



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

MÁBIA MARIA DUARTE ALCÂNTARA

**FLUXO DE ÓXIDO NITROSO (N₂O) DO SOLO EM SISTEMA AGROFLORESTAL
COM PALMA DE ÓLEO EM TOMÉ-AÇU**

BELÉM-PA
2015



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

MÁBIA MARIA DUARTE ALCÂNTARA

**FLUXO DE ÓXIDO NITROSO (N₂O) DO SOLO EM SISTEMA AGROFLORESTAL
COM PALMA DE ÓLEO EM TOMÉ-AÇU**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em ciências florestais, para obtenção do Título de Mestre em ciências florestais.

Orientador: Dr. Francisco de Assis Oliveira

**BELÉM-PA
2015**

Alcântara, Mária Maria Duarte

Fluxo de óxido nitroso do solo em sistema agroflorestral com palma de óleo em Tomé-Açu. / Mária Maria Duarte Alcântara.– Belém, 2015.

Dissertação (Mestrado em ciências florestais) – Universidade Federal Rural da Amazônia, 2015.

1. Solo –Sistemas agroflorestrais. 2. Solo – Microbiologia – análise. 3.Dendê. 4. Solo – Nitrogênio – análise 5. Óxido Nitroso 6

CDD –

MÁBIA MARIA DUARTE ALCÂNTARA
FLUXO DE ÓXIDO NITROSO (N₂O) DO SOLO EM SISTEMA AGROFLORESTAL
COM PALMA DE ÓLEO EM TOMÉ-AÇU

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em ciências florestais, para obtenção do Título de Mestre em ciências florestais.

BANCA EXAMINADORA

Francisco de Assis Oliveira - Orientador
Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA

Vânia Neu- 1º Examinador
Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA

Vânia Mello-2º Examinador
Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA

Vanda Andrade- 3º Examinador
Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA

À Deus, acima de tudo:

AGRADEÇO!

Aos meus Pais Benício Duarte Silva e Maria de Jesus Alcântara Silva pela educação, princípios, valores que sempre me ensinaram e incentivo, e a minhas irmãs, pelo suporte e incentivo para que eu pudesse concluir este trabalho.

Com amor e gratidão

DEDICO!

AGRADECIMENTOS

À Deus, por minha existência, saúde e sabedoria.

Aos meus pais, Benicio Duarte Silva e Maria de Jesus Alcântara Silva pelo amor, dedicação, paciência, educação, apoio e muito carinho.

As minhas irmãs Maria do Socorro, Marcia Maria Duarte Alcântara e Monice Duarte Alcântara.

Ao meu orientador Francisco de Assis Oliveira e ao meu co-orientador Steel Silva Vasconcelos, pela compreensão, paciência, responsabilidade e contribuição na realização deste trabalho.

A Livia Gabrig Turbay Rangel Vasconcelos, pelo apoio e contribuições para realização deste trabalho.

Aos funcionários do Laboratório de análise e sistemas sustentáveis (LASS) da Embrapa Amazônia Oriental, em especial Cléo Marcelo Souza, Ivanildo Trindade, Neusa Ferreira, Everson Rocha e José Maria.

Aos professores Mário Lopes da Silva Júnior e Vânia Silva de Melo, pela oportunidade dada na graduação e todos os ensinamentos.

À secretária Milena Rodrigues pela disposição para resolver problemas administrativos relativos ao curso, e pela amizade e companheirismo.

À Universidade Federal Rural da Amazônia, pela minha formação em nível de Pós-Graduação.

Aos amigos Fabíola Fernandes, Gisele Nerino, Rômulo Sobrinho, Sueny França, Marcos Paulo, Larissa Pinheiro, Liliane Cunha, Madeleine Cardoso, Helen Monique, Cyntia Silva, Paulo Pereira pelo apoio, carinho, conselhos e parceria nos momentos mais difíceis.

Em especial a Saime Rodrigues, que nos momentos mais difíceis esteve ao meu lado, agradeço à todo apoio e ensinamentos.

Aos bolsistas de iniciação científica Ruan Almeida, Maryelle Machado e Greiziany Soares pela amizade, carinho, apoio e dedicação no auxílio das análises.

Aos alunos do IFPA, Sandro Henrique, Raquel, e Martins

Ao Dr. Kato, pelo apoio na execução do trabalho.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1. Características químicas e granulométrica do solo no sistema Biodiverso, em agosto de 2012, no município de Tomé Açu (PA) 19

CAPÍTULO 2

Tabela 1. Valores de teste F e índice descritivo (valor P) das fontes de variação analisadas..... 38

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

- Figura 1.** Mapa do estado do Pará com destaque para a localização do município de Tomé-Açu..... 16
- Figura 2.** Médias mensais de precipitação pluviométrica da região de Tomé- Açu, Pará 16
- Figura 3.** Croqui do sistema biodiverso..... 19
- Figura 4.** Modelo conceitual “Hole-in-the-pipe” (FIRESTONE; DAVIDSON, 1989) 24

CAPÍTULO 2

- Figura 1.** Câmara estática de geometria circular com seus respectivos compartimentos base e tampa..... 35
- Figura 2.** Valores médios de óxido nitroso (A), Temperatura do solo (B) e umidade gravimétrica (C), no município de Tomé-Açu (PA), letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($P < 0,10$) 39
- Figura 3.** Valores médios de N nítrico (A), N amoniacal (B) e urease (C), no município de Tomé-Açu (PA), letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($P < 0,10$)..... 40
- Figura 4.** Taxa líquida de mineralização (A) e taxa líquida de nitrificação (B), no município de Tomé-Açu (PA), letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($P < 0,10$)..... 41
- Figura 5.** CBM- Carbono da biomassa microbiana (A) e NBM- nitrogênio da biomassa microbiana (B), no município de Tomé-Açu (PA), letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($P < 0,10$) 42
- Figura 6.** RB – respiração basal (A) e qCO_2 - quociente metabólico (B), no município de Tomé-Açu (PA), letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($P < 0,10$)..... 43

CAPÍTULO 3

- Figura 1.** Croqui de coleta da serrapilheira..... 59
- Figura 2.** Moldura quadrada com área interna de 0,25 m² para coleta de serrapilheira (A). Coletor de litterfall, com área interna de 1m² (B) 59
- Figura 3.** Estoque de serrapilheira no solo das frações lenhosa (A) e não lenhosa (B), em um sistema agroflorestral em Tomé-Açu, Pará..... 60
- Figura 4.** Deposição anual de serrapilheira (litterfall) nas frações lenhosa (A), não lenhosa (B) e total (C) de serrapilheira em sistemas agroflorestrais 61

SUMÁRIO

RESUMO.....	10
ABSTRACT	11
CAPÍTULO 1– CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	12
1 CONTEXTUALIZAÇÃO.....	12
2 HIPÓTESES	14
3 OBJETIVOS	15
3.1 OBJETIVO GERAL	15
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
4 METODOLOGIA GERAL	15
4.1 ÁREA DE ESTUDO	15
4.2 DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO.....	17
5 REVISÃO DE LITERATURA	20
5.1 PALMA DE ÓLEO	20
5.2 SISTEMAS AGROFLORESTAIS (SAFS).....	21
5.3 GASES DO EFEITO ESTUFA E A AGRICULTURA	22
5.4 EMISSÃO DE ÓXIDO NITROSO (N ₂ O).....	22
5.5 BIOMASSA MICROBIANA (BMS).....	24
6 REFERÊNCIAS	26
CAPÍTULO 2.....	29
FLUXO DE ÓXIDO NITROSO (N₂O) DO SOLO EM SISTEMA AGROFLORESTAL COM PALMA DE ÓLEO EM TOMÉ-AÇU.....	29
RESUMO.....	29
ABSTRACT	30
1 INTRODUÇÃO	31
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	32
2.1 AMOSTRAGEM DE SOLO	32
2.2 C E N TOTAL DO SOLO	33
2.3 BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO (BMS).....	33
2.4 RESPIRAÇÃO BASAL (RB)	34
2.5 DETERMINAÇÃO DE NITRATO (NO ₃ ⁻) E AMÔNIO (NH ₄ ⁺)	34
2.6 DETERMINAÇÃO DA ATIVIDADE DA URÉASE	35
2.7 DETERMINAÇÃO DO FLUXO DE ÓXIDO NITROSO (N ₂ O)	35
2.8 ÍNDICE CALCULADO	37
2.9 OUTRAS VARIÁVEIS	37

2.10	ANÁLISE ESTATÍSTICA	37
3	RESULTADOS.....	38
3.1	UMIDADE GRAVIMÉTRICA E TEMPERATURA DO SOLO.....	39
3.2	FLUXO DE ÓXIDO NITROSO (N ₂ O).....	39
3.3	NITROGÊNIO MINERAL.....	40
3.4	UREASE.....	40
3.5	TAXAS LÍQUIDAS DE MINERALIZAÇÃO (TLM) E NITRIFICAÇÃO (TLN)41	
3.6	C E N DA BMS	42
3.7	RESPIRAÇÃO BASAL (RB) E QUOCIENTE METABÓLICO (QCO ₂).....	43
4	DISCUSSÃO.....	44
5	CONCLUSÃO	49
6	REFERÊNCIAS	50
	CAPÍTULO 3.....	55
	ESTOQUE DE CARBONO E PRODUÇÃO DE SERRAPILHEIRA EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS CONTENDO PALMA DE ÓLEO NA AMAZÔNIA ORIENTAL	55
	RESUMO.....	55
	ABSTRACT	56
1	INTRODUÇÃO	57
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	58
2.1	COLETA DE SERRAPILHEIRA	58
3	RESULTADOS.....	60
3.1	ESTOQUE DE C NA SERRAPILHEIRA	60
3.2	DEPOSIÇÃO DE MATERIAL FORMADOR DE SERRAPILHEIRA (LITTERFALL).....	61
4	DISCUSSÃO.....	62
5	CONCLUSÃO	64
6	REFERÊNCIAS	65

RESUMO

No estado do Pará a agricultura possui um papel fundamental na geração de renda nos municípios e auxiliando na economia do estado. A agricultura paraense tem destaque no crescimento econômico, o dendê é uma cultura em expansão, principalmente nas regiões sul do estado do Pará, os Sistemas agroflorestais (SAFs) consistem em importante prática agrícola de uso da terra voltada a produção e a prestação de serviços ambientais. O objetivo desse trabalho quantificar a emissão de N_2O do solo para a atmosfera sob influência de diferentes espécies, e avaliar a relação entre a emissão e as variáveis bióticas e abióticas, em um sistema agroflorestal com cultivo de palma de óleo, no município de Tomé- Açú. O experimento foi instalado na unidade demonstrativa II (UD2) do “Projeto dendê: sistemas agroflorestais na agricultura familiar”. Para avaliação dos atributos microbiológicos do solo foram coletadas com trado holandês, 16 amostras de solo, cada uma composta de 4 sub amostras simples, na profundidade 0-5 cm e 16 amostras na profundidade 5-10 em janeiro, abril, julho e outubro, coincidindo duas coletas no período chuvoso e duas no período menos chuvoso do município, respectivamente. As análises realizadas foram biomassa microbiana, nitrogênio mineral, atividade enzimática, além da atividade microbiana (respiração basal). As coletas de amostras de ar para análise da concentração de óxido nitroso (N_2O) foi realizada com sistemas de câmaras estáticas, compostas de base e tampa, com formato cilíndrico. Foram distribuídas 16 câmaras para coleta de gases, os locais selecionados de forma aleatória foram 4 árvores de cacau, 4 arvores de ingá, 4 dendês, 4 empilhamentos. A coleta de ar foi realizada com seringas de polipropileno com volume de 20 ml. Após a coleta, as amostras foram imediatamente transferidas para frascos de borossilicato, com volume de 14 ml, A concentração de N_2O foi determinada por cromatografia gasosa. Os resultados evidenciaram que os locais de coleta não influenciam na emissão de óxido nitroso, porém as características climáticas tiveram maior influência, e que os sistemas agroflorestais com palma de óleo são eficientes quanto a imobilização de C e N no solo.

Palavras chave: Dendê, Agricultura, sistemas agroflorestais.

ABSTRACT

In the state of Pará agriculture has a key role in generating income in the municipalities and assisting in the state's economy. The Para agriculture has highlighted economic growth, oil palm is a crop in expansion, mainly in the south of Pará state, agroforestry systems (AFS) consist of important agricultural practice of use of land dedicated to production and the provision of environmental services. The aim of this study was to quantify the soil N₂O emissions to the atmosphere under the influence of different species, and to assess the relationship between the emission and the biotic and abiotic variables, in an agroforestry system with oil palm cultivation in the municipality of Tomé- Açu. The experiment was installed in the demonstration unit II (UD2) of the "palm Project: agroforestry systems in family farming." To evaluate the microbiological soil properties were collected with a Dutch auger, 16 soil samples, each consisting of 4 sub simple samples in the depth 0-5 cm and 16 samples in the depth 5-10 in January, April, July and October, coinciding two collections during the rainy season and two in the less rainy period the municipality, respectively. The analyzes were microbial biomass, mineral nitrogen, enzyme activity, as well as microbial activity (basal respiration). The collected air sample for analysis of concentration of nitrous oxide (N₂O) was performed with a static camera systems, consisting of base and lid, with cylindrical format. 16 cameras were distributed to collect gases, the selected locations were randomly 4 cacao trees, 4 spindles of ingá, palm nuts 4, 4 stacks. The collection of air was performed with polypropylene syringes with a volume of 20 ml. After collection, samples were immediately transferred to borosilicate flasks with a volume of 14 ml, the N₂O concentration was determined by gas chromatography. The results showed that the collection sites not influence the emission of nitrous oxide, but the climatic conditions had a greater influence, and agroforestry systems with oil palm are efficient as the immobilization of C and N in the soil.

Keywords: Palm, Agriculture, agroforestry.

CAPÍTULO 1– CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A *Elaeis guineensis*, conhecida no Brasil como “dendê” ou palma de óleo, provavelmente é originário do golfo da Guiné, na costa oeste africana (VIEGAS; MULLER et al., 2000). Seu cultivo em larga escala se iniciou na primeira metade do século XX, na África Ocidental e Sudeste Asiático. Esta palmeira perene apresenta a maior produtividade de óleo vegetal conhecida, sendo, entre as plantas cultivadas, a de maior atividade fotossintética (SERRÃO, 2000).

O dendezeiro foi introduzido no Brasil a partir do século XVI, junto com escravos provenientes do oeste africano, berço desta espécie. As palmeiras originadas das sementes trazidas por estes escravos, após frutificarem e terem suas sementes dispersas pelo homem e animais, formaram uma larga faixa de palmares subespontâneos na costa da Bahia (CUNHA et al., 2010).

Os primeiros projetos agroindustriais de dendê no Norte foram instalados na década de 60 e 70, tendo o ritmo acelerado nas décadas seguintes. Dessa forma na Bahia, grande parcela de produção ainda é oriunda de dendezais subespontâneos, onde predomina o tipo Dura, de produtividade substancialmente mais baixa do que o tipo Tenera, que é o mais frequente no Pará. Apesar da Bahia apresentar maior proximidade de mercado e melhor infraestrutura do que o estado do Pará, não houve um desenvolvimento da cadeia produtiva do dendê no estado nordestino, talvez a cacauicultura e a política de incentivos fiscais mais favoráveis no estado do Pará sejam a razão dessa diferença (HOMA et al., 2000).

Por ser um excelente substituto para gorduras trans, o óleo de palma está presente na indústria alimentícia em margarinas, biscoitos, tortas e sorvetes. Na indústria de higiene e limpeza, é utilizado em cosméticos, sabão, sabonetes e detergentes. Na indústria química, é utilizado em lubrificantes, óleos, glicerina e ácidos. Recentemente, passou a ser utilizado na produção de biocombustíveis (DURÃES, 2011).

