador tipo orbital por 16 horas a 50 rpm.

Após isso o material foi filtrado passando por uma peneira com malha de 0,053 mm que reteve a fração areia. O que passou pela peneira foi armazenado em provetas de 500 ml que tiveram seus volumes completados com água destilada.

Na proveta, das frações granulométricas, havia somente silte e argila. Nela o material foi agitado e daí realizou-se uma pipetagem, coletando o volume de 25 ml, onde havia silte e argila.

Após esse procedimento, obteve-se então as frações areia e silte+argila. O passo seguinte foi determinar o teor de carbono orgânico (CO) e o teor de N dessas frações,

além dos teores totais (COT e NT) no solo. Sendo que para expressar os valores associados a cada fração granulométrica, levou-se em conta seus teores no solo conforme estão reunidos na Tabela 1. A Tabela 2 apresenta a caracterização química do solo na área original.

Tabela 1. Densidade do solo e proporção das frações granulométricas nas camadas de solo avaliadas no experimento.

Camada	Densidade do solo (g/cm ³)	Frações granulométricas				Classe textural
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	
		g/kg de solo				
0-5 cm	1,10	270,3	244,9	130,0	354,8	Argilo-Arenosa
5-10 cm	1,01	274,7	239,9	124,3	361,1	

Tabela 2. Características químicas do solo na área original.

Propriedade	Profundidade	
	0-20 cm	20-40 cm
pH H ₂ O	5,94	5,71
P (mg dm ⁻³)	36,0	5,1
K (mg dm ⁻³)	165	66,0
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	3,20	2,57
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,75	0,48
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,0	0,0
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	2,9	3,9
SB (cmol _c dm ⁻³)	7,51	4,37
(t) (cmol _c dm ⁻³)	7,51	4,37
T (cmol _c dm ⁻³)	11,41	7,27
V (%)	65,8	60,1
N (dag kg ⁻¹)	0,14	0,12
MO (dag kg ⁻¹)	3,23	2,45
P-rem (mg L ⁻¹)	34,0	31,6
Zn (mg dm ⁻³)	4,97	1,49
Fe (mg dm ⁻³)	96,2	65,2
Mn (mg dm ⁻³)	89,8	49,3
Cu (mg dm ⁻³)	3,22	1,68
S (mg dm ⁻³)	5,4	7,8

pH em H₂O, KCl e CaCl₂ – Relação 1:2,5; P, K, Fe, Zn, Mn, Cu: extrator Mehlich-1; Ca, Mg, Al: extrator KCl 1 mol L⁻¹; H + Al, extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol L⁻¹ – pH 7,0; S: extrator Fosfato monocálcio em ácido acético; SB = Soma de Bases Trocáveis; CTC (t) = Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CTC (T) = Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V = Índice de Saturação de Bases; MO = matéria orgânica pelo método Walkley & Black (C. Org. x 1,724). P-rem = Fósforo Remanescente. N: destilação Kjeldahl.

4.4.3. Determinação dos teores e estoques de nitrogênio e carbono orgânico

O teor de N de cada uma das frações granulométricas e o nitrogênio total (NT) do solo foram obtidos por destilação a vapor seguindo o método adaptado de Bremner & Mulvaney (1982) e Tedesco et al. (1995), citados por Mendonça & Matos (2005).

O carbono orgânico (CO) associado às frações granulométricas, bem como o COT do solo, foram determinados por oxidação por via úmida conforme método adaptado de Yeomans & Bremner (1998), citados por Mendonça & Matos (2005).

Após a obtenção dos valores de C e N, calculou-se os estoques de COT e NT do solo (Mg ha^{-1}) através da seguinte fórmula: estoque de COT ou NT = teor de C ou N (g kg^{-1}) x D_s x E/10, em que D_s = densidade do solo na profundidade (kg dm^{-3}) e E = espessura da camada de solo (cm).

O estoque de CO e N nas frações granulométricas foi obtido levando-se em consideração os conteúdos de CO e N, proporcionalmente às frações granulométricas no solo, e o volume de solo na camada avaliada: estoque de CO ou N na fração (Mg ha^{-1}) = teor de CO ou N (g kg de solo^{-1}) x $500000000 \text{ cm}^{-3}$ (volume de solo em 1 ha e 5 cm de camada) x D_s (densidade de solo na profundidade em g cm^{-3})/ 1000000000 .

4.5. Análise estatística

Com os dados de volatilização foi ajustado um modelo baseado na significância do coeficiente de determinação e no fenômeno em questão.

Os dados relativos a estoques de carbono orgânico e nitrogênio foram analisados por meio de análise de regressão ($p < 0,05$). A escolha do modelo foi baseada na significância dos coeficientes e no fenômeno em questão. O programa Sisvar foi utilizado para auxiliar na análise.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Volatilização de amônia

A volatilização diária apresentou picos semelhantes até o quarto dia após iniciar o experimento (Figura 3). Na sequência verifica-se queda nos valores até o sexto dia. A partir dessa data, as avaliações foram realizadas em intervalos de três dias até o 18º dia. No nono dia a volatilização voltou a subir, em relação à data anterior. Posteriormente houve queda seguida aumentos nos valores até o 18º dia, quando observou-se o maior pico de volatilização. Do 18º até o 32º dia, as avaliações foram em intervalos de sete dias, observando-se queda nos valores.

Cerca de um mês após iniciar o experimento, a volatilização atingiu o menor valor. Na avaliação seguinte houve aumento na volatilização, após intervalo de 35 dias. Já na última avaliação, após intervalo de 56 dias, observou-se redução na quantidade de N volatilizado.

A alta taxa de volatilização de amônia logo nos quatro primeiros dias após a aplicação da leguminosa (Figura 3) é semelhante àquelas relatadas, para fertilizantes minerais, por Alves et al. (2011), Almeida (2012) e Rodrigues et al. (2012). Entretanto, esperava-se que maiores taxas de volatilização iniciassem em momentos seguintes após a aplicação do material orgânico.

Ribas et al. (2010) relataram maiores taxas de volatilização entre o sétimo e o décimo primeiro dia, ao estudarem a volatilização de amônia proveniente de doses crescentes da leguminosa mucuna cinza associada à 12 Mg ha⁻¹ de composto orgânico. Já Almeida (2012) relatou que a maior taxa de volatilização de amônia proveniente da gliricídia (*Gliricidia sepium*) ocorreu do segundo ao quarto dia após a adubação.

A combinação de vários fatores deve ter contribuído para as elevadas taxas de volatilização de amônia logo nas primeiras medições. Certamente entre eles estão as altas temperaturas observadas no ambiente protegido. A temperatura máxima frequentemente era superior a 30 °C, e a temperatura média era quase sempre superior a 25 °C. Enquanto que no trabalho de Ribas et al. (2010) a temperatura média foi de 21 °C e no trabalho de Almeida (2012) a temperatura máxima poucas vezes foi superior a 30 °C e a mínima foi quase sempre inferior a 20 °C.

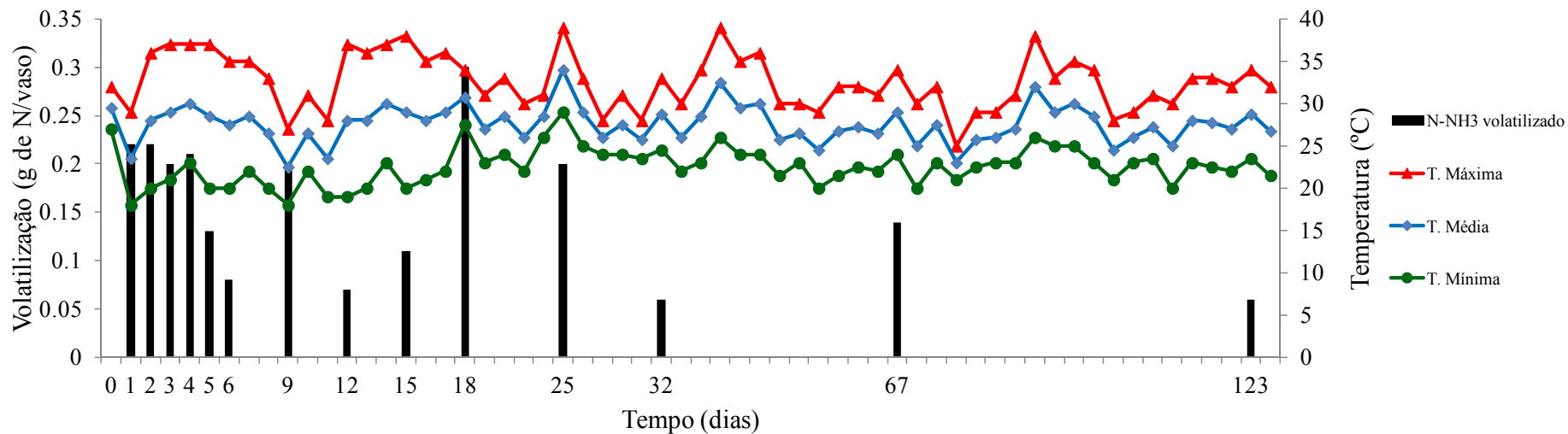


Figura 3. Volatilização diária de amônia em vasos plantados com cafeeiros com aplicação superficial de material orgânico proveniente da *C. juncea* e variação da temperatura no ambiente protegido.