Por ser um cultivo perene e arbóreo, quando plenamente estabelecido, tem condição de proteger o solo contra erosão. Segundo pesquisadores da EMBRAPA, eles defendem o cultivo do dendê como plantio para reflorestamento, alegando que desequilíbrios ecológicos são causados principalmente pelo desmatamento. O impacto da chuva sobre uma floresta densa é bastante atenuado pela presença do dossel das árvores, fazendo

com que, tipicamente, menos da metade das gotas atinja diretamente o solo, minimizando a erosão do mesmo. A retirada da capa protetora (floresta) favorece o desgaste do solo, ao permitir que a água das chuvas arraste a manta superficial da terra com todos os elementos nutritivos e matéria orgânica. (MULLER et al., 2002; FURLAN JR., 2006).

Dessa forma, além de evitar o desmatamento típico da pecuária e culturas sazonais e/ou subsistência, a cultura da palma de óleo já é tradicionalmente plantada em sistema de cultivo mínimo, e com sistemas agroflorestais com cobertura do solo e uso leguminosas fixadoras de nitrogênio, um modelo atual da agricultura tropical sustentável (RAMALHO FILHO et al., 2010). De acordo Lovejoy e Kakabadse (2007), por ser uma espécie arbórea, a palma, ao contrário da soja, contribui para a manutenção do ciclo hidrológico. Pesquisadores do Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia afirmam que a expansão em larga escala de cultivos de palma em áreas de pastagem “ajudaria a mitigar mudanças climáticas regionais, exemplificado pelas severas secas de 2010 e 2005, ao reestabelecer evapotranspiração ao longo do ano em uma importante região da Amazônia Oriental.” (BUTLER, 2011).

Baseado na expansão dos cultivos da palma de óleo em áreas de agricultura familiar, a integração desta cultura em sistemas agroflorestais pode representar uma estratégia viável na Amazônia. Essa estratégia pode ser naturalmente mais eficiente em regiões com tradição em sistemas agroflorestais, como Tomé-Açu, atualmente considerada como um dos principais polos de expansão da palma de óleo no Pará.

A prestação de serviços ambientais, como sequestro de carbono, depende da diversidade dos SAFs e dos critérios de avaliação utilizados, podendo ocorrer em maior ou menor intensidade (MCGINLEY; FINEGAN, 2002). Porém, há poucos estudos sobre o potencial dos SAFs em estocar e ciclar carbono em seus níveis de ocorrência. Estudos a respeito da capacidade dos SAFs em prestar serviços ambientais podem gerar subsídios para que esses sistemas de produção sejam contemplados com políticas de incentivo, em especial na Amazônia, incorporando aos benefícios ambientais atribuídos do ponto de vista social e econômico.

Da mesma forma como observado em relação à micrometeorologia, dados sobre fluxos de carbono e nitrogênio são escassos em cultivos de palma de óleo na Amazônia, sobretudo em sistemas agroflorestais, assim como sobre a mineralização de nitrogênio no solo nos plantios em sistemas agroflorestais (SANTIAGO et al., 2013).

Estes sistemas frequentemente são reconhecidos como uma das formas mais adequadas de retirar carbono da atmosfera e incorporar na biomassa das plantas, junto com o manejo de florestas secundárias (capoeiras), e surgem como alternativas viáveis do ponto de vista ambiental e econômico, capazes de contribuir na absorção de CO₂ e reduzir o efeito estufa (SMITH et al., 1998). Os serviços ambientais gerados por SAFs estão geralmente relacionados à capacidade de sequestro de carbono da atmosfera, ciclagem adequada de água e nutrientes, e melhoria da qualidade do solo em comparação com monoculturas agrícolas anuais ou perenes (LUIZÃO et al., 2006).

Nesse contexto vale ressaltar a importância da agricultura familiar, que normalmente, depende exclusivamente da ciclagem de nutrientes e da matéria orgânica do solo, estudos sobre biomassa microbiana e sua atividade, assim como com a relação e a disponibilidade de nutrientes no solo em especial o N, que é fator limitante para o crescimento vegetal, indispensável para a avaliação da viabilidade ambiental dos SAFs com palma de óleo.

2 HIPÓTESES

Para responder a seguinte pergunta de pesquisa “Qual a implicação da conversão de uma floresta secundária em sistemas agroflorestais com palma de óleo sobre a emissão de óxido nitroso (N₂O) e a disponibilidade de N e C do solo? Foram elaboradas as seguintes hipóteses:

Hipótese 1: Emissão de N₂O é influenciada pelas características climáticas de umidade e temperatura do solo.

Hipótese 2: Emissão de N₂O é maior em áreas sob influência de leguminosas fixadoras de nitrogênio em relação as demais espécies.

Hipótese 3: Os sistemas agroflorestais com palma de óleo são eficientes quanto à imobilização de N e C na biomassa microbiana do solo.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Quantificar a emissão de N₂O do solo para a atmosfera sob influência de diferentes espécies, e avaliar a relação entre a emissão e as variáveis bióticas e abióticas, em um sistema agroflorestal com cultivo de palma de óleo.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Comparar o fluxo de N₂O do solo sobre as diferentes espécies e suas influências em um SAF.
- ✓ Relacionar o fluxo de N₂O do solo com variáveis abióticas (temperatura do solo, umidade do solo, precipitação, temperatura, pH do solo, nitrato, amônio) e bióticas (mineralização, nitrificação e enzima do solo).

4 METODOLOGIA GERAL

4.1 ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa foi desenvolvida no município de Tomé-Açu, mas especificamente em quatro bocas, nordeste do Estado do Pará, à margem esquerda do Rio Acará, as coordenadas geográficas da sede do município são 2° 20' 59" S e 48° 15' 36" W (Figura 1).

O relevo pouco acidentado inclui baixos platôs aplainados. A vegetação original é Floresta Ombrófila Densa, atualmente bastante alterada, florestas secundárias, sistemas agroflorestais e agropecuária completam a paisagem. Os solos predominantes no município de Tomé Açu são os Latossolos Amarelos (EMBRAPA, 1999), com textura variando de média a argilosa (BAENA; FALESI, 1999).



Figura 1. Mapa do estado do Pará com destaque para a localização do município de Tomé-Açu

O clima é quente e úmido, do tipo Ami, conforme classificação de Koppenn (BAENA; FALESI,1999) com temperatura média anual de 26,6 °C e precipitação média anual de 2250 mm (Figura 2).

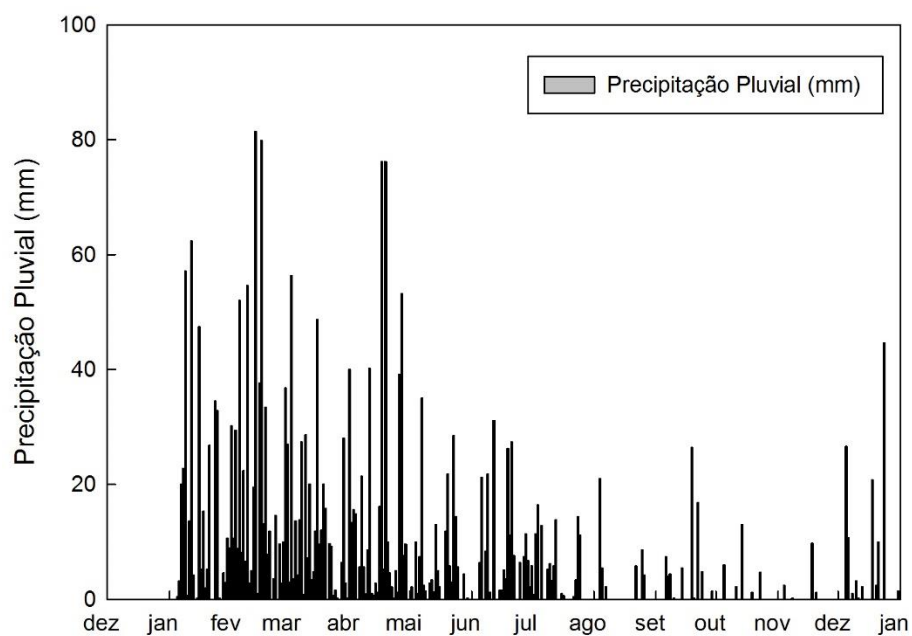


Figura 2. Médias mensais de precipitação pluviométrica da região de Tomé- Açu, Pará

4.2 DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi instalado na unidade demonstrativa II (UD2) do “Projeto dendê: sistemas agroflorestais na agricultura familiar”, no dia 19 de novembro de 2013, onde a primeira coleta foi realizada em 07 de janeiro de 2014, que tem o objetivo investigar o impacto de sistemas agroflorestais com palma de óleo (*Elaeis guineensis*) sobre a biodiversidade, polinização, qualidade do solo e ciclagem de carbono e nutrientes, em função da técnica de preparo de área e do arranjo de espécies agrícolas e florestais, tendo como público alvo os produtores rurais familiares.

No presente trabalho foi avaliado um sistema agroflorestal com palma de óleo, de uma área medindo 2 ha, antes da implantação do SAF, era uma floresta secundária remanescente. O sistema de produção é constituído por 11 linhas duplas de palma de óleo (7,5 x 9 m), espaçadas por uma faixa de 15 m, onde são cultivadas as espécies consortes (Figura 3).

Em cada linha dupla há 18 plantas de palma de óleo (9 plantas por linha simples). Assim, em cada sistema de produção há 198 plantas de palma de óleo, ou seja, 99 plantas em cada hectare. O sistema Biodiverso, ou SAF biodiversificado, com a palma de óleo como principal cultura de valor econômico, consorciada com espécies frutíferas, oleaginosas, madeireiras e adubadeiras. É composta pelas espécies conforme a (Figura 3).

Em 2009, na adubação de manutenção em cobertura, foram utilizados por planta: 40 kg de composto orgânico, 1,0 kg de farinha de osso e 1,0 kg de torta de mamona. Em 2010, foram aplicados por planta: 0,3 kg de fosfato natural (ARAD), 1 kg de farinha de osso e 100 kg de cachos vazios de palma de óleo divididos em duas aplicações de 50 kg por planta. Na faixa foi realizada adubação de cova semelhante àquela da palma de óleo. Em 2008, a adubação de manutenção constou de 10 kg de cama de frango e 20 kg de composto orgânico por planta.

O preparo das áreas para implantação dos sistemas de produção ocorreu entre setembro e outubro de 2007. Em todos os sistemas de produção, preconizou-se o corte e a trituração da vegetação, em substituição ao uso do fogo, bem como o não revolvimento do solo, depositando-se sobre este a vegetação triturada, para função de cobertura morta (mulch). A trituração da vegetação foi realizada mecanicamente por meio de um protótipo de triturador, denominado Tritucap (DENICH et al., 2004). Em janeiro de 2008, foi aplicado manualmente na superfície do solo 1,3 Mg ha⁻¹ de calcário

dolomítico e, entre fevereiro e março de 2008, foram plantadas mudas de palma de óleo, que na ocasião estavam com aproximadamente 15 meses de idade e 2 m de altura. No momento do plantio foi realizada a adubação na cova, com uma combinação de 0,3 kg de fosfato natural (ARAD) e 10 kg de carvão vegetal moído, por planta de palma de óleo.

A adubação de manutenção foi realizada em cobertura com 8 kg de composto orgânico por planta, constituído de resíduos orgânicos oriundos de agroindústria local de polpa de frutas (cascas e sementes). Nos anos seguintes, foram realizadas sucessivas adubações de manutenção, conforme necessidade das culturas, de acordo com análises de solo (0 a 30 cm de profundidade) e análises de tecido vegetal. Em 2009, na adubação de manutenção em cobertura, foram utilizados por planta: 40 kg de composto orgânico, 1,0 kg de farinha de osso e 1,0 kg de torta de mamona. Em 2010, foram aplicados por planta: 0,3 kg de fosfato natural (ARAD), 1 kg de farinha de osso e 100 kg de cachos vazios de palma de óleo divididos em duas aplicações de 50 kg por planta. A adubação das culturas consortes foi igual à da palma de óleo.

Em 2008, a adubação de manutenção constou de 10 kg de cama de frango e 20 kg de composto orgânico por planta. Nos demais anos não foi realizada adubação com composto orgânico, o qual foi substituído pela adição de fitomassa oriunda do manejo da vegetação espontânea e da poda das espécies adubadeiras.

O manejo da palma de óleo envolveu coroamento de 3 a 5 vezes ao ano e poda de limpeza (folhas velhas e danificadas) uma vez ao ano. Roçagem e poda geral dos sistemas foram realizadas de 3 a 4 vezes por ano e a vegetação espontânea na linha de plantio e nas entrelinhas foi roçada e distribuído na coroa da palma de óleo e na projeção da copa das mudas dos SAFs. A cada dois meses é realizada capina/roçagem seletiva visando controlar a vegetação espontânea agressiva, como por exemplo, as gramíneas, deixando as espécies espontâneas de folhas largas.

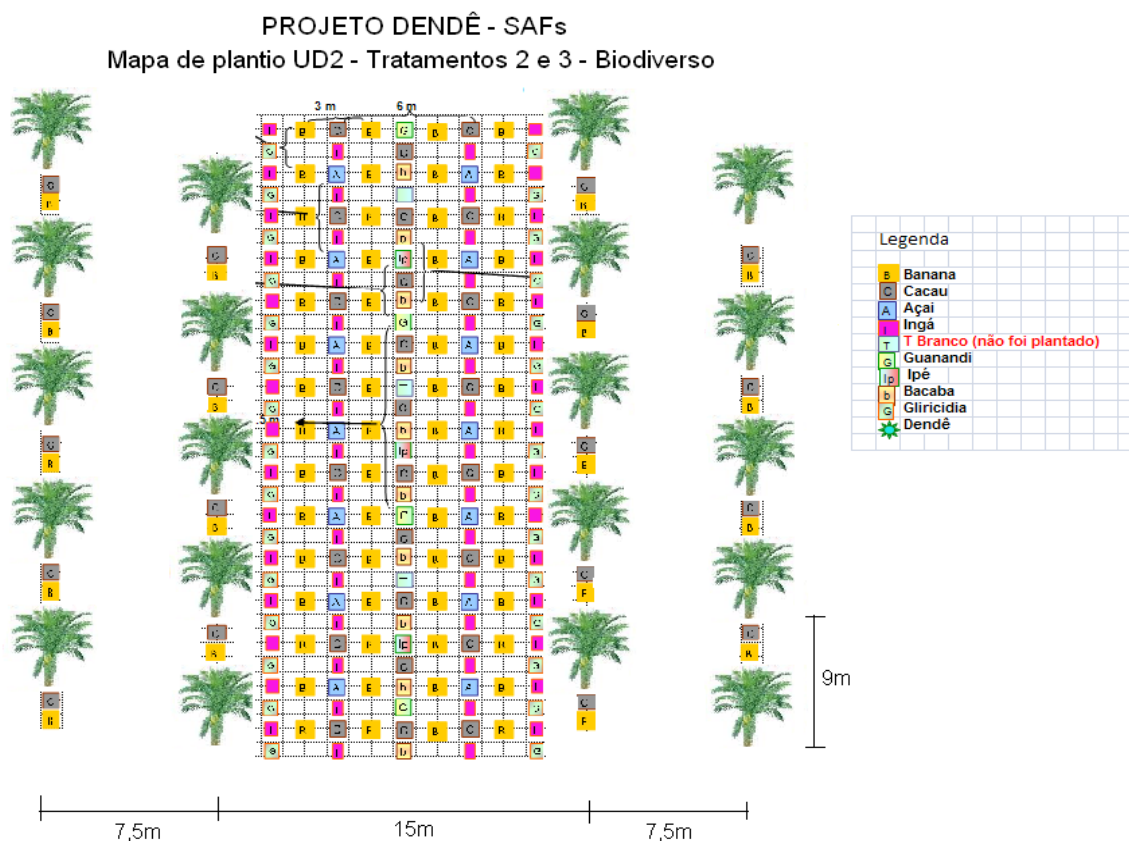


Figura 3. Croqui do sistema biodiverso

Em 2012, foi realizada análise química nas profundidades 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm (Tabela 1). Em 2010, foi realizada análise granulométrica do solo nas profundidades 0-10 cm e de 10-20 cm, cujos resultados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas e granulométrica do solo no sistema Biodiverso, em agosto de 2012, no município de Tomé Açu (PA)

Prof.	pH Água	— mg dcm ⁻³ —			— cmol _c dm ⁻³ —				— g kg ⁻¹ —		
		P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	Areia	Silte	Argila
00-05	5,19	12,25	57,7	6,4	4,96	1,24	0,16	3,54	699	132	170
05-10	5,25	5,05	41,7	5,1	3,11	0,78	0,19	3,15	573	148	280

5 REVISÃO DE LITERATURA

5.1 PALMA DE ÓLEO

O dendezeiro (*Elaeis guineensis*), palmeira oleaginosa de origem africana, foi introduzido no Brasil por volta do século XVI, por ocasião do tráfico negreiro. Na época, os escravos oriundos, principalmente, de Angola, Benin e Moçambique transportavam sementes dentro dos navios, as quais deram origem aos primeiros dendezeais no litoral do Estado da Bahia (Savin, 1965).