A temperatura afeta características do ambiente, a velocidade das reações que ocorrem no solo e a atividade microbiana (Moreira & Siqueira, 2006). Em temperaturas próximas a 28 °C as reações microbianas são maximizadas, enquanto que em temperaturas menores que 25 e maiores que 35 °C há decréscimo acentuado nas reações microbianas (Moreira & Siqueira, 2006).

Outro fator que pode ter aumentado a volatilização inicial, foi a aplicação de sulfato de amônio aos vasos no mesmo dia da aplicação superficial da crotalária. Apesar de não ter sido aplicado o fertilizante mineral no interior das câmaras de volatilização, ele foi diluído na água e aplicado no momento da irrigação. Isso pode ter promovido *efeito priming* (Moreira & Siqueira, 2006) na leguminosa em decomposição dentro das câmaras e na matéria orgânica nativa do solo.

É possível também que a fragmentação do material orgânico aplicado tenha facilitado sua decomposição. A fragmentação da fitomassa do consócio *C. juncea* e milho (*Pennisetum glaucum*) aumentou a taxa de decomposição e a liberação de nutrientes, entre eles o N (Costa et al., 2014).

A partir dos dados de volatilização acumulada de amônia, foi ajustado um modelo em função do tempo (Figura 4). Após 123 dias de avaliação, a volatilização acumulada de amônia atingiu o valor de 2,45 g de N vaso⁻¹.

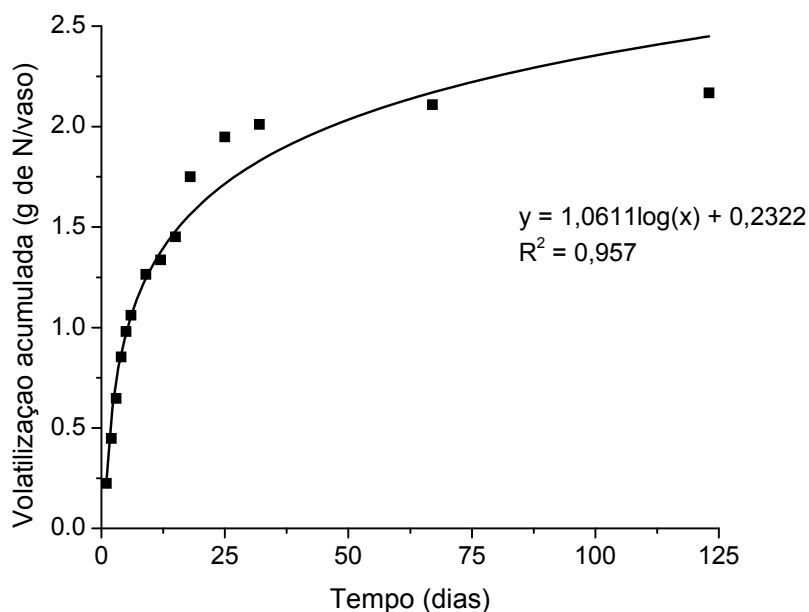


Figura 4. Volatilização acumulada de amônia durante 123 dias em vasos plantados com cafeeiros com aplicação superficial de material orgânico proveniente da *C. juncea*.

Entretanto, apesar desse valor acumulado aos 123 dias após a aplicação da leguminosa, com cerca de 30 dias a volatilização acumulada era de aproximadamente 1,8 g de N vaso⁻¹, representando cerca de 73,5% do total observado no período de avaliação.

Mais de 50% da amônia volatilizada no período avaliado foi perdida após nove dias da instalação do experimento. De acordo com trabalhos desenvolvidos também em Viçosa-MG, a *C. juncea* apresenta de meia vida do N no material cortado de menos de duas semanas (Pontes et al., 2006; Diniz et al., 2014) e meia vida do compartimento mais lábil de 1,8 dias na dose equivalente a 3 t ha⁻¹ (Diniz et al., 2014). Isso demonstra que a *C. juncea* apresenta potencial de elevar rapidamente o N-mineral do solo, especialmente em condições como a do presente trabalho com altas temperaturas e irrigações periódicas, favorecendo as perdas por volatilização de amônia, conforme comentam também Diniz et al. (2007) e Ribas et al. (2010) que trabalharam com a leguminosa mucuna cinza.

Do total de N volatilizado, parte pode ser proveniente da leguminosa, do fertilizante mineral e parte oriunda da matéria orgânica original do solo. A volatilização de amônia proveniente do sulfato de amônio utilizado como fertilizante em lavoura cafeeira foi de, aproximadamente, 1,6% (Fenilli et al., 2007). Em outro trabalho a volatilização de

amônia proveniente do sulfato de amônio variou de 2,9 a 4,3%, dependendo se o fertilizante foi aplicado em faixa ou área total, respectivamente (Vitti et al., 2007). Nesse caso, percebe-se que a volatilização de amônia proveniente do sulfato de amônio tende a ser pequena, contudo ela existe e pode ter contribuído para os resultados do presente trabalho.

As adubações com crotalária e sulfato de amônio forneceram 16,8 g de N vaso⁻¹. Se considerarmos esse valor, a volatilização de amônia representou perdas equivalente a cerca de 10,7% do N aplicado, após 30 dias de avaliação. Ribas et al. (2010) trabalhando com doses de mucuna cinza, aplicada superficialmente, associada à 12 Mg ha⁻¹ de composto orgânico, relataram que na maior dose da leguminosa (12 Mg ha⁻¹) a volatilização de amônia foi de, aproximadamente, 6,13% do N-total, após 30 dias de avaliação. Já Almeida (2012) relata perdas de amônia da gliricídia, utilizada como fertilizante e aplicada superficialmente, de 11,51% do N-total após 23 dias de avaliação. Esses resultados estão próximos aos encontrados para o presente trabalho, até o 30º dia após o início do experimento. Todavia, se considerarmos somente o N que foi adicionado aos vasos via leguminosa (9,6 g de N), as perdas por volatilização se equivaleram a cerca de 18,75% do N aplicado, considerando até o 30º dia de avaliação.

5.2. Estoques de CO e N no solo e em frações da MOS

Houve resposta linear crescente do COT do solo, bem como para o CO da MOM, na camada de 0-5 cm (Figura 5). Já o estoque de CO na MOP apresentou resposta linear decrescente, enquanto que o estoque de CO na MOL livre teve comportamento quadrático com incremento nos valores até os 186 dias, na camada de 0-5 cm (Figura 5).

Na camada de 5-10 cm, o estoque de COT do solo apresentou resposta quadrática, com queda inicial nos valores até os 208 dias, da mesma forma que o estoque de CO na MOM até os 195 dias (Figura 5). Ainda na mesma camada, houve resposta quadrática para o CO na MOP com incremento nos valores até os 183 dias (Figura 5). Já o estoque de CO na MOL livre apresentou resposta linear decrescente (Figura 5).