No entanto cultivo em escala comercial no Pará iniciou-se em 1967, quando ainda esse plantio era uma experiência feita pela SUDAM no município de Benevides. Os empreendedores do agronegócio subsidiavam-se em pesquisas sobre as vantagens competitivas da dendeicultura na Amazônia.

Segundo Correa, 2012 o dendê é uma cultura em expansão, havendo uma grande demanda de produção para a utilização em derivados do óleo produzido pelo fruto, sendo como grande potência na produção bioenergética. Ferramentas de Sistema de Informação Geográfica pode dinamizar e adequar cada vez mais às operações de planejamentos, implantação e acompanhamento de novas áreas de plantio.

Considerando-se apenas o Estado do Pará, que concentra aproximadamente 90% da produção nacional de óleo de palma, verifica-se que a dendeicultura é cultivada principalmente por médias e grandes empresas. No entanto, cultivos também são conduzidos por cooperativas e agricultores familiares, principalmente em sistemas agroflorestais, que pelo seu grande potencial na geração de empregos promove a inclusão social e o desenvolvimento regional onde esse modelo é adotado (Furlan Júnior; Muller, 2004).

Dessa forma o pequeno agricultor familiar da Amazônia poderá ter participação na agroindústria da palma de óleo, desde que devidamente organizado e treinado, pois o uso elevado de insumos químicos em algumas fases da cultura os coloca na dependência de fornecedores, o que elevará o custo da produção (BARCELOS; MORALES, 2001; KALTNER et al., 2004; ABIX, 2005; SANTOS, 2008), caso medidas alternativas não sejam adotadas.

Assim uma alternativa viável para o pequeno agricultor é o consórcio de palmeira de óleo com espécies florestais e anuais, pois a diversificação ambiental permitirá a obtenção de renda extra ao agricultor, enquanto o mesmo aguarda a maturação da palma de óleo, sendo o investimento em espécies florestais um tipo de “poupança” para as

famílias durante esse período, além de proteger o solo e manter a matéria orgânica no local (FALEIRO, 2001).

5.2 SISTEMAS AGROFLORESTAIS (SAFS)

Os Sistemas Agroflorestais (SAFs) são reconhecidamente modelos de exploração de solos que mais se aproximam ecologicamente da floresta natural e, por isso, considerados como importante alternativa de uso sustentado do ecossistema tropical úmido (ALMEIDA; MÜLLER; SENA-GOMES, 2002; BRANDY et al., 1994; CANTO et al., 1992; HUXLEY, 1983; NAIR, 1993; MÜLLER, SENA-GOMES; ALMEIDA, 2002).

Determinados pesquisadores definem SAFs como combinações de cultivos perenes com cultivos anuais e/ou animais, onde agricultores ao intercalarem cultivos de ciclo curto com culturas perenes transformam a agricultura migratória em um sistema agroflorestal, sendo os cultivos de ciclo curto responsáveis por pagar os custos associados aos cultivos perenes (SMITH et al., 1998).

Os SAFs podem ser classificados em três categorias: sistemas silvipastoris (animais, árvores e arbustos), agrossilviculturais (plantas anuais e árvores ou arbustos) e agrossilvipastoris (animais, plantas anuais e árvores e/ou arbustos) (DUBOIS et al., 1997). Além desses modelos, há ainda a modalidade de quintais agroflorestais domésticos, conhecidos como hortos caseiros, que apresentam espécies frutíferas, florestais, medicinais, agrícolas e animais domésticos associadas em uma mesma área e localizados quase sempre às proximidades das residências familiares (NAIR, 1993; ROSA et al., 1998).

O objetivo principal dos SAFs é de otimizar o uso da terra, conciliando a produção florestal com a produção de alimentos, conservando o solo e diminuindo a pressão pelo uso da terra para produção agrícola. Áreas de vegetação secundária, sem expressão econômica e social, podem ser reabilitadas e usadas racionalmente por meio de práticas agroflorestais. Além dos benefícios ambientais, os SAFs estão adaptados às pequenas propriedades rurais e contribuem para a melhoria de vida dos agricultores familiares, mediante a diversificação das fontes de renda, o que poderá ser utilizada como uma estratégia interessante para evitar riscos associados a esses ambientes na Amazônia brasileira.

5.3 GASES DO EFEITO ESTUFA E A AGRICULTURA

Atualmente, é reconhecido que os solos, enquanto sistemas abertos podem regular ou contribuir para os pools de gases atmosféricos (NYBORG et al., 1995). Os solos têm papel fundamental nos ciclos de C e N, constituindo uma importante reserva e fonte desses elementos, já a atividade agrícola por fazer uso desse recurso natural o deveria fazê-lo de forma sustentável para minimizar seus impactos sobre o ambiente.

Em meados do século XX ficou evidente a relação entre a ação do homem e o aumento dos gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera. Segundo Dulal (2011), estima-se que a agricultura contribui com 15% do total das emissões mundiais de dióxido de carbono (CO_2), óxido nitroso (N_2O) e metano (CH_4), importantes gases de efeito estufa. A contribuição do setor agrícola para o aumento das emissões de GEE ocorreu principalmente pelo desmatamento, queimadas, mudança do uso da terra, altas doses de fertilizantes e uso incorreto de dejetos como fonte de nutrientes (REICOSKY; LINDSTROM, 1993), caracterizando esse setor como um dos responsáveis pelo aquecimento global (CERRI et al., 2004).

Dessa forma os solos agrícolas podem atuar como fonte ou dreno de GEE, sendo que o uso e o manejo do solo podem influenciar o fluxo dos mesmos em agroecossistemas (LAL et al., 1995a; LIEBIG et al., 2005). O manejo do solo que interage com o estoque de C e as emissões de GEE inclui tipo de cultura, frequência de pousio, manejo de resíduos, culturas de cobertura, rotações, preparo, irrigação, drenagem e adubação (AJWA; TABATABAI, 1994; PAUSTIAN et al., 1997).

Adições de resíduos vegetais à superfície do solo resultam num aumento das emissões de CO_2 por aumentar a taxa de respiração, em decorrência do fornecimento de substrato para a degradação por microrganismos (KIMBLE; LAL, 2002). Assim o uso inadequado manejo do solo origina vários processos degradativos, que são físicos, químicos e biológicos fazendo com que o solo seja uma fonte de GEE.

5.4 EMISSÃO DE ÓXIDO NITROSO (N_2O)

O grande reservatório de nitrogênio consiste no gás N_2 na atmosfera terrestre. Embora a atmosfera seja constituída por cerca de 78% de N_2 , a maioria dos seres vivos não tem a capacidade de usá-lo diretamente. Para ser utilizado pelos seres vivos, o nitrogênio precisa estar na forma dos íons amônio (NH_4^+) ou nitrato (NO_3^-). Os principais estágios do ciclo do nitrogênio são: amonificação ou mineralização,

nitrificação e assimilação (RAVEN, 2007).

Em termos globais, o nitrogênio (N) é um elemento importante para a produtividade de todos os ecossistemas, e o que sofre maior número de transformações bioquímicas no solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Pode estar presente no sistema solo-planta por deposições atmosféricas, fixação biológica e aporte de adubos químicos ou orgânicos. Também pode ser perdido por processos de lixiviação, volatilização e desnitrificação. O ciclo do N é controlado por fatores físicos, químicos e biológicos do solo, além de condições climáticas que são imprevisíveis e variam de acordo com a região (CANTARELA, 2007).

Os gases de nitrogênio (NO, N₂O e N₂) são produtos dos processos microbiológicos de nitrificação e desnitrificação. As práticas agrícolas (conversão de áreas nativas, fertilização, irrigação e manejo do solo, por exemplo) alteram os estoques, taxas de ciclagem e fluxos de C e N do solo, podendo incrementar as perdas desses elementos do solo para a atmosfera na forma de CO₂, NO e N₂O, com balanços anuais relevantes. A fim de se reduzir tais perdas é essencial conhecer os processos e fatores ambientais que regulam as emissões de CO₂, NO e N₂O provenientes dos diferentes sistemas de produção agrícola.

Afim de auxiliar na compreensão de estudos relacionados à emissão de NO (óxido nítrico) e N₂O dos solos, Firestone e Davidson (1989) desenvolveram um modelo conceitual, com diferentes níveis de regulação, conhecido como modelo “hole-in-the-pipe” (HIP) (Figura 4). Esse modelo analisa o N₂O, NO e ainda os dois gases pelos processos comuns de produção e consumo microbiológico. O HIP descreve a emissão de N₂O e NO como sendo regulada em dois níveis. Primeiramente o fluxo através do tubo é análogo à taxa de ciclagem de N em geral, ou seja, especificamente às taxas de oxidação de amônio (NH₄⁺) por bactérias nitrificantes e redução de nitrato (NO₃⁻) por bactérias desnitrificantes. Depois a quantidade de N que “vaza” para fora do tubo corresponde aos óxidos gasosos de N (por um “buraco” como NO, e por outro, como N₂O), e é determinada por várias propriedades de solo.

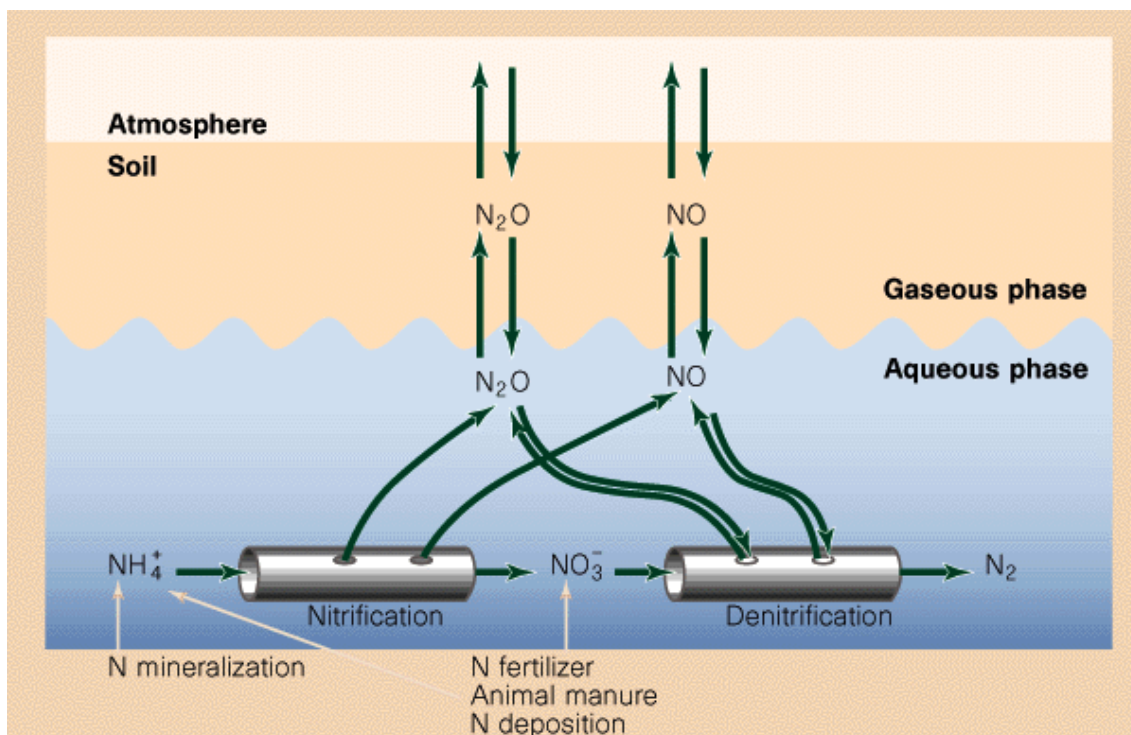


Figura 4. Modelo conceitual “Hole-in-the-pipe” (FIRESTONE; DAVIDSON, 1989)

5.5 BIOMASSA MICROBIANA (BMS)

A (BMS) é o compartimento da matéria orgânica do solo diretamente influenciado por fatores bióticos e abióticos, de tal forma que respostas a mudanças nos sistemas de uso e manejo do solo podem ser detectáveis muito mais rapidamente pela biomassa microbiana e seus metabólitos do que nos teores de C do solo, principalmente devido ao tempo de ciclagem da matéria orgânica (GAMA-RODRIGUES et al., 2005).

A importância ecológica da biomassa microbiana tem como principais destaques, além do armazenamento de nutrientes, o de servir como indicador rápido de mudanças no solo, quando a matéria orgânica é a ele incorporada, e indicador da sensibilidade da microbiota a interferências no sistema (GRISI, 1995). Práticas de manejo inadequadas podem levar a um rápido declínio deste carbono, colaborando para o aumento das emissões de gás carbônico (CO_2) à atmosfera (LAL, 1999).

A atividade da microbiota do solo pode ser avaliada de diversas formas, como pela medição da sua biomassa, da atividade de certas enzimas no solo, medidas da respiração basal entre outras (TÓTOLA; CHAER, 2002).

As relações C microbiano, C orgânico, N orgânico e N total expressam a qualidade nutricional da matéria orgânica. Em solos com MOS de baixa qualidade

nutricional, a biomassa microbiana está em condições de estresse, tornando-se incapaz de utilizar todo o C e o N orgânico, assim as relações C microbiano, C orgânico, N orgânico e N total diminuem (GAMA-RODRIGUE et al., 2008).

Assim como outros processos metabólicos, a respiração é dependente do estado fisiológico da célula microbiana e é influenciada por diversos fatores do solo, como: a umidade, a temperatura, a estrutura, a disponibilidade de nutrientes, a textura, a relação C/N, a presença de resíduos orgânicos, entre outros. Altas taxas de respiração podem indicar tanto um distúrbio ecológico como um alto nível de produtividade do ecossistema (ISLAM; WEIL, 2000).

6 REFERÊNCIAS

ABIX, C. (Coord.). **Biocombustíveis** (Caderno do Núcleo de Estudos Estratégicos da Presidência da República). Brasília: Núcleo de Estudos Estratégicos da Presidência da República, n. 2. 2005.

ALMEIDA, C. M. V. C. de; Müller, M. W.; Sena-Gomes, A. R. e Matos, P. G. G.. 2002. **Pesquisa em Sistemas Agroflorestais e Agricultura Sustentável: Manejo do Sistema**. Workshop Latino-americano sobre Pesquisa de Cacau, Ilhéus, Bahia, 22 – 24 de outubro de 2002. Anais com resumo expandido (CD-ROM).

AJWA, H.A.; TABATABAI, M.A. Decomposition of different organic materials in soils. **Biology and Fertility of Soils**, v.18, p. 175-182, 1994.