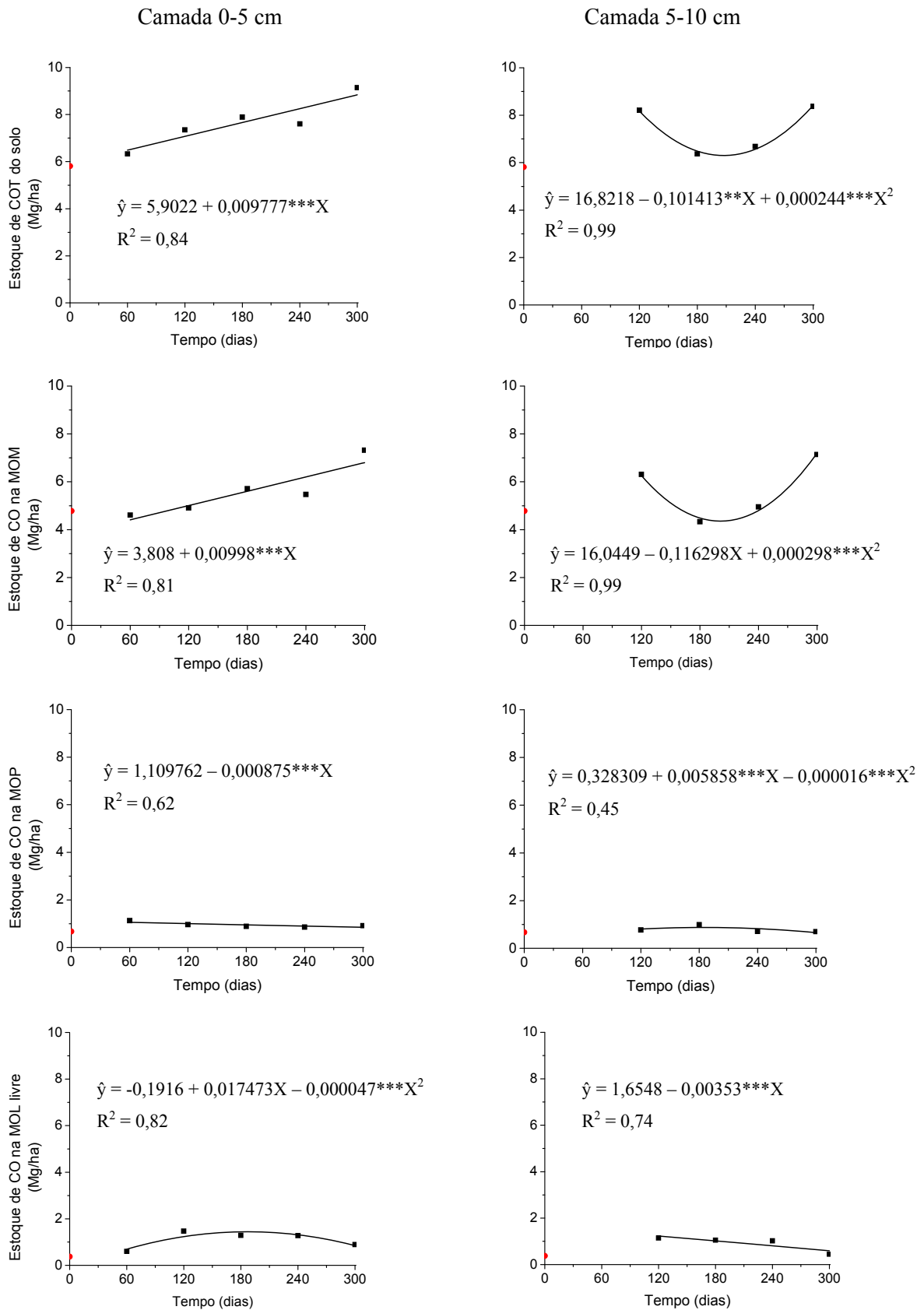


Figura 5. Estoque de CO no solo e em frações da MOS, nas duas profundidades estudadas. ***, **, * e °: significativos 0,1, 1, 5 e 10%, respectivamente.

A resposta observada para o estoque de COT do solo foi similar àquela para o estoque CO da MOM, na camada de 0-5 cm (Figura 5). Contudo, quando se observa o tempo zero, percebe-se que houve tendência de redução no estoque de CO da MOM até os 60 dias após as adubações, ao contrário do que se observou para o COT do solo (Figura 5). Isso indica que até os 60 dias a resposta observada no solo é devido ao incremento nos estoques de CO da MOP e da MOL livre.

A aplicação dos fertilizantes nitrogenados pode ter intensificado a decomposição dos compartimentos orgânicos devido ao *efeito prime* (Moreira & Siqueira, 2006). Todavia, foi aplicado material orgânico também, e na medida em que ele foi sendo decomposto, foi contribuindo primeiramente mais para os compartimentos MOP e MOL livre, que são compartimentos orgânicos mais sensíveis a prática adotada, em relação à MOM (Bayer et al., 2004; Marin et al., 2006; Pulrolnik et al., 2009; Frazão et al., 2010; Vergütz et al., 2010). Isso pode ter resultado na tendência de redução no estoque de CO na MOM, diferentemente do que ocorreu para o solo e outras frações orgânicas até os 60 dias.

A partir dos 60 dias houve queda nos valores para estoque de CO da MOP, da mesma forma que o estoque de CO na MOL livre a partir dos 186 dias na camada de 0-5 cm (Figura 5). Isso pode ter contribuído também para que houvesse incremento no estoque de CO da MOM a partir dos 60 dias. Evidentemente é importante salientar que o processo é dinâmico, sendo assim, é possível que CO solúvel proveniente do material orgânico aplicado, CO proveniente da MOP e MOL livre e a ciclagem da microbiota do solo estejam também influenciando no CO da MOM (Mendonça et al., 2001; Moreira & Siqueira, 2006). Outro fator importante a ser considerado é que as plantas de café são jovens e a expansão do seu sistema radicular na camada estudada e a morte de raízes, bem como as exsudações na rizosfera, podem estar contribuindo para o incremento de CO na MOM e, conseqüentemente, para o COT do solo após 60 dias na camada de 0-5 cm (Lu et al., 2003; Neu, 2005; Motta et al., 2006).

Para a camada de 5-10 cm observa-se que, em relação ao tempo zero, houve tendência de aumento nos valores de estoque de CO em comparação com a primeira avaliação realizada aos 120 dias após as adubações (Figura 5). Nessa data os valores para estoque de COT do solo e de CO na MOM são superiores àqueles observados na camada de 0-5 cm. Esse resultado contrasta com os relatos de Carmo et al. (2012), que avaliaram COT do solo, CO da MOM e MOP em sistemas de plantio direto. Segundo

esses autores os maiores efeitos ocorreram em camadas superficiais devido ao pouco tempo de adoção do sistema, que era de três anos.

Os resultados obtidos para estoques de COT do solo e CO da MOM, na camada de 5-10 cm, são interessantes pelo fato de não ter havido incorporação do material orgânico aplicado. Poirier et al. (2014) citam que a adição de material orgânico à superfície do solo pode levar a rápida incorporação do carbono, proveniente do material orgânico, em agregados de tamanhos milimétricos de camadas mais profundas, enriquecendo-os com carbono orgânico. As irrigações periódicas realizadas no experimento podem ter favorecido a descida e estabilização de formas solúveis de carbono em camadas mais profundas (Mendonça et al., 2001; Ciotta et al., 2004; Neu, 2005). Também, devido a atividade biológica, o material em decomposição pode ter sido transportado para camadas mais profundas. Nessas camadas, pelo fato do teor de carbono orgânico ser menor, a retenção do material orgânico proveniente do resíduo em decomposição pode ser favorecida (Poirier et al., 2014).

É importante destacar também que essa segunda camada é ainda próxima à superfície, representando uma região com bastantes raízes finas (Motta et al., 2006) e alta atividade biológica. De acordo com Motta et al. (2006), as raízes finas contribuíram com a maior parte do sistema radicular do cafeeiro, com 11 anos de idade, na camada até 60 cm de profundidade, sendo que a maior parte das raízes se concentraram nas camadas de 0-5 e 5-20 cm.