BANDY, D.; GARRATY, D. P.; SANCHES, P. 1994. El problema mundial de la agricultura de tala y quema. **Agroforesteria en las Americas**, 1 (3):14-20.

BARCELOS, E; MORALES, E.A.V. Limitações, avanços tecnológicos e perspectivas para a transferência de tecnologia no agronegócio do dendê. In: MÜLLER, A.A; FURLAN JÚNIOR, J. **Agronegócio do dendê: Uma alternativa social, econômica e ambiental para o desenvolvimento sustentável da Amazônia**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2001, 288p.

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

CANTO, A. do C., SILVA, S. E. L. da. e NEVES. E. J. M. 1992. **Sistemas agroflorestais na Amazônia Ocidental: aspectos técnicos e econômicos**. In: II Encontro Brasileiro de Economia e Planejamento Florestal. Curitiba 30 de setembro a 4 de outubro de 1991, EMBRAPA-CNPQ, 1992, Anais V.1, p.23-36.

CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P.; DAVIDSON, E. A.; BERNOUX, M.; FELLER, C. A ciência do solo e o sequestro de carbono. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. v. 29, p. 29-34, 2004.

CORREA, Denison Lima, ET AL. **Avaliação da produtividade do dendê (*Elaeisguineensis*) através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento do município de Concórdia do Pará**. Anais do 10º Seminário Anual de Iniciação Científica da UFRA, 26 à 29 de setembro de 2012.

DULAL, H. B.; BRODNIG, G.; SHAH, K.U. Capita assets and institutional constraints to implementation of greenhouse gas mitigation options in agriculture. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, 2011.

DUBOIS, J.C.: VIANA, V.M. e ANDERSON, A.B. 1997. **Manual Agroflorestal para a Amazônia**: primeiro volume. Rio de Janeiro, RJ. REBRAF. 228p.

FALEIRO, A.U. O dendê e a agricultura familiar: Uma possibilidade para o desenvolvimento socioambiental. In: MÜLLER, A.A; FURLAN JÚNIOR, J.

Agronegócio do dendê: uma alternativa social, econômica e ambiental para o desenvolvimento sustentável da Amazônia. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2001, 288p.

FIRESTONE, M. K., DAVIDSON, E. A. **Microbiological basis of NO and N₂O production and consumption in soil.** In: ANDREAE, M. O.; SCHIMMEL, D. S. (Eds) Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere. Berlin: John Wiley & Sons, p. 7-21. 1989.

FURLAN JÚNIOR, J.; MÜLLER, A.A. **A agricultura familiar e a dendecultura na Amazônia.** Belém-PA, dez/2004.(Comunicado Técnico).

GAMA-RODRIGUES, E.F.; BARROS, N.F.; GAMA- RODRIGUES, A.C. & SANTOS, G.A. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. *R. Bras. Ci. Solo*, 9:893-901, 2005.

GAMA-RODRIGUES, E.F.; BARROS, N.F.; VIANA, A.P. & SANTOS, G.A. Alterações na biomassa e na atividade microbiana da serapilheira e do solo, em decorrência da substituição de cobertura florestal nativa por plantações de eucalipto, em diferentes sítios da região Sudeste do Brasil. *R. Bras. Ciência Solo*, 32:1489-1499, 2008.

GRISI, B. M. Biomassa e atividade de microrganismos do solo: revisão metodológica. *Revista Nordestina de Biologia*, João Pessoa, v. 10, n. 1, p. 1-22, 1995.

HUXLEY, P. A. 1983. **Plant Research and Agro forestry.** International Council for Research in Agro forestry (ICRAF), Nairobi, Kenya. 617 p.

ISLAM, K.R. & WEIL, R.R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. *Agric. Ecosys. Environ.*, 79:9-16, 2000.

KALTNER, F.J. et al. Produção do biodiesel de palma como substituto ao óleo diesel. **AMAZÔNIA: Centro de Estudos para o desenvolvimento de tecnologia para a Amazônia.** Brasília, 2004.

KIMBLE, J.M.; LAL, R. **Agricultural practices and policies for carbon sequestration in Soil.** Boca Raton CRC Press, 2002. 536 p.

LAL, R. World soils and the greenhouse effect. **Global Change Newsletter**, Stockholm, n. 37, p. 4-5, Mar. 1999.

LAL, R., and T.J. Logan. 1995. Agricultural activities and greenhouse gas emissions from soils of the tropics. P.293-307. in Lal, R., Kimble, J.M., Levine, E. and Stewart, B.A. (ed.). **Soil management greenhouse effect.** CRC press, Boca Raton, FL.

LEVINE, E.; STEWART, B.A. (Eds.) **Soil management and greenhouse effect.** Advances in Soil Science. Boca Raton: CRC Lewis Publishers, 1995. p. 93-99.

LIEBIG, M.A.; MORGAN, J.A.; REEDER, J.D.; ELLERT, B.H.; GOLLANY, H.T.; SCHUMAN, G.E. Greenhouse gas contributions and mitigation potential of agricultural

Practices in northwestern USA and western Canada. **Soil & Tillage Research**, 83, p. 25–52, 2005.

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

MULLER, M.W.; Sena-Gomes, A.R. e Almeida, C.M.V.C. de. 2002. **Sistemas agroflorestais com o cacauero**. IV Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais, 21 a 26/10/2002, Ilhéus, BA. Anais.

MÜLLER, A.A; FURLAN JÚNIOR, J. **Agronegócio do dendê: uma alternativa social, econômica e ambiental para o desenvolvimento sustentável da Amazônia**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2001, 288p.

NAIR, P.K.R. 1993. **Introduction to Agro forestry**. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.499p.

NYBORG, M.; SOLBERG, E.D.; MALHI, S.S.; IZAURRALDE, R.C. Fertilizer N, crop residue, and tillage alter soil C and N content in a decade. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E.; STEWART, B.A. (Eds.) **Soil management and greenhouse effect**. Advances in Soil Science. Boca Raton: CRC Lewis Publishers, 1995. p. 93-99.

PAUSTIAN, K.; ANDREN, O.; JANZEN, H.H.; LAL, R.; SMITH, P.; TIAN, G.; TIESSEN, H.; VAN NOORDWIJK, M.; WOOMER, P.L. Agricultural soils as a sink to mitigate CO₂ emissions. **Soil Use and Management**, 13, p. 230–244, 1997.

RAVEN, P.H.; EVERT, R.F. & EICHHORN, S.E. **Biologia Vegetal** (7a ed). Editora Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 2007.

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

REICOSKY, D.C. 1997. Tillage-induced CO₂ emission from soil. Nutrient cycling in agroecosystems. 49:273-285.

SANTOS, A.M. **Análise do potencial do biodiesel de dendê para a geração elétrica em sistemas isolados da Amazônia**. 2008, 224f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008.

SAVIN, G. **O dendezeiro no Estado da Bahia**. Ministério da Agricultura/ Instituto de óleos. 1965, 11p. Mimeografado.

TÓTOLA, M.R. & CHAER, G.M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade do solo. In: ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V. & COSTA, L.M., eds. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. p.195-276.

CAPÍTULO 2

FLUXO DE ÓXIDO NITROSO (N₂O) DO SOLO EM SISTEMA AGROFLORESTAL COM PALMA DE ÓLEO EM TOMÉ-AÇU

RESUMO

O Brasil apresenta excelentes condições para a expansão do cultivo do dendê (*Elaeis guineensis*), notadamente na região Amazônica, já que dispõe de condições edafoclimáticas muito favoráveis ao desenvolvimento desta palmeira (Muller et al., 2006). Baseado na expansão dos cultivos da palma de óleo em áreas de agricultura familiar, a integração desta cultura em sistemas agroflorestais pode representar uma estratégia viável na Amazônia. Essa estratégia pode ser naturalmente mais eficiente em regiões com tradição em sistemas agroflorestais, como Tomé-Açu, atualmente considerada como um dos principais polos de expansão da palma de óleo no Pará. O objetivo do presente estudo foi a quantificar a emissão de óxido nitroso (N₂O) e avaliar a atividade microbiana do solo nas diferentes espécies de um sistema agroflorestal com palma de óleo. A pesquisa foi desenvolvida no município de Tomé-Açu, nordeste do Estado do Pará, à margem esquerda do Rio Acará. O experimento foi instalado na unidade demonstrativa II (UD2) do “Projeto dendê: sistemas agroflorestais na agricultura familiar”. Para avaliação dos atributos microbiológicos do solo foram coletadas com trado holandês, 16 amostras de solo, cada uma composta de 4 sub amostras simples, na profundidade 0-5 cm e 16 amostras na profundidade 5-10 em janeiro, abril, julho e outubro, coincidindo duas coletas no período chuvoso e duas no período menos chuvoso do município, respectivamente. As análises realizadas foram biomassa microbiana, nitrogênio mineral, atividade enzimática, além da atividade microbiana (respiração basal). As coletas de amostras de ar para análise da concentração de óxido nitroso (N₂O) foi realizada com sistemas de câmaras estáticas, compostas de base e tampa, com formato cilíndrico. Foram distribuídas 16 câmaras para coleta de gases, os locais selecionados de forma aleatória foram 4 árvores de cacau, 4 árvores de ingá, 4 dendês, 4 empilhamentos. A coleta de ar foi realizada com seringas de polipropileno com volume de 20 ml. Após a coleta, as amostras foram imediatamente transferidas para frascos de borossilicato, com volume de 14 ml. A concentração de N₂O foi determinada por cromatografia gasosa. Os resultados evidenciaram que os locais de coleta não influenciam na emissão de óxido nitroso, porém as características climáticas tiveram maior influência, e que os sistemas agroflorestais com palma de óleo são eficientes quanto a imobilização de C e N no solo.

Palavras-chave: Agricultura familiar, *Elaeis guineenses*, Amazônia, Carbono e Nitrogênio.

ABSTRACT

Brazil has excellent conditions for the expansion of oil palm cultivation (*Elaeis guineensis*), especially in the Amazon region, as it has soil and climate conditions very favorable to the development of the palm (Muller et al., 2006). Based on the expansion of oil palm plantations in areas of family farming, the integration of culture in agroforestry systems may represent a viable strategy in the Amazon. This strategy may be naturally more efficient in regions with a tradition in agro-forestry systems, as Tomé-Açu, currently considered one of the main centers of expansion of oil palm in Pará. The aim of this study was to quantify the emission of nitrous oxide (N₂O) and evaluate soil microbial activity in different species of an agroforestry system with oil palm. The research was conducted in the municipality of Tomé-Açu, northeast of Pará, on the left bank of the River Acará. The experiment was installed in the demonstration unit II (UD2) of the "palm Project: agroforestry systems in family farming." To evaluate the microbiological soil properties were collected with a Dutch auger, 16 soil samples, each consisting of 4 sub simple samples in the depth 0-5 cm and 16 samples in the depth 5-10 in January, April, July and October, coinciding two collections during the rainy season and two in the less rainy period the municipality, respectively. The analyzes were microbial biomass, mineral nitrogen, enzyme activity, as well as microbial activity (basal respiration). The collected air sample for analysis of concentration of nitrous oxide (N₂O) was performed with a static camera systems, consisting of base and lid, with cylindrical format. 16 cameras were distributed to collect gases, the selected locations were randomly 4 cacao trees, 4 spindles of ingá, palm nuts 4, 4 stacks. The collection of air was performed with polypropylene syringes with a volume of 20 ml. After collection, samples were immediately transferred to borosilicate flasks with a volume of 14 ml, the N₂O concentration was determined by gas chromatography. The results showed that the collection sites not influence the emission of nitrous oxide, but the climatic conditions had a greater influence, and agroforestry systems with oil palm are efficient as the immobilization of C and N in the soil.

Keywords: Family agriculture, *Elaeis Guineans*, Amazon, Carbon and Nitrogen.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta excelentes condições para a expansão do cultivo do dendê (*Elaeis guineensis*), notadamente na região Amazônica, já que dispõe de condições edafoclimáticas muito favoráveis ao desenvolvimento desta palmeira (Muller et al., 2006). Segundo Santos (2008), na Amazônia vem crescendo a procura pela matéria-prima do dendê (*Elaeis guineenses*) para a produção de biodiesel e indústria alimentícia, porém é necessário encontrar alternativas sustentáveis para o cultivo de dendezeiro na agricultura familiar.

Assim os sistemas agroflorestais (SAFs) têm sido recomendados para regiões tropicais, devido aos seus benefícios sociais, econômicos e ambientais (BORNER et al., 2007). Conforme Macedo (2000), SAFs são sistemas de uso e manejo dos recursos naturais que integram consorciações de árvores e culturas agrícolas de forma ecologicamente desejável e socialmente aceitável pelo produtor rural, de modo que este obtenha os benefícios das interações ecológicas e econômicas resultantes. Sistemas agroflorestais promovem reconhecidamente benefícios adicionais relacionados à provisão de produtos para comunidades locais, contribuindo para redução da pobreza e manutenção da segurança alimentar e uma alternativa ao monocultivo.

De fato, sistemas agroflorestais são reconhecidos como estratégias de mitigação pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (BARKER et al. 2007), uma vez que no Brasil, mais de 70 % da emissão dos gases causadores do efeito de estufa (GEE) está relacionado com a mudança de uso da terra e a atividade agropecuária (BRASIL, 2009). A conversão de áreas com o corte e queima de vegetação natural, seguida pelo cultivo do solo, resulta em mudanças na dinâmica da matéria orgânica do solo (MOS) (SIX et al., 2002), as quais implicam no aumento das emissões de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) da biosfera à atmosfera (BERNOUX et al., 2001), causando assim, a elevação da temperatura média e, conseqüentemente, as mudanças climáticas globais.

O óxido nitroso (N_2O) é um dos gases traços que mais contribuem para o efeito estufa do planeta, embora ocorra em baixa concentração na atmosfera, é um dos GEE mais importantes pois apresenta potencial de aquecimento global 296 vezes maior que o do CO_2 (IPCC, 2001). A principal fonte de N_2O origina-se da utilização de fertilizantes nitrogenados, adubações orgânicas, decomposição de resíduos culturais, excretas de

animais e da mineralização da matéria orgânica, elevando as concentrações das formas minerais de nitrogênio do solo (DAVIDSON et al., 2001).

Dessa forma os sistemas agroflorestais surgem como alternativa promissora para sequestrar carbono e reduzir a degradação do solo (ALBRECHT; KANDJI 2003; LUIZÃO 2007; LUIZÃO et al. 2006). Estes sistemas promovem reconhecidamente benefícios adicionais relacionados à provisão de produtos para comunidades locais, contribuindo para redução da pobreza e manutenção da segurança alimentar e uma alternativa ao monocultivo.

Neste contexto, o objetivo do presente estudo foi a quantificar a emissão de óxido nitroso (N_2O) e avaliar a atividade microbiana do solo nas diferentes espécies de um sistema agroflorestal com palma de óleo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 AMOSTRAGEM DE SOLO

Para avaliação dos atributos microbiológicos do solo foram coletadas com trado holandês, 16 amostras de solo, cada uma composta de 4 sub amostras simples, na profundidade 0-5 cm e 16 amostras na profundidade 5-10 em janeiro, abril, julho e outubro, coincidindo duas coletas no período chuvoso e duas no período menos chuvoso do município, respectivamente. No campo as amostras foram armazenadas em caixas térmicas contendo gelo e foram encaminhadas ao laboratório de análises e sistemas sustentáveis Embrapa Amazônia Oriental, em Belém, PA. De cada amostra de solo foi retirada uma sub amostra para determinação da umidade, a qual foi realizada gravimetricamente, pela diferença entre o peso úmido e o peso seco do solo, após secagem em estufa de circulação forçada a 105 °C por 72 horas. Posteriormente, as amostras foram destorroadas e homogeneizadas, retirando-se pedras e fragmentos vegetais visíveis. Após peneiramento (malha 2 mm) a umidade das amostras foi corrigida para atingir de 50 a 60% da capacidade de retenção de água.

2.2 C E N TOTAL DO SOLO

De cada amostra de solo foi retirada uma sub amostra, a qual foi colocada para secar ao ar (temperatura ambiente), por 72 horas, moída e peneirada em malha de 60 mesh. De cada sub amostra foi pesado cerca de 0,2 g de solo para análise de C e N total por combustão via seca, em aparelho analisador elementar da marca LECO, modelo CNS 2000. Os resultados foram expressos em g kg⁻¹ solo seco.

2.3 BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO (BMS)

O C e o N da biomassa microbiana do solo (BMS) foram determinados pelo método da fumigação-extração (BROOKES et al., 1985; VENCE et al., 1987; TATE et al., 1988). De cada amostra de solo foram retiradas duas sub amostras, de 20 g cada, sendo uma sub amostra submetida à fumigação (amostra fumigada) seguida de extração e a outra sub amostra submetida somente à extração (amostra não-fumigada). A fumigação foi realizada com clorofórmio (CHCl₃) isento de etanol, por 72 horas, em dessecador mantido sob vácuo, livre de luminosidade. A extração consistiu na adição de 50 ml de solução K₂SO₄ (0,5 M) à amostra de solo, seguido de agitação em movimento circular horizontal (150 rpm), durante 30 minutos, com posterior filtragem em papel filtro após decantação por 30 minutos. A quantificação do C contido nos extratos fumigados e não-fumigados foi realizada colorimetricamente, conforme procedimentos descritos por Knupp e Ferreira (2009). Para tanto, foi construída uma curva-padrão, a partir de soluções com concentrações conhecidas de C, obtidas por diluições sucessivas de dicromato de potássio (C₈H₅KO₄) em solução extratora (K₂SO₄ 0,5 M). A curva foi ajustada com os valores de absorvância em função dos correspondentes valores de concentração das soluções. O carbono da BMS foi calculado pela diferença entre a quantidade de carbono extraída dos extratos fumigados e não-fumigados, usando-se o fator de correção (KEC) igual a 0,26 para solos da Amazônia (FEIGL et al., 1995). Os dados foram expressos em mg C kg⁻¹ solo seco.

O N total dos extratos fumigados e não fumigados foi determinado por destilação empregando-se o método Kjeldahl. O N da BMS foi calculado pela diferença entre a quantidade de N extraída dos extratos fumigados e não-fumigados, e o fator de correção (KEN) foi 0,54 (Brooks et al., 1985). Os dados foram expressos em mg N kg⁻¹ solo seco. O C-BMS foi quantificado somente no período chuvoso (março), enquanto que o N- BMS foi quantificado nos dois períodos.

2.4 RESPIRAÇÃO BASAL (RB)

A quantificação da respiração basal da BMS foi realizada por incubação de amostras de solo, conforme adaptação da metodologia proposta por Jenkinson & Powlson (1976). Para tanto, incubaram-se amostras de solo por um período de dez dias, a 25 °C, em sistemas hermeticamente fechados, constituídos de um recipiente de vidro (2 L), contendo três frascos plásticos de 50 ml. Em um frasco foram colocados 25 g de solo, em outro 20 ml de água destilada (visando manter a umidade do ar em níveis adequados), e em outro 25 ml de solução de NaOH 0,5 M. Durante a incubação, o CO₂ decorrente da atividade microbológica se desprende do solo e fica retido nos recipientes, até tornar-se difuso e ser absorvido pela solução de NaOH, formando Na₂CO₃. Após a incubação, foram coletadas alíquotas de 5 ml da solução de NaOH, as quais adicionaram-se 2 gotas de solução alcoólica de fenolftaleína como indicador e 10 ml de solução de BaCl₂ 0,2 N, seguido de titulação com HCl 0,5 N. Foram utilizados quatro recipientes controle (sem solo) para descontar o CO₂ que já estava no sistema, antes da incubação. As taxas de respiração basal foram expressas em mg C-CO₂ kg⁻¹ solo dia⁻¹.

2.5 DETERMINAÇÃO DE NITRATO (NO₃⁻) E AMÔNIO (NH₄⁺)

Para a determinação das concentrações de nitrato (NO₃⁻) e amônio (NH₄⁺) foi usado o método proposto por Cantarella; Trivelin (2001). Foram pesadas em frasco de plástico sub amostra de 20 g, aos quais foram adicionados 100 ml de solução de KCl 1M. Em seguida os frascos foram agitados em movimento circular horizontal (150 rpm) por duas horas. No dia posterior foram retiradas alíquotas de 20 ml do sobrenadante de cada amostra e congeladas para posterior análise.

A determinação das concentrações de N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺ foi realizado colorimetricamente. Os resultados foram expressos em µg N g⁻¹ solo seco. As taxas líquidas de mineralização (TLM) foram calculadas pela diferença entre as concentrações de N- inorgânico (N-NH₄⁺ + N-NO₃⁻) antes e após sete dias de incubação a 25 °C, e as taxas líquidas de nitrificação (TLN) corresponderam às diferenças entre as concentrações finais e iniciais de N-NO₃⁻, após sete dias de incubação. Os valores foram expressos em µg N g⁻¹ solo seco dia⁻¹ (CANTARELLA; TRIVELIN, 2001; KEMPERS; ZWEERS, 1986; YANG et al.,1998).

2.6 DETERMINAÇÃO DA ATIVIDADE DA URÉASE

A determinação da atividade da urease se deu através do método descrito por Tabatabai; Bremner (1972). Foram pesados 5g de solo referente às amostras em frascos de 50 ml e adicionaram-se 0,2 ml de tolueno, 9 ml de THAM (0,05M) pH 9 e 1 ml de solução com uréia (0,2 mol L⁻¹), deixando os por 2 horas em repouso na incubadora a 37° C. Após este período foram adicionados 35 ml de KCl – Ag₂SO₄ para que a reação fosse interrompida deixando os frascos por 5 minutos à temperatura ambiente, completando-os posteriormente para 50 ml de KCl – Ag₂SO₄ e agitando por alguns segundos. Para a estimativa de amônia liberada foram pipetados 20 ml da suspensão de solo resultante dentro de um frasco de destilação contendo 0,2g MgO, onde se determina o N-NH₄⁺ liberado pelo vapor da destilação através da titulação com H₂SO₄ (0.005 mol L⁻¹). Para cada amostra foi feita amostra controle, sendo que a uréia foi adicionada somente após a solução de KCl – Ag₂SO₄.

2.7 DETERMINAÇÃO DO FLUXO DE ÓXIDO NITROSO (N₂O)

A coleta de amostras de ar para análise da concentração de óxido nitroso (N₂O) foi realizada com sistemas de câmaras estáticas, compostas de base e tampa, com formato cilíndrico, conforme a Figura 1.



Figura 1. Câmara estática de geometria circular com seus respectivos compartimentos base e tampa

As bases das câmaras de formato cilíndrico, com 16 cm de altura, foram construídas com tubos de PVC de 300 mm e 29 cm de diâmetro interno. Aproximadamente 3 cm da base ficou inserida no solo. Foram distribuídas 16 câmaras

para coleta de gases. Foram selecionadas de forma aleatória 4 árvores de cacau, 4 árvores de ingá, 4 dendês, 4 empilhamentos.

As bases das câmaras permaneceram no local durante todo o experimento, diminuindo assim, perturbações ao solo. As coletas foram realizadas de janeiro a dezembro de 2014, totalizando 12 coletas, ou seja uma por mês. As amostras foram coletadas entre 7:30 às 8:30 da manhã.

A coleta de ar foi realizada com seringas de polipropileno com volume de 20 ml. Após a coleta, as amostras foram imediatamente transferidas para frascos de borossilicato, com volume de 14 ml, previamente evacuados a -70 kPa, com bomba manual, vedados com tampa de borracha, a passagem do ar da seringa para o frasco foi realizada com agulha (0,45 x 13 mm BD- BECTON; DICKINSON). Em cada câmara foram coletadas amostras de ar do solo em quatro tempos: logo após a colocação da tampa sobre a base (tempo zero) e, após 10, 20 e 30 minutos. A altura da câmara foi medida com régua milimetrada, em quatro pontos, para cálculo do volume da câmara. A concentração de N₂O foi determinada por cromatografia gasosa, usando cromatógrafo a gás modelo CP 3800 VARIAN®, com detector de captura de elétrons (ECD) que operava à temperatura de 370 °C, tendo o hélio como gás de arraste. A concentração de N₂O foi determinada em até 72 horas após a amostragem. Até o momento da leitura as amostras foram preservadas em refrigerador.

A injeção da amostra no equipamento foi realizada manualmente. Antes de determinar a concentração de N₂O, foi constituído uma curva de calibração com padrões de 0.34, 0.810 e 1.32 µmol/mol-1. As curvas de calibração foram feitas sempre antes do procedimento de leituras das amostras e quando havia a necessidade de desligar o aparelho durante as análises. Para a curva de calibração foram usados 3 pontos, com pelo menos 2 replicadas de cada tipo de padrão.

A concentração de N₂O na amostra de ar obtida da câmara foi calculada com a aplicação da curva analítica, que relaciona as áreas dos picos de gás padrão, obtida do cromatógrafo, e as concentrações dos padrões. Para o cálculo da emissão, foi determinada a taxa de variação de concentração do gás, considerando-se o modelo de ajuste linear. Para calcular o fluxo de N₂O, foram utilizados os critérios recomendados pelo Protocolo de GEE do solo da Rede PECUS, cuja equação segue abaixo:

$$\text{Fluxo } (\mu\text{g N m}^{-2} \text{ h}^{-1}) = (\Delta C/\Delta t) \cdot V/A \cdot (m/Vm)$$

Onde, $\Delta C/\Delta t$ é a taxa de variação do gás dentro da câmara por tempo (ppm/hora); V e A são volume (L) e área da câmara (m^2), respectivamente; m é o peso molecular (g); V_m é o volume molecular do gás também em L.

2.8 ÍNDICE CALCULADO

Quociente metabólico (qCO_2) - representa a quantidade de CO_2 liberado (respiração da BM) por unidade de biomassa por tempo. O qCO_2 também é denominado de taxa respiratória específica da biomassa microbiana -TRBM (GAMA-RODRIGUES, 1999).

2.9 OUTRAS VARIÁVEIS

As amostragens de ar foram acompanhadas por medições de temperatura do solo, medida com um termômetro de solo digital (Marca: Martel electronics; Modelo: Beta Probe TI +), no início e no final da coleta de ar., a temperatura atmosférica com psicrômetro e temperatura interna da câmara com termômetro digital CLCD2.

2.10 ANÁLISE ESTATÍSTICA

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa SIGMA PLOT versão 11.0. A normalidade dos dados foi avaliada através do teste de Kolmogorov-Smirnov ($P > 0,05$). Aplicou-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade, para a comparação das médias. Os coeficientes de correlação foram determinados pelo teste de Pearson ($P < 0,10$).

3 RESULTADOS

Os valores de F e seus correspondentes índices descritivos (valor P) das fontes de variação estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Valores de teste F e índice descritivo (valor P) das fontes de variação analisadas

Variáveis	Local de coleta		Tempo		Local de coleta x Tempo	
	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
N-N ₂ O	0,97	0,44	3,31	<0,001	0,74	0,84
Ug	0,41	0,75	2,23	0,02	0,63	0,94
Ts	1,11	0,39	0,93	0,51	0,10	0,48
N-NO ₃ ⁻	0,87	0,49	53,13	<0,001	0,85	0,58
NH ₄ ⁺	0,83	0,50	28,27	<0,001	0,24	0,99
TLM	0,80	0,52	7,92	<0,001	1,34	0,25
TLN	0,16	0,92	28,55	<0,001	1,54	0,17
Urease	0,35	0,79	144,41	<0,001	1,14	0,37
C-BMS	3,08	0,07	39,95	<0,001	0,55	0,83
N-BMS	3,37	0,06	8,17	<0,001	0,58	0,80
RB	0,93	0,46	48,46	<0,001	0,90	0,51
qCO ₂	0,35	0,79	43,99	<0,001	0,09	0,10

N-N₂O – fluxo de óxido nitroso; Ug- umidade gravimétrica; TS- temperatura do solo; N-NO₃⁻ - nitrato; N-NH₄⁺ - amônio; TLM- taxa líquida de mineralização do nitrogênio; TLN – taxa líquida de nitrificação; Urease; C-BMS – carbono da biomassa microbiana do solo; NBM – nitrogênio da biomassa microbiana do solo; RB – respiração basal; qCO₂ – quociente metabólico.

3.1 UMIDADE GRAVIMÉTRICA E TEMPERATURA DO SOLO

A análise de variância da umidade gravimétrica do solo não revelou diferenças significativas entre os períodos de coleta nem em relação aos locais de coleta (Figura 2B).

A temperatura do solo não apresentou diferença significativa nas locais e nem nos períodos de coleta (Figura 2C).

3.2 FLUXO DE ÓXIDO NITROSO (N₂O)

O N₂O não diferiu significativamente em relação aos locais de coleta, porém houve apenas efeito de coleta ($P < 0,001$), onde no mês de março houve menor efluxo e no mês de outubro apresentou maior efluxo (Figura 2A).

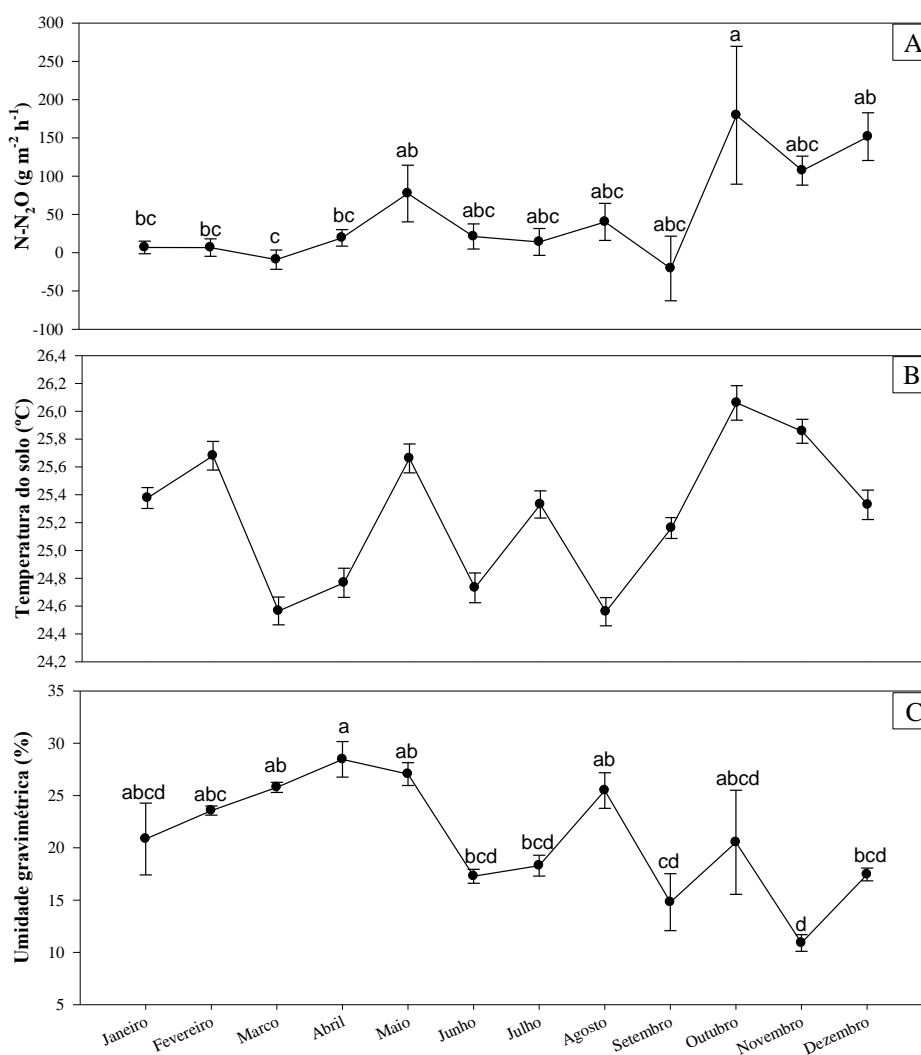


Figura 2. Valores médios de óxido nitroso (A), Temperatura do solo (B) e umidade gravimétrica (C), no município de Tomé-Açu (PA), letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($P < 0,10$)

3.3 NITROGÊNIO MINERAL

A concentração de NO_3^- só apresentou apenas efeito de coleta ($P < 0,001$), variando entre 3 e 16 mg N g^{-1} solo, onde a maior concentração foi na coleta de janeiro período chuvoso diferindo significativamente das demais coletas (Figura 3A).