A variação no estoque de CO (ΔEstCO) do solo foi positiva em todas as avaliações em relação à testemunha, em ambas as camadas (Tabelas 3 e 4). As frações da MOS apresentaram ΔEstCO positivas na maior parte do tempo (Tabelas 3 e 4). Isso é importante, pois as frações mais lábeis (MOL livre e MOP) são mais suscetíveis à decomposição (Roscoe & Machado, 2002), podendo contribuir com a nutrição dos cultivos a curto prazo. Já a fração MOM é mais recalcitrante (Roscoe & Machado, 2002) e nesse caso se torna importante dreno de CO.

Tabela 3. Variação no estoque de carbono orgânico (Δ EstCO) no solo e nas frações da matéria orgânica do solo na camada 0-5 cm em relação à testemunha.

Tempo (dias)	Solo	MOL livre	MOP	MOM	“Diferença”
	Mg ha ⁻¹				
0	5,81	0,37	0,67	4,77	0
Adubação nitrogenada de plantio					
Δ EstCO					
60	0,68	0,32	0,39	-0,40	0,37
120	1,26	0,86	0,34	0,23	-0,17
180	1,85	1,06	0,29	0,83	-0,33
240	2,44	0,92	0,23	1,43	-0,14
Parte da adubação mineral de 1º ano pós-plantio					
300	3,02	0,45	0,18	2,03	0,36

Tabela 4. Variação no estoque de carbono orgânico (Δ EstCO) no solo e nas frações da matéria orgânica do solo na camada 5-10 cm em relação à testemunha.

Tempo (dias)	Solo	MOL livre	MOP	MOM	“Diferença”
	Mg ha ⁻¹				
0	5,81	0,37	0,67	4,77	0
Adubação nitrogenada de plantio					
Δ EstCO					
120	2,35	0,86	0,14	1,61	-0,26
180	0,66	0,65	0,20	-0,01	-0,18
240	0,73	0,44	0,15	0,52	-0,38
Parte da adubação mineral de 1º ano pós-plantio					
300	2,55	0,23	-0,02	3,20	-0,86

A coluna “Diferença” nas tabelas três e quatro indica a diferença do valor observado para o solo e a soma das frações. Essa diferença se deve principalmente a aplicação das equações ajustadas e também á taxa de recuperação de CO do solo após o fracionamento físico, que variou de 94,92 a 104,18% na camada de 0-5 cm e de 100,00 a 110,41% na camada de 5-10 cm (Tabela 5). Rangel et al. (2007) obtiveram valores variando de 87,7 a 122,1%, na camada 0-5 cm, e de 101,9 a 124,6% na camada 5-10 cm, em diversos sistemas de uso e manejo. Já Freixo et al. (2002) obtiveram valores de 81,5 a 96,0% e de 75,9 a 90,6%, respectivamente para as camadas de 0-5 e 5-10 cm.

A superestimação nos valores de CO das frações orgânicas, em relação ao solo, observada no presente trabalho, bem como no de Rangel et al (2007), pode ser decorrente dos métodos utilizados para o fracionamento físico da MOS e para determinar o CO. O uso do NaI no fracionamento densimétrico da MOS pode provocar superestimação nos teores de CO, quando esse é determinado por dicromatometria em relação a determinação por analisador elementar (Demolinari et al., 2008).

Tabela 5. Estoques de CO no solo e nas frações orgânicas ao longo do tempo.

Camada	Tempo (dias)	Solo	Frações			Recuperação (%) ¹
			MOL livre	MOP	MOM	
.....(Mg ha ⁻¹).....						
0-5 cm	0	5,81	0,37	0,67	4,77	100,00
	60	6,49	0,69	1,06	4,41	94,92
	120	7,08	1,23	1,01	5,01	102,40
	180	7,66	1,43	0,95	5,60	104,18
	240	8,25	1,30	0,90	6,20	101,82
	300	8,84	0,82	0,85	6,80	95,81
5-10 cm	0	5,81	0,37	0,67	4,77	100,00
	120	8,17	1,23	0,80	6,38	102,94
	180	6,47	1,02	0,86	4,77	102,78
	240	6,54	0,81	0,81	5,30	105,81
	300	8,36	0,60	0,65	7,98	110,41

¹Relação entre a soma do estoque de CO de cada fração e o estoque do solo.

Na camada de 0-5 cm o estoque de N do solo, da MOM e MOP apresentou resposta quadrática, com queda inicial nos valores até os 231, 213 e 209 dias, respectivamente (Figura 6). Já o estoque de N na MOL livre apresentou resposta quadrática na mesma camada, porém com incremento inicial nos valores até os 225 dias (Figura 6).

Na camada de 5-10 cm não houve alteração significativa nos estoques de N do solo, MOM e MOP (Figura 6). Enquanto que na MOL livre o estoque de N apresentou resposta linear decrescente (Figura 6).

Para camada de 0-5 cm observa-se que os estoques de N apresentaram tendência de aumento do tempo zero aos 60 dias (Figura 6). A partir dessa data os estoques de N do solo e da MOM apresentaram dinâmicas similares. Isso se deve ao fato de que o N associado às frações mais estáveis da MOS (MOM) representam as maiores reservas de N orgânico do solo (Moreira & Siqueira, 2006; Winck et al., 2014). O estoque N da MOP também apresentou dinâmica similar àquelas do solo e da MOM.

A queda nos valores de estoque de N do solo, MOM e MOP, na camada de 0-5 cm a partir dos 60 dias, indica mineralização do N dos compartimentos MOM e MOP, com consequente absorção pelas plantas de café, lixiviação para camadas mais profundas e, ou, perdas por volatilização. A partir dos 213 e 209 dias, respectivamente para MOM e MOP, os estoques de N começam a sofrer pequenos incrementos. Para a fração MOM esse incremento pode ser decorrente da primeira adubação nitrogenada de pós-plantio, mineralização de parte da MOP, apesar de haver incremento no estoque de N dela, e mineralização da fração MOL livre e do material orgânico mais recalcitrante sobre o solo, que inclusive podem ter sido influenciados pela adição de N mineral na primeira adubação pós-plantio, devido ao *efeito prime* (Moreira & Siqueira, 2006). A ciclagem da microbiota também pode ter influenciado nos resultados. Já o incremento no estoque de N da MOP pode ser decorrente da decomposição da MOL livre e do material orgânico remanescente aplicado, que também podem ter sofrido *efeito prime* pela adição de N mineral.

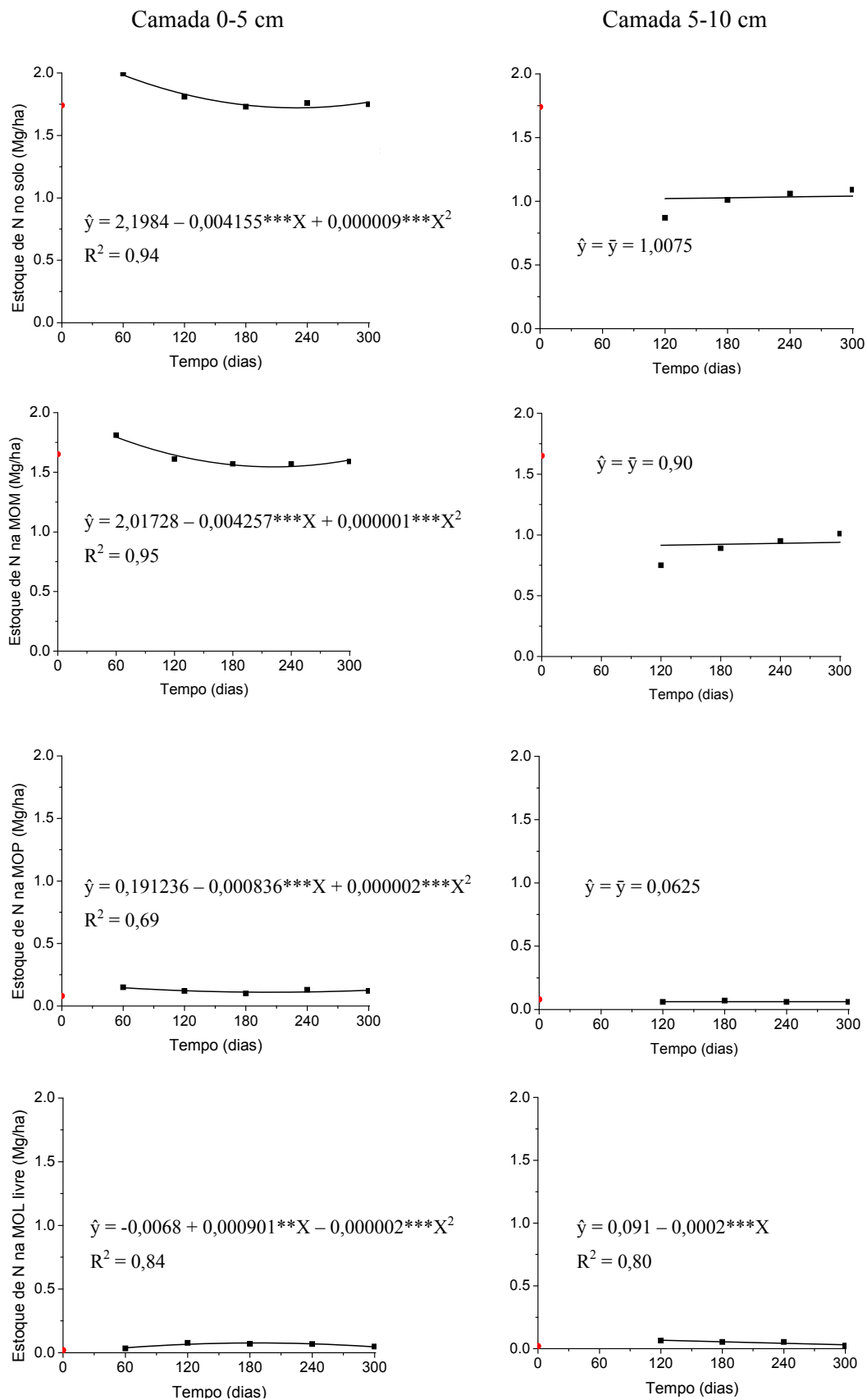


Figura 6. Estoque de N no solo e em frações da MOS, nas duas profundidades estudadas. ***, **, * e °: significativos 0,1, 1, 5 e 10%, respectivamente.

Foram aplicados aos vasos com cafeeiros 16,8 g de N, dos quais 7,2 g foi via sulfato de amônio e 9,6 g via matéria seca da parte aérea da crotalária. A dose total correspondeu a, aproximadamente, 283 kg ha⁻¹.

No estudo sobre a volatilização da amônia após a adubação, houve volatilização equivalente a 12,62% do total de N aplicado, após 60 dias de avaliação. Após 120 dias, a volatilização se equivaliu a 14,52% do total de N aplicado.

O estoque de N no tempo zero (testemunha), na camada de 0-5 cm, era de 1,74 Mg ha⁻¹, o que correspondeu a 102,66 g vaso⁻¹ de N. Em seguida foram adicionados 16,8 g de N, via sulfato de amônio e crotalária. Decorridos 60 dias houve perda de N por volatilização de amônia contabilizada em cerca de 35,93 kg ha⁻¹ (2,12 g vaso⁻¹) e o estoque de N no solo era de 1,98 Mg ha⁻¹, o que correspondeu a 116,82 g vaso⁻¹ de N, na primeira camada avaliada. Houve acréscimo de 240 kg ha⁻¹, equivalente a 14,16 g vaso⁻¹ de N, na camada de 0-5 cm. A tabela 6 resume essa dinâmica observada.

Aos 120 dias as perdas por volatilização de amônia atingiram cerca de 41,36 kg ha⁻¹ (2,44 g vaso⁻¹) e o estoque de N no solo era de 1,83 Mg ha⁻¹ (107,97 g vaso⁻¹) (Tabela 6). Isso resultou no incremento, em relação ao tempo zero, de 90 kg ha⁻¹ (5,31 g vaso⁻¹) de N.

Nesse caso percebe-se que há uma diferença de 0,52 e 9,05 g vaso⁻¹ de N, aos 60 e 120 dias respectivamente, entre o estoque inicial, o aporte de N via adubações, as perdas por volatilização de amônia e o estoque final. Essa diferença indica a absorção de N pelas plantas de café, lixiviação para camadas mais profundas e, ou, perdas por outras formas voláteis. Todavia, tem-se que considerar também que, possivelmente, ainda havia N na crotalária em decomposição nesse período.

Tabela 6. Resumo geral da dinâmica do N em vasos com cafeeiro na camada de 0-5 cm até 120 dias após adubação com *Crotalaria juncea* e sulfato de amônio.

Tempo	Estoque	Volatilização	Aporte	“Diferença”
N (g vaso ⁻¹).....			
0	102,66	-	-	-
Adubação com 16,8 g de N				
60	116,82	2,12	14,68	0,52
120	107,97	2,44	14,36	9,05

Na camada seguinte, de 5-10 cm, não houve avaliação na data de 60 dias após as adubações e nas avaliações seguintes não houve incremento no estoque de N, em relação ao tempo zero, conforme será mostrado posteriormente.

Dos 14,16 g de N aportados ao solo na camada de 0-5 cm (0,24 Mg ha⁻¹), até os 60 dias, 1,77 g (0,03 Mg ha⁻¹) estavam associado à MOL livre, 4,13 g (0,07 Mg ha⁻¹) à MOP e 8,99 g (0,15 Mg ha⁻¹) estava associado à MOM (Tabela 7). A aplicação de fontes orgânica e mineral de N pode ter favorecido a rápida estabilização de N na MOM (Moran et al., 2005).

Mais de 60% do N que foi aportado teve como destino frações estáveis da MOS, até os 60 dias, indicando rápida estabilização desse nutriente nos compartimentos orgânicos mais recalcitrantes. Esse resultado está de acordo com os relatados por Bimüller et al. (2013). Segundo esses autores, mais de 60% do N recuperado, proveniente da serrapilheira em decomposição sobre o solo, teve como destino associações organo-mineral, na camada de 0-10 cm.

A variação no estoque de N (Δ EstN) do solo, na camada de 0-5 cm, ficou positiva, em relação ao tempo zero, até os 180 dias (Tabela 7). Na avaliação aos 240 dias o valor ficou negativo e em seguida voltou a ficar positivo. Certamente a resposta após os 240 dias foi devido a aplicação de parte da adubação nitrogenada de primeiro ano pós-plantio, quando foram fornecidos 15 g vaso⁻¹ de N na forma de sulfato de amônio.

Tabela 7. Variação no estoque de N (Δ EstN) no solo e nas frações da matéria orgânica do solo na camada 0-5 cm em relação à testemunha.

Tempo (dias)	Solo	MOL livre	MOP	MOM	“Diferença”
Mg ha ⁻¹				
0	1,74	0,02	0,08	1,65	0
Adubação nitrogenada de plantio					
Δ EstN					
60	0,24	0,03	0,07	0,15	-0,01
120	0,09	0,07	0,04	0,01	-0,03
180	0,0	0,08	0,03	-0,07	-0,04
240	-0,02	0,09	0,03	-0,07	-0,03
Parte da adubação mineral de 1º ano pós-plantio					
300	0,02	0,08	0,04	-0,01	-0,09

Ainda na camada de 0-5 cm, a ΔEstN nas frações MOL livre e MOP mantiveram-se positivas ao longo das avaliações (Tabela 7). Enquanto que a ΔEstN na fração MOM tornou-se negativa a partir dos 180 dias, em relação ao tempo zero (Tabela 7).

Na camada de 5-10 cm a ΔEstN foi sempre negativa nas frações MOM e MOP, o que se refletiu no solo (Tabela 8). Isso indica mineralização do N desses compartimentos orgânicos e saída do N dessa camada, podendo ser principalmente por lixiviação e absorção pelas plantas de café. Nessa camada, somente a fração MOL livre apresentou ΔEstN positiva durante o período avaliado (Tabela 8).

Na camada mais superficial, mesmo havendo também mineralização dos compartimentos orgânicos, absorção de N pelas plantas de café, possível lixiviação, além das perdas por volatilização, havia constante decomposição e mineralização do material orgânico proveniente da crotalaria, o que, possivelmente, foi determinante para os resultados.