Quanto à concentração de N amoniacal no solo (Figura 3B), não houve efeito significativo da interação entre tratamentos e períodos assim como não houve no nitrogênio nítrico, porém as duas coletas do período chuvoso (janeiro e abril) diferiram significativamente do período seco (julho e outubro), onde as coletas de janeiro e abril obtiveram as maiores concentrações.

3.4 UREASE

A atividade enzimática não apresentou diferença em relação aos locais de coleta nem houve interação entre local x coleta, apresentou apenas efeito de coleta ($P < 0,001$). Onde as do período chuvoso foram significativamente maior que no período seco (Figura 3C).

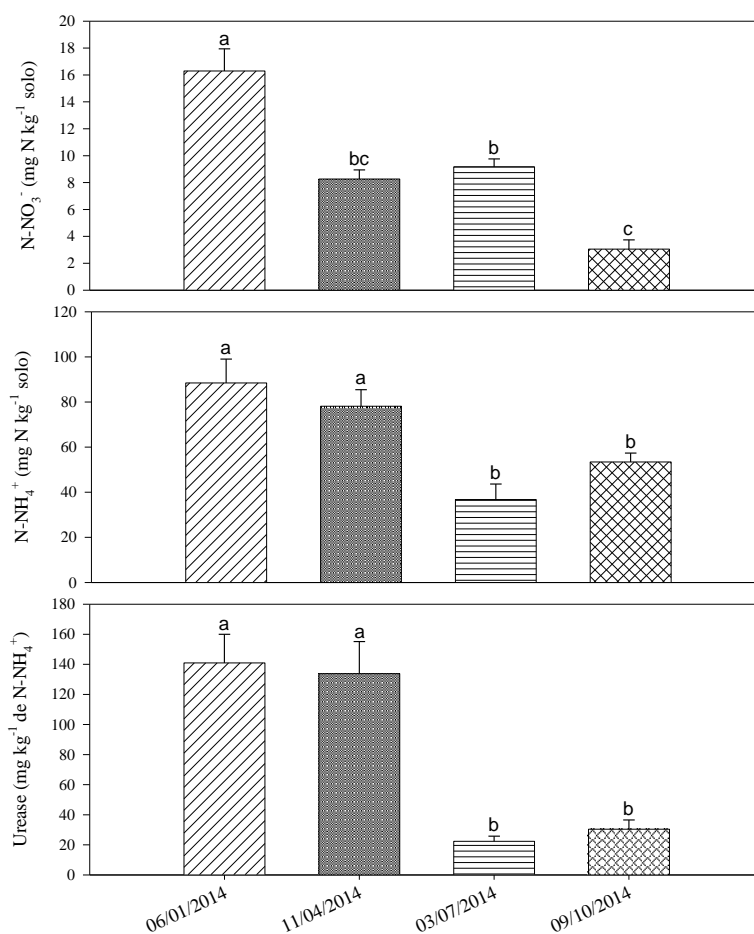


Figura 3. Valores médios de N nítrico (A), N amoniacal (B) e urease (C), no município de Tomé-Açu (PA), letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($P < 0,10$)

3.5 TAXAS LÍQUIDAS DE MINERALIZAÇÃO (TLM) E NITRIFICAÇÃO (TLN)

Quanto às taxas líquidas de mineralização (TLM) do N, e taxa de nitrificação (TLN), só apresentaram efeito de coleta com ($P < 0,001$), onde as maiores taxas estão no período seco, na coleta de outubro (Figura 4A e B), respectivamente.

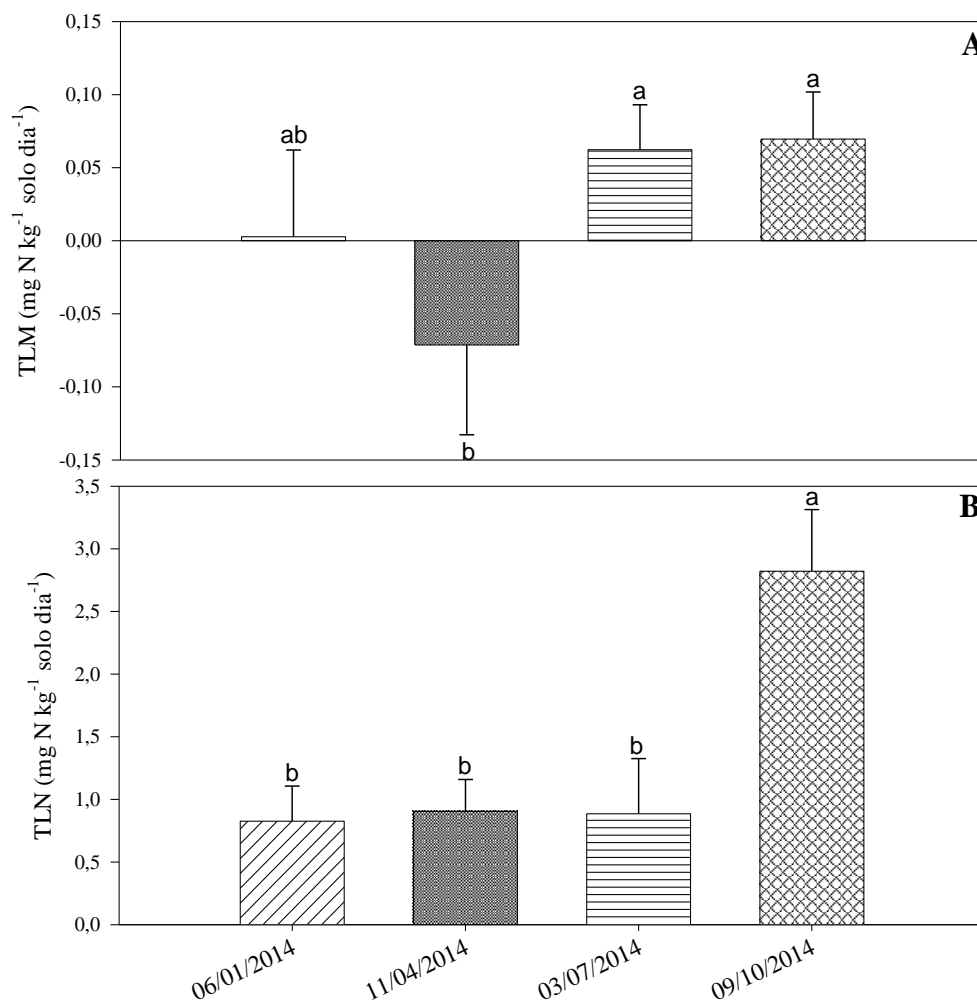


Figura 4. Taxa líquida de mineralização (A) e taxa líquida de nitrificação (B), no município de Tomé-Açu (PA), letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($P < 0,10$)

3.6 C E N D A B M S

Só houve diferença significativa em relação aos períodos de coleta, onde o CBM apresentou o maior valor no mês de abril, ainda no período chuvoso (Figura 5A).

O NBM, só apresentou diferença em relação ao período de coleta assim como o CBM, sendo que apresentou maior valor na coleta de janeiro também no período chuvoso (Figura 5B).

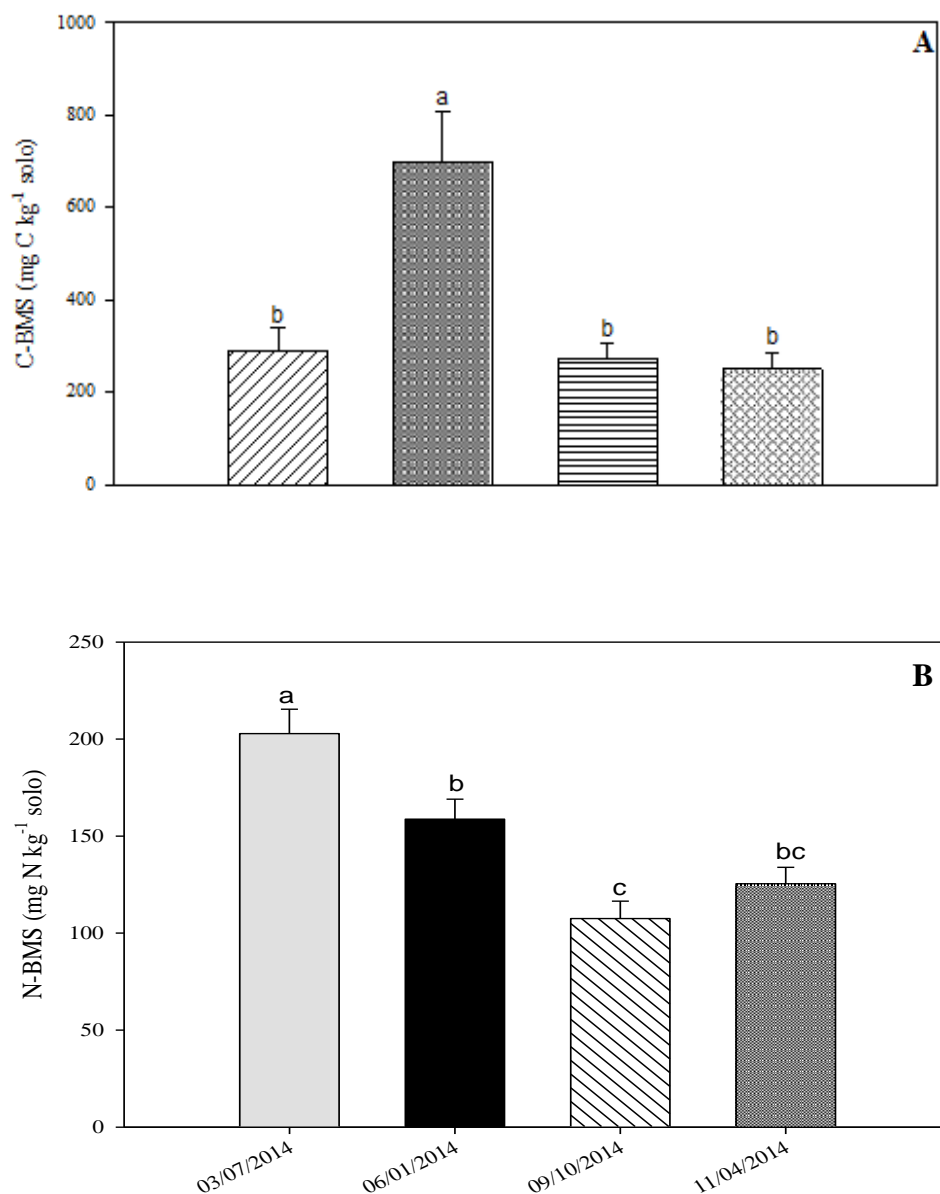


Figura 5. CBM- Carbono da biomassa microbiana (A) e NBM- nitrogênio da biomassa microbiana (B), no município de Tomé-Açu (PA), letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($P < 0,10$)

3.7 RESPIRAÇÃO BASAL (RB) E QUOCIENTE METABÓLICO (QCO₂)

A respiração basal, só apresentou diferença significativa em relação ao período de coleta, assim como o quociente metabólico (Figura 6A e B, respectivamente), onde os maiores valores foram encontrados na coleta de outubro período seco.

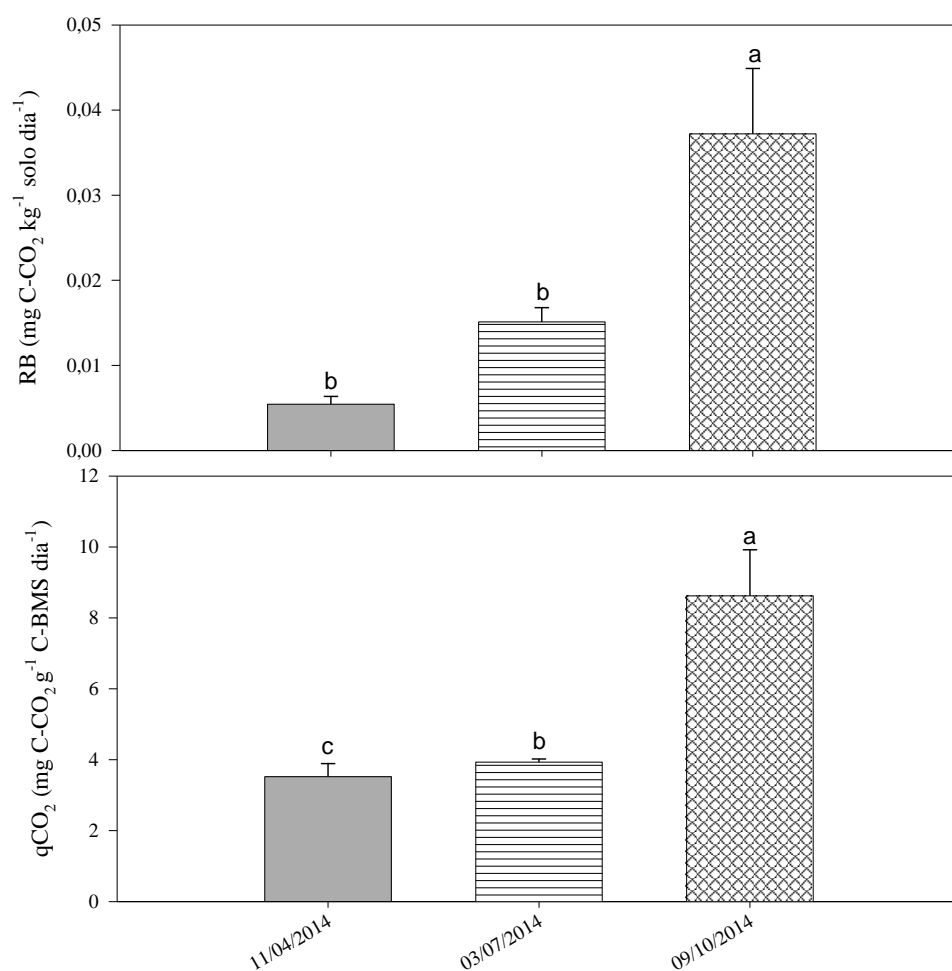


Figura 6. RB – respiração basal (A) e qCO₂- quociente metabólico (B), no município de Tomé-Açu (PA), letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P < 0,10)

4 DISCUSSÃO

Tomando como base modelo do *hole-in-the-pipe* (HIP) proposto por Firestone e Davidson (1989), que sintetiza a relação entre fatores microbiológicos e ecológicos que influenciam as emissões de óxidos de nitrogênio (NO e N₂O) a partir do solo. O HIP correlaciona estes gases (NO e N₂O) através de seus processos comuns de produção e consumo. De acordo com esse modelo, os fluxos de gases nitrogenados a partir do solo são controlados por dois fatores basicamente: pela concentração de N que cicla através do sistema; e pelo teor de água no solo que rege a difusão de oxigênio e outros gases.