Tabela 8. Variação no estoque de N (ΔEstN) no solo e nas frações da matéria orgânica do solo na camada 5-10 cm em relação à testemunha.

Tempo (dias)	Solo	MOL livre	MOP	MOM	“Diferença”
0	1,74	0,02	0,08	1,65	0
Adubação nitrogenada de plantio					
ΔEstN					
120	-0,74	0,05	-0,14	-0,75	0,10
180	-0,74	0,04	-0,14	-0,75	0,11
240	-0,74	0,02	-0,14	-0,75	0,13
Parte da adubação mineral de 1º ano pós-plantio					
300	-0,74	0,01	-0,14	-0,75	0,14

A coluna “Diferença” nas tabelas sete e oito indica a diferença do valor observado para o solo e a soma das frações orgânicas. Essa diferença se deve principalmente a aplicação das equações ajustadas. A variação ficou entre 100 e 105,68% na camada de 0-5 cm e 98,02 e 101,98% na camada de 5-10 cm (Tabela 9).

Tabela 9. Estoques de N no solo e nas frações orgânicas ao longo do tempo.

Camada	Tempo (dias)	Solo	Frações			Recuperação (%) ¹
			MOL livre	MOP	MOM	
.....(Mg ha ⁻¹).....						
0-5 cm	0	1,74	0,02	0,08	1,65	100,58
	60	1,98	0,05	0,15	1,78	100,00
	120	1,83	0,09	0,12	1,65	101,64
	180	1,74	0,10	0,11	1,58	102,87
	240	1,72	0,11	0,11	1,57	104,07
	300	1,76	0,10	0,12	1,64	105,68
5-10 cm	0	1,74	0,02	0,08	1,65	100,58
	120	1,01	0,07	0,06	0,90	101,98
	180	1,01	0,06	0,06	0,90	100,99
	240	1,01	0,04	0,06	0,90	99,01
	300	1,01	0,03	0,06	0,90	98,02

¹Relação entre a soma do estoque de CO de cada fração e o estoque do solo.

6. CONCLUSÕES

Nas condições desse experimento, ocorrem altas taxas de volatilização de amônia logo após a adubação do cafeeiro com *C. juncea* e sulfato de amônio.

A variação no estoque de COT do solo foi positiva durante todo tempo de avaliações, em ambas as camadas, indicando que a prática adotada foi eficiente para conservar carbono no solo.

A prática adotada foi eficiente para manter positiva a variação no estoque de N no solo e em frações da matéria orgânica do solo na maior parte do tempo somente na camada de 0-5 cm.

Nas condições desse experimento, a maior parte do N aportado ao solo é rapidamente incorporado às frações mais estáveis da MOS.

7. REFERÊNCIAS

AITA, C.; GIACOMINI, S.J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 601-612, 2003.

ALMEIDA, M.M.T.B. **Fertilizantes de leguminosas: autossuficiência de nitrogênio em sistemas orgânicos de produção**. 2012. 162p. Tese (Doutorado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Área de Concentração em Agroecologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica – RJ. 2012.

ALVES, A.C. OLIVEIRA, P.P.A.; HERLING, V.R.; TRIVELIN, P.C.O.; LUZ, P.H.C.; ALVES, T.C.; ROCHETTI, R.C.; BARIONI JÚNIOR, W. New methods to quantify NH₃ volatilization from fertilized surface soil with urea. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.133-140, 2011.

AMBROSANDO, E.J.; TRIVELIN, P.C.O.; CANTARELLA, H.; AMBROSANDO, G.M.B.; SCHAMMASS, E.A.; MURAOKA, T.; ROSSI, F. ¹⁵N-labeled nitrogen from green manure and ammonium sulfate utilization by the sugarcane ratoon. **Scientia Agricola**, v.68, n.3, p.361-368, 2011.

ARAÚJO, A.S.F.; TEIXEIRA, G.M.; CAMPOS, A.X.; SILVA, F.C. Utilização de nitrogênio pelo trigo cultivado em solo fertilizado com adubo verde (*Crotalaria juncea*) e/ou uréia. **Ciência Rural**, v.35, n.2, p.284-289, 2005.

ARAÚJO, E.S.; GUERRA, J.G.M.; ESPINDOLA, J.A.A.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M.; MARTELLETO, L.A.P.; ALVES, B.J.R. Recuperação no sistema solo-planta de nitrogênio derivado da adubação verde aplicada à cultura do repolho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.7, p.729-735, 2011.

ARAÚJO, E.S.; MARSOLA, T.; MIYAZAWA, M.; SOARES, L.H.B.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M.; ALVES, B.J.R. Calibração de câmara semiaberta estática para quantificação de amônia volatilizada do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.7, p.769-776, 2009.

ARAÚJO, J.B.S. **Adubação verde com leguminosas em complementação à adubação orgânica ou mineral em cafeeiros**. 2012. 97p. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa – MG. 2012.

ARAÚJO, J.B.S., RODRIGUES, L.B.; RODRIGUES, M.C.; MARTINEZ, H.E.P.; SANTOS, R.H.S. Adubação nitrogenada em cafeeiros com biomassa de feijão-deporco. **Coffee Science**, v.9, n.3, p.336-346, 2014.

ARAÚJO, J.B.S. RODRIGUES, M.C.; RODRIGUES, L.B.; SANTOS, R.H.S.; MARTINEZ, H.E.P. Nitrogen fertilization of coffee: organic compost and *Crotalaria juncea* L.. **Revista Ceres**, v.60, n.6, p.842-851, 2013.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.7, p.677-683, 2004.

BERGO, C.L.; PACHECO, E.P.; MENDONÇA, H.A.; MARINHO, J.T.S. Avaliação de espécies leguminosas na formação de cafezais no segmento da agricultura familiar no Acre. **Acta Amazonica**. v.36, n.1, p. 19-24, 2006.

BIMÜLLER, C.; NAUMANN, P.S.; BUEGGER, F.; MICHAEL DANNENMANN, M.; BERND ZELLER, B.; VON LÜTZOWA, M.; KÖGEL-KNABNER, I. Rapid transfer of ¹⁵N from labeled beech leaf litter to functional soil organic matter fractions in a Rendzic Leptosol. **Soil Biology & Biochemistry** v. 58, p. 323-33, 2013.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Org). **Fertilidade do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa-MG, 2007, p. 375-470.

CARMO, F.F.; FIGUEIREDO, C.C.; RAMOS, M.L.G.; VIVALDI, L.J.; ARAÚJO, L.G. Frações granulométricas da matéria orgânica em latossolo sob plantio direto com gramíneas. **Bioscience Journal**, v.28, n.3, p.420-431, 2012.

CHRISTENSEN, B.T. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. **European Journal of Soil Science**, v.52, p.345-353, 2001.

CHRISTENSEN, B.T. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. **Advances in Soil Science**, New York, v.20, p.1-90. 1992.

CIOTTA, M.N.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; FONTOURA, S.M.V.; WOBETO, C.; ALBUQUERQUE, J.A. Manejo da calagem e os componentes da acidez de latossolo bruno em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p. 317-326, 2004.

COLOZZI FILHO, A.; CARDOSO, E.J.B.N. Detecção de fungos micorrízicos arbusculares em raízes de cafeeiro e de crotalária cultivada na entrelinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.10, p.2033-2042, 2000.

COSTA, C.H.M.; CRUSCIOL, C.A.C.; SORATTO, R.P.; FERRARI NETO, J. Persistência e liberação de elementos da fitomassa do consórcio crotalária com milho sob fragmentação. **Revista Ciência Agronômica**, v.45, n.1, p.197-208, 2014.

DELARMELINDA, E.A.; SAMPAIO, F.A.R.; DIAS, J.R.M.; TAVELLA, L.B.; SILVA, J.S. Adubação verde e alterações nas características químicas de um Cambissolo na região de Ji-Paraná-RO. **Acta Amazonica**, v.40, n.3, p.625-628, 2010.

DEMOLINARI, M.S.M.; SILVA, I.R.; LIMA, A.M.N.; VERGÜTZ, L.; MENDONÇA, E.S. Efeito da solução de separação densimétrica na quantidade e qualidade da matéria orgânica leve e na quantificação do carbono orgânico da fração pesada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p. 871-879, 2008.

DINIZ, E.R.; SANTOS, R.H.S.; URQUIAGA, S.S.; PETERNELLI, L.A.; BARRELLA, T.P.; FREITAS, G.B.. Green manure incorporation timing for organically grown broccoli. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 2, p. 199-206, 2007.

DINIZ, E.R.; VARGAS T.O.; PEREIRA, W.D.; GUEDES, A.F.; SANTOS, R.H.S.; PETERNELLI, L.A. Decomposição e mineralização do nitrogênio proveniente do adubo verde *Crotalaria juncea*. **Científica**, v.42, n.1, p.51–59, 2014.

DUARTE, A.P.; MACHADO, J.O.; MELO, W.J.; BRAGA, N.R.; ANDRIOLI, J.L. Efeito da sucessão com leguminosas sob diferentes níveis de calagem no desenvolvimento e micorrização do trigo. **Bragantia**, v.54, n.2, p.325-334. 1995.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de Métodos de análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2011. 230p.

ERASMO, E.A.L.; AZEVEDO, W.R.; SARMENTO, R.A.; CUNHA, A.M.; GARCIA, S.L.R. Potencial de espécies utilizadas como adubo verde no manejo integrado de plantas daninhas. **Revista Planta Daninha**, v.22, n.3, p.337-342, 2004.

ESPINDOLA, J.A.A.; ALMEIDA, D.L.; GUERRA, J.G.M.; SILVA, E.M.R.; SOUZA, F.A. Influência da adubação verde na colonização micorrízica e na produção da batata-doce. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, n.3, p.339-347, 1998.

FENILLI, T.A.B.; REICHARDT, K. & TRIVELIN, P.C.O. Volatilization of ammonia derived from fertilizer and its re-absorption by coffee (*Coffea arabica* L.) plants. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.38, 2007.

FERREIRA, L.E.; SOUZA, E.P.; CHAVES, A.F. Adubação verde e seu efeito sobre os atributos do solo. **Revista Verde**, v.7, n.1, p.33-38, 2012.

FRAZÃO, L.A.; SANTANA, I.K.S.; CAMPOS, D.V.B.; FEIGL, B.J. & CERRI, C.C. Estoques de carbono e nitrogênio e fração leve da matéria orgânica em Neossolo

Quartzarênico sob uso agrícola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p.1198-1204, 2010.

FREIXO, A.A.; MACHADO, P.L.O.A.; GUIMARÃES, C.M.; SILVA, C.A.; FADIGAS, F.S. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de latossolo do cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p. 425-434, 2002.

GONZATTO, R.; MIOLA, E.C.C.; DONEDA, A.; PUJOL, S.B.; AITA, C.; GIACOMINI, S.J. Volatilização de amônia e emissão de óxido nitroso após aplicação de dejetos líquidos de suínos em solo cultivado com milho. **Ciência Rural**, v.43, n.9, 2013.

GUIMARÃES, P. T. G. et al. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de Corretivos e Fertilizantes em Minas Gerais (5ª Aproximação)**. Viçosa-MG: CSFSEMG/UFV, 1999. p.289-302.

HUTCHINSON, J.J.; CAMPBELL, C.A.; DESJARDINS, R.L. Some perspectives on carbon sequestration in agriculture. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.142, p.288-302, 2007.

JANZEN, H.H., MCGINN, S.M. Volatile loss of nitrogen during decomposition of legume green manure. **Soil Biology and Biochemistry**, v.23, p.291-297. 1991.

KÖLBL, A.; VON LÜTZOW, M.; KÖGEL-KNABNER, I. Decomposition and distribution of ¹⁵N labelled mustard litter (*Sinapis alba*) in physical soil fractions of a cropland with high- and low-yield field areas. **Soil Biology and Biochemistry** v. 38, p. 3292-3302, 2006.

LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**, v.123, p.1-22, 2004.

LANGE, A.; BOLOGNA, I.R.; FARONI, C.E., TRIVELIN, P.C.O. Aproveitamento pelo trigo do nitrogênio residual da crotalaria (*Crotalaria juncea*) e da uréia aplicado ao solo em cultivo precedente. **Ciência Rural**, v.39, n.6, p.1715-1720, 2009.

LARA CABEZAS, W.A.R.; KORNDORFER, G.H.; MOTTA, S.A. Volatilização de N-NH₃ na cultura de milho: II. avaliação de fontes sólidas e fluidas em sistema de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p. 489-496, 1997.

LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O. Eficiência de um coletor semi-aberto estático na quantificação de N-NH₃ volatilizado da uréia aplicada ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, p.345-352, 1990.

LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.175-187, 2004.

LU, Y.; WATANABE, A.; KIMURA, M. Carbon dynamics of rhizodeposits, root- and shoot-residues in a rice soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v.35, p.1223-1230, 2003.

LUNARDI, M.H.B. **Fracionamento físico da matéria orgânica do solo com diferentes energias de sonicação em três latossolos brasileiros sob vegetação nativa.** 2002. 64p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia. Porto Alegre – RS. 2002.

MACHADO, P.L.O.A. **Fracionamento físico do solo por densidade e granulometria para a quantificação de compartimentos da matéria orgânica do solo – um procedimento para a estimativa pormenorizada do sequestro de carbono pelo solo.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 6 p. (Embrapa Solos. Comunicado Técnico).

MARIANO, E.; TRIVELIN, P.C.O.; VIEIRA, M.X.; LEITE, J.M.; OTTO, R.; FRANCO, H.C.J. Ammonia losses estimated by an open collector from urea applied to sugarcane straw. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36 p. 411-419, 2012.

MARIN, A.M.P.; MENEZES, R.S.C.; SILVA, E.D.; SAMPAIO, E.V.S.B. Efeito da *Gliricidia sepium* sobre nutrientes do solo, microclima e produtividade do milho em sistema agroflorestal no agreste paraibano. **Revista Brasileira de Ciências Solo**, v.30, p.555-564, 2006.

MARSOLA, T.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; CHAVES, J. C. D. Avaliação da perda por volatilização de amônia do solo da lavoura cafeeira. In: Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil n.1, 2000, Poços de Caldas-MG. **Resumos expandidos**. Brasília-DF. Embrapa Café; Belo Horizonte, Minasplan, 2000. 2v. (1490p.), p. 1383-1385.

MENDONÇA, E.S.; SILVA, A.C.; MEDEIROS, M.L.; FONTES, M.P.F. Carbono orgânico extraído por soluciones salinas y su relación com otras formas de carbono de suelos tropicales. **Agrociencia**, v.35, n.4, p.397-406, 2001.

MENDONÇA, E.S. & MATOS, E.S. **Matéria Orgânica do Solo: Métodos de Análises**. Viçosa – MG, 2005. 81p.

MIRANDA, F.R.; SANTANA, M.G.S.; SOUZA, C.C.M.; OLIVEIRA, C.H.C. Calibração do sensor dielétrico ECH₂O em dois tipos de solos. **Revista Ciência Agronômica**, v.38, n.3, p.317-321, 2007.

MIYAZAWA, M.; FIN, F.A.; CHAVES, J.C.D.; PAVAN, M.A. Avaliação da perda de NH₃ de resíduos vegetais em lavoura cafeeira. In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa dos Cafés do Brasil n. 2, 2001, Vitória, ES. **Anais**. Brasília-DF, Embrapa Café, 2001. (CD-ROM), p. 2322-2328.

MORAN, K.K.; SIX, J.; HORWATH, W.R.; van KESSEL, C. Role of mineral-nitrogen in residue decomposition and stable soil organic matter formation. **Soil Science Society of America Journal**, v.69, p.1730-1736, 2005.

MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2006. 626p.

MOTTA, A.C.V.; NICK, J.A.; YORINORI, G.T.; SERRAT, B.M. Distribuição horizontal e vertical da fertilidade do solo e das raízes de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) cultivar Catuaí. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.28, n.4, p.455-463, 2006.

MYROLD, D.D. Transformations of Nitrogen. In: SYLVIA, D.M.; FUHRMANN, J.J.; HARTEL, P.G.; ZUBERER, D.A. (Eds) **Principles and applications of soil microbiology**. New Jersey, Pearson Prentice Hall, 2005. p. 333-372.