A temperatura, umidade e a drenagem dos solos são fatores chaves nas emissões de N₂O do solo (DOBBIE et al,1999). No presente estudo não houve diferença estatística significativa nos fluxos de N₂O medidos entre locais de coleta, porém apresentou efeito nos diferentes períodos de coleta, onde o maior efluxo foi no mês de outubro e o menor no mês de março, o que pode ser justificado pela quantidade de água no solo, no mês de março no período chuvoso, influenciando o menor valor do efluxo. Em solos muito úmidos a difusibilidade e aeração são baixos, segundo Davidson et al (2000), solos com mais de 60% de água, mostram uma saturação do mesmo, assim os microporos estão preenchidos por água, permitindo uma atividade microbiana sem estresse de água, porém há uma formação de micro sítios anaeróbios, o que desfavorece a dinâmica da nitrificação e desnitrificação e conseqüentemente a emissão de N₂O.

Em estudo realizado por Nerino (2013), em um sistema agroflorestal, no município de Tomé-Açu, segue contrário aos valores encontrados no presente estudo, onde encontrou maior emissão de N₂O, em janeiro no período chuvoso. Assim como Cardoso et al, (2010), avaliaram as emissões de N₂O sob diferentes tipos de uso do solo, também apresentou maior efluxo no período chuvoso.

A umidade do solo é um fator decisivo nas emissões de N₂O, pois está intimamente ligado à temperatura e desempenha um papel importante no controle de processos biológicos do solo que produzem N₂O (DAVIDSON, 1993; VASCONCELOS et al., 2004). A umidade também afeta o regime de aeração do solo, e assim a produção de nitrato. Em um extremo limita a difusão de O₂. A presença do O₂ inibe a desnitrificação, que é o processo mais responsável pela emissão do gás, mas na ausência do O₂, provocada pelo excesso de umidade no solo, este mesmo processo constitui uma outra fonte de produção de N₂O. O excesso de umidade no solo pode também impedir a

transferência do N_2O para a atmosfera, tornando-o, nesse caso, sujeito à redução a N_2 pela desnitrificação no solo.

Segundo Rodrigues e Mello (2012), em experimento em uma floresta ombrófila no Rio de Janeiro, também obtiveram efeito sazonal, onde no inverno foram encontrados os menores efluxos (maio a julho) e o maior efluxo foi de setembro a janeiro, no final da primavera início do verão. Comportamento sazonal semelhante também foi citado, por Souza Neto et al, 2013 em um trecho da Serra do Mar, situado ao norte de Ubatuba (SP), onde os menores fluxos de N_2O ocorreram no período de julho a setembro e os maiores em janeiro, porém Souza 2013, em um sistema agroflorestal, no município de Tomé-Açu, encontrou maior emissão de N_2O , no período chuvoso, diferente dos resultados encontrados neste estudo.

A temperatura do solo do presente trabalho não apresentou diferença significativa em relação a local e nem no período de coleta, embora seja um fator muito importante para a emissão de gás e para atividade microbológica.

Em alguns tipos de solos, a quantidade de N disponível torna-se uma variável dominante para controlar as emissões de N_2O , principalmente em ambientes tropicais. Os resultados encontrados neste trabalho de teor de $N-NO_3^-$ foi maior em janeiro, no período chuvoso do experimento, assim como o teor de $N-NH_4^+$, ao contrário dos valores encontrados por Souza (2013) em um sistema agroflorestal, onde os valores de nitrato mais relevante foram observados no período seco e o amônio no período chuvoso a nitrificação é influenciada e favorecida pela presença de NH_4^+ , e por condições adequadas de aeração do solo e pH, porém vale ressaltar que embora a nitrificação seja um processo que necessite de água para que ocorra as transformações de N menos móveis (NH_4^+) e mais móveis (NO_3^-), o excesso de água pode provocar a perda do N por lixiviação, os nitratos são ânions facilmente volatilizáveis, se perdendo facilmente com o excesso de água. No entanto a estação do ano em que o nitrato é mais abundante no solo não coincide, necessariamente, com a máxima atividade microbiana devido a absorção pelas plantas, imobilização e lixiviação, processos que reduzem o nível de nitrato.

Em experimento desenvolvido por Santiago et al (2013), também na unidade demonstrativa II, o SAF de baixa diversidade (adubadeiras) e na floresta secundária a concentração de $N-NO_3^-$ aumentaram significativamente na estação seca, enquanto que no SAF de alta diversidade (biodiversificado) não apresentou diferença entre as estações.

Apesar da concentração de nitrato e amônio disponível está maximizado no período chuvoso, e o fluxo de N_2O , em outubro período seco, pode ser explicado pela adição do material provenientes da poda, manejo realizado a cada 6 meses na área do experimento, a decomposição gradual do material orgânico das culturas vigentes no sistema sendo ela composta por grande parte de leguminosas, que segundo Gomes et al.(2008), em experimento no sul do Brasil, demonstra o potencial de mitigação na emissão N_2O em relação ao uso de fertilizantes nitrogenados, segundo ele, a emissão é 3 vezes menor com o uso de leguminosas ($28,1, 5,3 \mu\text{g N-N}_2\text{O m}^{-2} \text{h}^{-1}$) comparando com adubos químicos ($77,4; 2,2 \mu\text{g N-N}_2\text{O m}^{-2} \text{h}^{-1}$).

Em relação as taxas, a taxa líquida de mineralização (TLM) só apresentou efeito de coleta, no entanto a coleta de abril apresentou valores negativos evidenciando ao predomínio da imobilização sobre a mineralização do N. A taxa líquida de nitrificação (TLN) também apresentou apenas efeito de coleta, onde a que apresentou maior taxa foi a coleta de outubro, na estação seca, assim como a TLM.

O processo de mineralização tem um papel fundamental, sendo responsável pela transformação do N, sendo que essa transformação é exclusivamente microbiológica e consiste na transformação de N orgânico em N inorgânico de forma geral ela é um componente representado pela assimilação de nutrientes e pela manutenção da microbiota (Fanzluebbers et al,1994). A imobilização é responsável pelo inverso da mineralização transformando N inorgânico N orgânico. Santiago et al (2013), mostraram valores diferentes de TLM, onde as taxas foram positivas, evidenciando o predomínio da mineralização sobre a imobilização de N, e a TLN foram semelhantes onde apresentou maior taxa na estação seca.

O processo de mineralização é catalisado por enzimas, como a urease que que transforma a uréia, que é uma das formas de N orgânico, a uréia ocorre de forma natural proveniente de excretas de animais e como produto da mineralização (VICTORIA et al., 1992).

O ecossistema avaliado não apresentou diferença significativa nos locais de coleta, em relação a atividade da urease, apresentando apenas efeito de coleta, onde a de janeiro variando entre ($60 \text{ e } 90 \mu\text{g N-NH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ solo}^{-1} \text{ h}^{-1}$) e abril apresentaram maior atividade não diferindo estatisticamente entre elas, a atividade da urease assim como a concentração de nitrato e amônio obtiveram maior valor em janeiro na estação chuvosa.

A enzima é sensível a elevadas temperaturas, no entanto no período seco, houve um decréscimo na atividade, é comum encontrar valores relativamente maiores em solos de

mata quando comparados a solos com outro tipo de vegetação e mesmo em solos sob culturas, já que a microbiota é favorecida pela maior diversidade florística e pela cobertura vegetal, que propicia maior acúmulo de matéria orgânica, fornecendo maior quantidade de nutrientes para o desenvolvimento da comunidade microbiana (BANDICK; DICK, 1999).

Em experimento no Rio Grande do Sul (RS), Schmitz (2003), em Argissolo sob diferentes coberturas vegetais e práticas de manejo, obteve valores de atividade para esta enzima entre 32 e 164 $\mu\text{g N-NH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$. Ainda no RS Matsuoka (2006), trabalhando em solos sob cultivo de videira, encontrou valores de 50 a 130 $\mu\text{g N-NH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ em um Cambissolo e de 10 a 141 $\mu\text{g N-NH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ solo 2h}^{-1}$ em um Neossolo. Cabe salientar ainda que os dois autores encontraram maiores atividades da urease nas áreas sob vegetação nativa quando comparadas às áreas cultivadas.

Ao que tudo indica o processo de amonificação está ocorrendo normalmente no sistema avaliado (SAF biodiversificado), o amônio é um cátion que pode ser adsorvido aos colóides do solo, tornando se estacionário, contribuindo ainda mais para a manutenção do N no solo.

Os valores de carbono da biomassa microbiana, variaram entre 300 e 700 $\text{mg C kg}^{-1} \text{ solo}$, a BMS é um compartimento central do ciclo do C, neste sentido de acordo com as condições edafoclimáticas e a qualidade da serapilheira, BMS pode exercer papel de catalisadora assim como de fonte e/ou reserva de nutrientes. Dessa forma a rápida ciclagem pode fornecer fluxos relevantes na nutrição das plantas (SMITH; PAUL, 1990).

O CBM não apresentou efeito de local, apenas apresentou efeito de coleta, onde a de abril apresentou maior valor diferindo significativamente dos demais meses de coleta. O valor de C da BMS, encontrado no presente trabalho indicam o potencial em que o sistema apresenta de reservar C no solo, permitindo afirmar que o acúmulo ou perda desse elemento, ocorre em função de um determinado manejo ou condição edáfica (GAMA-RODRIGUES; GAMA-RODRIGUES, 2008).

Santiago 2013 em uma floresta secundária no município de Tomé- Açu, encontrou valores 982 $\text{mg C kg}^{-1} \text{ solo}$, resultados próximos aos do SAF biodiversificado, os altos valores de C-BMS podem ser atribuídos ao efeito significativo do preparo da área, seguida de deposição da vegetação triturada na superfície do solo.

Comparando-se os valores médios de C-BMS obtidos neste estudo com SAF biodiversificado com alguns trabalhos associados à técnica de corte-e-trituração da vegetação secundária na Amazônia Oriental, observou-se que os resultados foram

superiores aos valores obtidos por Aragão et al. e (2012) Sampaio (2008). No entanto essas diferenças podem ser explicadas pelas particularidades de cada local, como solo (atributos químicos, físicos e microbiológicos), microclima (temperatura, umidade do ar, precipitação), cobertura vegetal, e histórico de uso da terra.

Os dados do presente trabalho foram menores em relação ao estudo de Lopes et al. (2011), onde os altos valores de C-BMS, podem ser atribuídos ao efeito significativo do preparo da área, os autores verificaram que nos tratamentos onde houve corte e trituração da vegetação, seguida de deposição da vegetação triturada na superfície do solo, houve maiores concentrações de C-BMS. Assim a manutenção de resíduos vegetais no solo, em sistemas agrícolas e em sistemas florestais, é determinante na obtenção do equilíbrio da matéria orgânica do solo.

Quanto ao N da biomassa o tratamento biodiverso é eficiente quanto à imobilização de N na BMS, evidenciando que a conversão da vegetação natural em sistemas agroflorestais com palma de óleo, por meio da técnica de corte-e-trituração da vegetação secundária, não causou alterações significativas na assimilação de N pela população microbiana do solo.

Os valores médios de N-BMS foram superiores aos valores obtidos em outros estudos, na Amazônia (SANTIAGO, 2013; ARAGÃO, 2012), em uma floresta secundária apresentou menores médias, assim como os valores encontrados por Carvalho (2005), também em uma floresta plantada em São Paulo, encontrou menores médias.

Santiago (2013) também no tratamento biodiverso encontrou menores valores que os do presente estudo, embora os experimentos tenham sido realizados na mesma área, as maiores médias podem ser explicadas pela sazonalidade e ao incremento das espécies que compõem o sistema diversificado, assim como há um maior acúmulo de material, protegendo o solo e reduzindo a incidência solar, conservando assim a umidade e criando um clima agradável a comunidade microbiana.

Assim segundo Odum (1983), há uma tendência do ecossistema de reter e conservar uma maior quantidade de nutrientes ao longo de seu processo de sucessão fazendo com que fique menos dependente de novas entradas, tendo como estratégia geral da sucessão uma eficiência crescente na utilização de energia e nutrientes.

De forma geral a biomassa é vista como muito eficiente quando, há pouca perda de C na forma de CO₂ pela respiração, ou seja, a respiração basal (RB), é a avaliação geral da

biomassa, pois é uma fração significativa de C incorporada à BMS (GAMA-RODRIGUES; GAMA-RODRIGUES, 2008).

A Respiração basal não apresentou, diferença significativa em relação aos locais de coleta, porém no período seco apresentou uma grande perda de CO₂, apresentando uma alta taxa de respiração.

Os valores médios de RB foram menores no presente estudo que em outros estudos na Amazônia (LUIZÃO et al., 1992; MOREIRA; COSTA, 2004; RANGEL-VASCONCELOS, et al., 2005), sendo que no período chuvoso apresentou menor perda de C na forma de CO₂, pois há uma maior decomposição dos resíduos.

As diferenças encontradas em relação aos valores citados na literatura podem decorrer de diferenças nas condições edafoclimáticas e também dos métodos de análise da respiração basal entre os diversos estudos. A respiração basal durante a estação chuvosa foi inferior à da estação seca, ao contrário dos valores encontrados por Santiago (2013). Sugerindo que a atividade microbiana estava imobilizando mais nutrientes do que mineralizando durante o período da coleta.

O quociente metabólico (qCO₂) revelou efeito significativo apenas de período de coleta, onde no período seco apresentou maiores médias, evidenciando maior eficiência de BMS durante a época seca. Tais resultados evidenciam que a BMS foi mais eficiente durante a época seca. Sendo que esse índice é capaz de indicar a eficiência do uso dos substratos pela microbiota do solo, segundo Anderson (1993) além de indicar mudanças na atividade microbiana após distúrbios é um possível indicador de estresse ambiental.

Os baixos valores de qCO₂, no presente trabalho também pode indicar que a BMS não estava demandando de muita energia para se manter, pois segundo Anderson (1993) quanto maior o qCO₂ maior é a demanda por energia. A medida que a respiração é uma fração significativa de C, e é incorporada ao tecido microbiano, quanto mais baixo os valores de qCO₂ mais os solos se aproximam do estado de equilíbrio.

5 CONCLUSÃO

A emissão de óxido nitroso (N₂O), é influenciada pelas características climáticas de umidade e temperatura, porém os locais de influência da leguminosa com capacidade de fixar nitrogênio ao solo, não é a principal responsável pela maior emissão em sistemas agroflorestais. Assim os sistemas agroflorestais com palma de óleo são eficazes quanto à imobilização de N e C na biomassa microbiana do solo.

6 REFERÊNCIAS

ALBRECHT, A.; KANDJI S. T. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.99, p. 15–27. 2003.

ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, p. 393-395, 1993.

ARAGÃO, D. V.; CARVALHO, C. J. R.; KATO, O. R.; ARAÚJO, C. M.; SANTOS, M. T. P.; MOURÃO JÚNIOR, M. Avaliação de indicadores de qualidade do solo sob alternativas de recuperação do solo no Nordeste Paraense. **Acta Amazonica**, v. 42, p. 11-12, 2012.

BAENA, A. R. C.; FALESI, I. C. **Avaliação do potencial químico e físico dos solos sob diversos sistemas de uso da terra na Colônia Agrícola de Tomé-Açu, Estado do Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1999. 23 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Boletim de Pesquisa, 18.).

BANDICK, A.K.; DICK, R.P. Field management effects on soil enzyme activities. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.31, p.1471-1479, 1999.

BARKER, R.E.; FRANK, A.B.; BERDAHL, J.D. Cultivar and clonal differences for water use efficiency and yield in four forage grasses. **Crop Science**, v.29, p.58-61, 1989.

BERNOUX, M; GRAÇA, P.M.A; FEARNSIDE, P.M; CERRI,C.C; FEIGL,B; PICCOLO, M.C. Carbon Storage in biomass and soils. In: Mcclain. M. (Ed) **The biogeochemistry of the Amazon basin and its role in a changing world**. Oxford: university press. 2001. P 165-184- 2001.