NETO, R.C.A.; GÓES, G.B.; MIRANDA, N.O.; DINIZ FILHO, E.T.; PONTES FILHO, F.S.T. Adubação verde uma alternativa sustentável para o Brasil. **Revista Verde**, v.3, n.1, p.16-20, 2008.

NEU, V. **Influência da cobertura vegetal na ciclagem de nutrientes via solução do solo na região de Manaus-AM**. 2005. 110p. Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba – SP. 2005.

PAULO, E.M.; BERTON, R.S.; CAVICHIOLI, J.C.; BULISANI, E.A.; KASAI, F.S. Produtividade do café Apoatã em consórcio com leguminosas na região da alta paulista. **Bragantia**, v.60, n.3, p.195-199, 2001.

PAULO, E.M.; BERTON, R.S.; CAVICHIOLI, J.C.; BULISANI, E.A.; KASAI, F.S. Produtividade do cafeeiro Mundo Novo enxertado e submetido à adubação verde antes e após recepa da lavoura. **Bragantia**, v. 65, n.1, p.115-120, 2006.

PEÑA, J.A.G. **Produtividade de milho, perdas de nitrogênio e compartimentos da matéria orgânica em solo adubado com cama de aviário**. 2010. 118p. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa – MG. 2010.

PERIN, A.; SANTOS, R.H.S.; CABALLERO, S.S.U.; GUERRA, J.G.M.; GUSMÃO, L.A.. Acúmulo e liberação de P, K, Ca e Mg em crotalária e milho solteiros e consorciados. **Revista Ceres**, v.57, n.2, p.274-281, 2010.

PERIN, A.; SANTOS, R.H.S.; URQUIAGA, S.; GUERRA, J.G.M.; CECON, P.R. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.1, p.35-40, 2004.

POIRIER, V.; ANGERS, D.A.; WHALEN, J.K. Formation of millimetric-scale aggregates and associated retention of ^{13}C e ^{15}N -labelled residues are greater in subsoil than topsoil. **Soil Biology & Biochemistry**, v.75, p.45-53, 2014.

PONTES, T.M.; SANTOS, R.H.S.; JARAMILLO, C.; FARDIN, M. P.; SARMENTO, F.; GUSMÃO, L.A. Decomposição e liberação de nutrientes por resíduos de leguminosas para adubação verde de cafeeiro na Zona da Mata – MG. IV Congresso Brasileiro de Agroecologia, 2006, Belo Horizonte. **Resumos...** Belo Horizonte: ABA, 2006. CDRom.

PULROLNIK, K.; BARROS, N.F.; SILVA, I.R.; NOVAIS, R.F.; BRANDANI, C.B. Estoques de carbono e nitrogênio em frações lábeis e estáveis da matéria orgânica de solos sob eucalipto, pastagem e cerrado no Vale do Jequitinhonha-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1125-1136, 2009.

RANGEL, O.J.P. & SILVA, C.A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1609-1623, 2007.

RIBAS, R.G.T.; SANTOS, R.H.S.; SIQUEIRA, R.G.; DINIZ, E.R.; PETERNELLI, L.A.; FREITAS, G.B. Decomposição, liberação e volatilização de nitrogênio em resíduos culturais de mucuna-cinza (*Mucuna cinerea*). **Ciência e Agrotecnologica**, v.34, n.4, p. 878-885, 2010.

RIBEIRO, P.H.; SANTOS, J.V.V.M.; COSER, S.M.; NOGUEIRA, N.O.; MARTINS, C.A.S. Adubação verde, os estoques de carbono e nitrogênio e a qualidade da matéria orgânica do solo. **Revista Verde**, v.6, n.1, p.43-50, 2011.

RICCI, M.S.F.; ALVES, B.J.R.; MIRANDA, S.C.; OLIVEIRA, F.F. Growth rate and nutritional status of an organic coffee cropping system. **Scientia Agricola**, v.62, n.2, p.138-144, 2005.

RODRIGUES, J.O.; MONTE, J.A.; OLIOSI, G.; DIAS, M.A.; PARTELLI, F.L.; PIRES, F.R.; ESPINDULA, M.C. Perdas por volatilização de diferentes adubos nitrogenados aplicados no cafeeiro conilon. Resumo Expandido. **FERTBIO**, 2012 Maceió (AL), 17 a 21 de Setembro.

ROSCOE, R.; MACHADO, P.L.O.A. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. Dourados-MS: Embrapa Agropecuária Oeste; Rio de Janeiro-RJ: Embrapa Solos, 2002, 86p.

ROSCOE, R.; MERCANTE, F.M. & SALTON, J.C. (Ed.). **Biomassa microbiana do solo**. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F.M. & SALTON, J.C. (Ed.). Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. p.163-198.

RUIJTER, F.J.; HUIJSMANS, J.F.M.; RUTGERS, B. Ammonia volatilization from crop residues and frozen green manure crops. **Atmospheric Environment**, v.44, p. 3362-3368, 2010.

SEO, J.; MEISINGER, J.J.; LEE, H. Recovery of Nitrogen-15–Labeled Hairy Vetch and Fertilizer Applied to Corn. **Agronomy Journal**, v.98, p. 245-254, 2006.

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

SOHI, S.P.; MAHIEU, N.; ARAH, J.R.M.; POWLSON, D.S.; MADARI, B. & GAUNT, J.L. A procedure for isolating soil organic matter fractions suitable for modeling. **Soil Science Society of America Journal**, v.65 p.1121-1128, 2001.

SOUZA, C.M.; PIRES, F.R.; PARTELLI, F.L.; ASSIS, R.L. **Adubação Verde e Rotação de Culturas**. Viçosa-MG: Ed. UFV, 2012.

SOUZA, E.C.; CARNEIRO, M.A.C.; PAULINO, H.B.; SILVA, C.A.; BUZETTI, S. Alterações nas frações do carbono em um neossolo quartzarênico submetido a diferentes sistemas de uso do solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.28, n.3, p.305-311, 2006.

VERGUTZ, L.; NOVAIS, R.F.; SILVA, I.R.; BARROS, N.F.; NUNES, T.N.; PIAU, A.A.M. Mudanças na matéria orgânica do solo causadas pelo tempo de adoção de um sistema agrossilvopastoril com eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.43-57, 2010.

WINCK, B.R.; VEZZANI, F.M.; DIECKOW, J.; FAVARETTO, N.; MOLIN, R. Carbono e nitrogênio nas frações granulométricas da matéria orgânica do solo, em sistemas de culturas sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.980-989, 2014.

ANEXOS

Quadro 1. ANOVA dos dados de estoque de CO do solo e das frações da matéria orgânica do solo na camada de 0-5 cm.

FV	GL	QM			
		COT solo	CO MOL live	CO MOP	CO MOM
Tempo	4	5,13125	0,625414	0,056044	5,568594
Erro	20	0,4715	0,049058	0,011503	0,475142
Total	24				
CV (%)		8,96	20,03	11,26	12,30

Quadro 2. ANOVA dos dados de estoque de CO do solo e das frações da matéria orgânica do solo na camada de 5-10 cm.

FV	GL	QM			
		COT solo	CO MOL live	CO MOP	CO MOM
Tempo	3	5,262593	0,502845	0,088062	8,132165
Erro	16	1,341483	0,028445	0,010304	1,153842
Total	19				
CV (%)		15,64	18,46	12,83	18,90

Quadro 3. ANOVA dos dados de estoque de N do solo e das frações da matéria orgânica do solo na camada de 0-5 cm.

FV	GL	QM			
		COT solo	CO MOL live	CO MOP	CO MOM
Tempo	4	0,057334	0,001634	0,001973	0,053835
Erro	20	0,004938	0,000158	0,000447	0,005295
Total	24				
CV (%)		3,88	21,09	17,27	4,47

Quadro 4. ANOVA dos dados de estoque de N do solo e das frações da matéria orgânica do solo na camada de 5-10 cm

FV	GL	QM			
		COT solo	CO MOL live	CO MOP	CO MOM
Tempo	3	0,048007	0,00150	0,000080	0,059773
Erro	16	0,032785	0,00008	0,000158	0,034780
Total	19				
CV (%)		17,95	18,25	20,78	20,72