BÖRNER, J.; MENDOZA, A.; VOSTI, S. A. Ecosystem services, agriculture, and rural poverty in the Eastern Brazilian Amazon: Interrelationships and policy prescriptions. **Ecological Economics**, v.64, p.356-373, 2007.

BRASIL. Ministério de Ciência e Tecnologia. **Inventário brasileiro das emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa**. Brasília, 2009. 19 p.

BROOKES, P. C.; LANDMAN, A.; PRUDEN, G.; JENKINSON, D. S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 17, p. 837-842, 1985.

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

- COSTA, J. R.; MITJA, D. Uso dos recursos vegetais por agricultores familiares de Manacapuru (AM). **Acta Amazonica**, v. 40, p. 49 – 58, 2010.
- DAVIDSON, E. A.; BUSTAMANTE, M. M. C.; PINTO, A. S. Emissions of nitrous oxide and nitric oxide from soils of native and exotic ecosystems of the Amazon and Cerrado regions of Brazil. **The Scientific World**, v.1, p.312-319, 2001.
- DAVIDSON, E. A.; KELLER, M.; ERICKSON, H. E.; VERCHOT, L.V.; VELDKAMP, E. Testing a conceptual model of soil emissions of nitrous and nitric oxides. **Bioscience Journal**, 50, n.8, p. 667-680, 2000.
- DAVIDSON, E. A.; MATSON, P. A. Processes regulating soil emissions of NO and N₂O in a seasonally dry tropical forest. **Ecology**, 74(1), pp. 130-139. 1993.
- DOBBIE, K. E; SMITH, K. A. Impact of different forms of N fertilizer on N₂O emissions from intensive grassland. Nutrient cycling in: **Agroecosystems**, v67, p 37-46, 1999.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: SPI/CNPS, 1999. 412 p.
- FEIGL, B. J.; SPARLING, G. P.; ROSS, D. J.; CERRI, C. C. Soil microbial biomass in amazonian soils: evaluation of methods and estimates of pool sizes. **Soil Biology Biochemistry**. v. 27, p. 1467-1472, 1995.
- FIRESTONE, M. K., Firestone, R. B., and Tiedje, J. M.: Nitrous Oxide from Soil Denitrification: Factors Controlling Its Biological Production, **Science**, 208, 749–751, 1989.
- FRANZLUEBBERS, A.J. & ARSHAD, M.A. Soil organic matter pools during early adoption of conservation tillage in northwestern Canada. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 60:1422-1427, 1996.
- GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; PAULINO, G. M.; FRANCO, A. A. Atributos químicos e microbianos de solos sob diferentes coberturas vegetais no norte do Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileiro de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1521-1530, 2008.
- GAMA-RODRIGUES, E. F.; BARROS, N. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; SANTOS, G. A. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 893-901, 2005.
- GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 159-168.
- GOMES, J.; BAYER, C.; COSTA, F. de S.; PICCOLO, M. de C.; ZANATTA, J. A.; VIEIRA, F. C. B.; SIX, J. Soilnitrous oxide emissions in long-term cover cropsbased rotations under subtropical climate. **Soil & Tillage Research**, v. 106, n. 1, p. 36-44, 2009

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2007.

LOPES, E. L. N.; FERNANDES, A. R.; RUIVO, M. L. P.; CATTANIO, J. H.; SOUZA, G. F. Microbial biomass and soil chemical properties under different land use systems in Northeastern Pará. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 35, p. 1127-1139, 2011.

LUIZÃO, F. J.; TAPIA-CORAL, S.; GALLARDO-ORDINOLA, J.; SILVA, G. C.; LUIZÃO, R. C. C.; TRUJILLO-CABRERA, L.; WANDELLI, E.; FERNANDES, E. C. M. **Ciclos biogeoquímicos em agroflorestas na Amazônia**. In: CBSAF. VI. 2006. Anais. Campos dos Goytacazes: UENF, 2006, p.87-100.

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.133-146, 2000 (supl. especial).

MATSUOKA, M. **Atributos biológicos de solos cultivados com videira na região da Serra Gaúcha**. 2006. 171f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

MATSUOKA, M.; MENDES, I.C.; LOUREIRO, M.F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.27, p.425-433, 2003.

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. Dinâmica da matéria orgânica e da biomassa microbiana em solo submetido a diferentes sistemas de manejo na Amazônia Ocidental. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 1103-1110, 2004.

MÜLLER, A. A.; FURLAN JR. J. & CELESTINO FILHO, P. **A Embrapa Amazônia Oriental e o agronegócio do dendê no Pará**. Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA, 67p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 257), 2006.

RANGEL-VASCONCELOS, L. G. T. **Biomassa, estoques de nutrientes e matéria orgânica leve do solo de vegetação de pousio sob diferentes manejos em sistema de corte-e-trituração na Amazônia oriental**. 2011. 124 p. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2011.

RANGEL VASCONCELOS, L. G. T.; ZARIN, D. J.; CARVALHO, J. C. R.; SANTOS, M. M. L. S. VASCONCELOS, S. S.; OLIVEIRA, F. A. Carbono, nitrogênio e atividade da biomassa microbiana de um solo sob vegetação secundária de diferentes idades na Amazônia Oriental. **Revista de Ciências Agrárias**, n. 44, p. 49-63, 2005.

RODRIGUES, R.A. R; MELLO, W.Z. Fluxos de óxido nitroso em solos com cobertura de floresta ombrófila densa Montana na serra dos órgãos, Rio de Janeiro. **Revista Química Nova**, Vol. 35, No. 8, 1549-1553, 2012.

SAMPAIO, I. C. G. **Biogeoquímica do carbono em solos de parcelas sob trituração, sob queima e sob capoeira**. 2008. 81 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2008.

SANTIAGO, W. R. **Nitrogênio mineral e biomassa microbiana do solo em sistemas agroflorestais com palma de óleo em Tomé-Açu, Pará**. 2012. 66p. (Tese de Mestrado em Agronomia) Universidade Federal Rural da Amazônia. 2012.

SANTIAGO, W. R.; VASCONCELOS, S.S; KATO, O, R; BISPO, C.J.C; RANGEL-VASCONCELOS, L.G.T; CASTELANE, D.C. **Nitrogênio mineral e microbiano do solo em sistemas agroflorestais com palma de óleo na Amazônia Oriental**. Revista Acta amazônica. V 43, p 395 – 406, 2013.

SANTOS, A.M. **Análise do Potencial do Biodiesel de Dendê para a Geração Elétrica em Sistemas Isolados da Amazônia**. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2008.

SCHMITZ, J.A.K. **Indicadores biológicos de qualidade do solo**. 2003. 234f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

SIX, J.; CONANT, R. T.; PAUL, E. A.; PAUSTIAN, K. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. **Plant and Soil**, v. 241, p. 155–176, 2002.

SMITH, J. L.; PAUL, E. A. The significance of soil microbial biomass estimations. In: BOLLAG, J; STOTZKY, D. G. (Ed.). **Soil Biochemistry**. New York: Marcel Dekker, 1990. v. 6, p. 357-396.

SOUZA, G.N.B. **Fluxo de óxido nitroso (N₂O) do solo em um sistema agroflorestal em Tomé –Açu, nordeste paraense**. 2013.49p.(Tese de Mestrado em ciências ambientais) Universidade Federal do Pará, 2013.

SOUZA NETO, E.; Carmo, J. B.; Keller, M.; Martins, S. C.; Alves, L. F.; Vieira, S. A.; Piccolo, M. C.; Camargo, P.; Couto, Joly, C. A.; Martinelli, L. A.; **Biogeosciences**, 8,733. 2011.

TATE, K. R; ROSS, D. J.; FELTHAM, C. W. A direct extraction method to estimate soil microbial C: Effects of experimental variables and some different calibration procedures. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 20, p. 329-335, 1988.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 19, p. 703-707, 1987.

VASCONCELOS, STEEL S.; ZARIN, DANIEL J.; CAPANU, MARINELA ;LITTELL, RAMON;DAVIDSON, ERIC A.; ISHIDA, FRANCOISE Y.;SANTOS, ELISANA B.;ARAÚJO, MARISTELA M.;ARAGÃO, DÉBORA V.; RANGEL-VASCONCELOS, LÍVIA G. T.;DE ASSIS OLIVEIRA, FRANCISCO;MCDOWELL, WILLIAM H.; DE CARVALHO, CLAUDIO JOSÉ R.; **Moisture and substrate**

availability constrain soil trace gas fluxes in an eastern Amazonian regrowth forest. GLOBAL BIOGEOCHEMICAL CYCLES, VOL. 18,2004.

VICTORIA, RL; PICCOLO, MC; VARGAS, A.A.T.O Ciclo do nitrogênio. In: Cardoso, E.J.B.N; T.SAI, S.M; Mc. **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de ciência do solo. Cap 8, p.105 -121, 1992.

WRAGE, N; VELTHOF, G. L.; van BEISICHEM, M. L.; OENEMA, O.;*Soil Biol. Biochem.* **2001**, 33, 1723. Souza Neto, E.; Carmo, J. B.; Keller, M.; Martins, S. C.; Alves, L. F.; Vieira, S. A.; Piccolo, M. C.; Camargo, P.; Couto, Joly, C. A.; Martinelli, L. A.; Biogeosciences 2011, 8, 733.

CAPÍTULO 3

ESTOQUE DE CARBONO E PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS CONTENDO PALMA DE ÓLEO NA AMAZÔNIA ORIENTAL

RESUMO

Os sistemas agroflorestais (SAFs) são uma combinação integrada de árvores, arbustos, cultivos agrícolas e animais na mesma área, de maneira simultânea ou sequencial, que buscam a otimização da agregação de valores socioeconômico-culturais e ambientais, visto que os mesmos apresentam potencial para constituírem uma modalidade sustentável de uso e manejo dos recursos naturais. O objetivo do trabalho foi quantificar o carbono e comparar a variação temporal ao longo do ano ao acúmulo e produção de serapilheira em um sistema agroflorestal, situado no município de Tomé Açu - PA. A quantidade de serapilheira do solo foi estimada através de quadrantes de 0,5m X 0,5m. A produção de serapilheira foi estimada através da instalação de coletores com 1m², suspenso a 15 cm do solo. O material foi coletado em sacos de papel, identificados e separados em frações (material lenhoso, não lenhoso e total) e em seguida secas em estufa de 65°C por 48 horas e pesadas em balança digital com precisão de 0,01 g. O C total foi quantificado por combustão via seca, em aparelho analisador elementar da marca LECO, modelo CNS 2000. O estoque de carbono não diferiu entre os locais nem em tempo e a produção de serapilheira se diferenciaram durante os meses de coleta e frações. Maiores resultados puderam ser observados na estação mais seca, com maior contribuição da fração não lenhosa.

Palavras-chave: Amazônia Oriental, biomassa e produção.

ABSTRACT

The Agroforestry System (AFS) is an integrated combination of trees, shrubs, crops and animals in the same area, simultaneously or sequentially, seeking to optimize the aggregation of socioeconomic, cultural and environmental values, as they have the potential to constitute a form of sustainable use and management of natural resources. The objective was to quantify carbon and compare the temporal variation throughout the year to build and litter production in an agroforestry system in the municipality of Tomé Açu - PA. The amount of soil litter was estimated by quadrants 0.5m x 0.5m. The litter production was estimated by installing collectors with 1m², suspended 15 cm from the ground. The material was collected in paper bags, identified and separated into fractions (timber, not woody and total) and then dried in an oven of 65 ° C for 48 hours and weighed on a digital scale with a precision of 0.01 g. OC total was quantified by dry combustion in an elemental analyzer apparatus of LECO brand, model CNS 2000. The carbon stock did not differ between locations or time and litter production were different during the months of collection and fractions. Best results were observed in the driest season, with higher contribution from non-woody fraction.

Keywords: Eastern Amazon, biomass and production.

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas agroflorestais (SAFs) são uma combinação integrada de árvores, arbustos, cultivos agrícolas e animais na mesma área, de maneira simultânea ou sequencial, que buscam a otimização da agregação de valores socioeconômico-culturais e ambientais, visto que os mesmos apresentam potencial para constituírem uma modalidade sustentável de uso e manejo dos recursos naturais (ASSIS-JÚNIOR et al., 2003).

Dessa forma em regiões que possuem solos de baixa fertilidade, elevada acidez e topografia montanhosa é recomendada a implantação de sistema agroflorestal (SAF), uma vez que estes sistemas podem recuperar e até incrementar a fertilidade dos solos (MENDONÇA; STOTT, 2003). Entre outras vantagens dos SAFs se encontram a capacidade de regular o ciclo hídrico (GIRALDO; JARAMILLO, 2004), aumentar a captura de dióxido de carbono e aumenta a biodiversidade local (PERFECTO et al., 2005).

A presença do componente arbóreo e da biodiversidade constituinte desses sistemas produtivos contribui significativamente no aporte de serrapilheira e nutrientes no solo. As árvores especialmente influenciam na quantidade e disponibilidade de nutrientes na zona de absorção radicular das culturas associadas, pois suas raízes profundas podem interceptar os nutrientes lixiviados acumulados no subsolo, geralmente distantes da zona de absorção radicular das culturas, e retorná-los a superfície na forma de serrapilheira (PENNEREIRO, 1999). No caso de sistemas agroflorestais, a biomassa que formará a serrapilheira é oriunda, além dos fatores genéticos e ambientais, sobretudo da poda direcionada das árvores e outras espécies.

No caso do SAF com a palma de óleo, além dos benefícios ecológicos há também os benefícios econômicos, onde o dendê pode ser comercializado ajudando na melhoria das condições socioeconômicas da região.

Um dos benefícios ecológicos do SAF com dendê é a produção contínua de serrapilheira, onde as folhas podadas ficam depositadas no local, segundo Law et al. (2009), em plantios de palma de óleo na Malásia, mostraram que variabilidade espacial do carbono orgânico no solo está associada ao manejo da cultura e a qualidade do material depositado.

Assim o estudo da ciclagem de nutrientes e minerais, via serapilheira, é fundamental para o conhecimento da estrutura e funcionamento de ecossistemas florestais. Parte do processo de retorno de matéria orgânica e de nutrientes para o solo florestal se dá através da produção de serapilheira, sendo esta considerada o meio mais importante de transferência de elementos essenciais da vegetação para o solo (VITTAL et al, 2004). Os ecossistemas florestais possuem um eficiente sistema de ciclagem de nutrientes, com altas taxas de ciclagem interna no sistema solo planta (DELITTI, 1995).

Além de representar um elo fundamental no fluxo de carbono entre o meio físico e o biótico, a serapilheira produzida pela vegetação confere ao ecossistema maior estabilidade, variando de acordo com o seu estágio sucessional. Em ecossistemas tropicais com componentes arbóreos, como os sistemas agroflorestais (SAFs), ocorre uma produção contínua de serapilheira no decorrer do ano (WERNECK et al., 2001), cuja quantidade total produzida nas diferentes épocas depende do tipo de sistema utilizado (LEITÃO-FILHO et al., 1993).

Assim o objetivo deste trabalho foi quantificar a deposição de serapilheira e estudar o estoque de carbono e nitrogênio em um SAF com composição de espécies diferentes em Tomé-Açu, PA, Amazônia Oriental.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 COLETA DE SERAPILHEIRA

Foram realizadas duas coletas de serapilheira uma no período chuvoso e a outra no período seco, nos locais conforme figura 1, com o auxílio de uma moldura quadrada com área interna de 0,5 m x 0,5 m, em cinco locais diferentes em cada parcela (Figura 2A), Todo o material contido dentro da grade foi coletado, separado nas frações não lenhosa (folhas, material reprodutivo, miscelânea, ráquis e gramínea) e lenhosa, secadas individualmente a 65°C por 72 horas e pesadas em balança digital com precisão de 0,01 g para obtenção da massa seca, depois é moído e pesado 0,1g do material para análise de C total por combustão via seca, em aparelho analisador elementar da marca LECO, modelo CNS 2000.

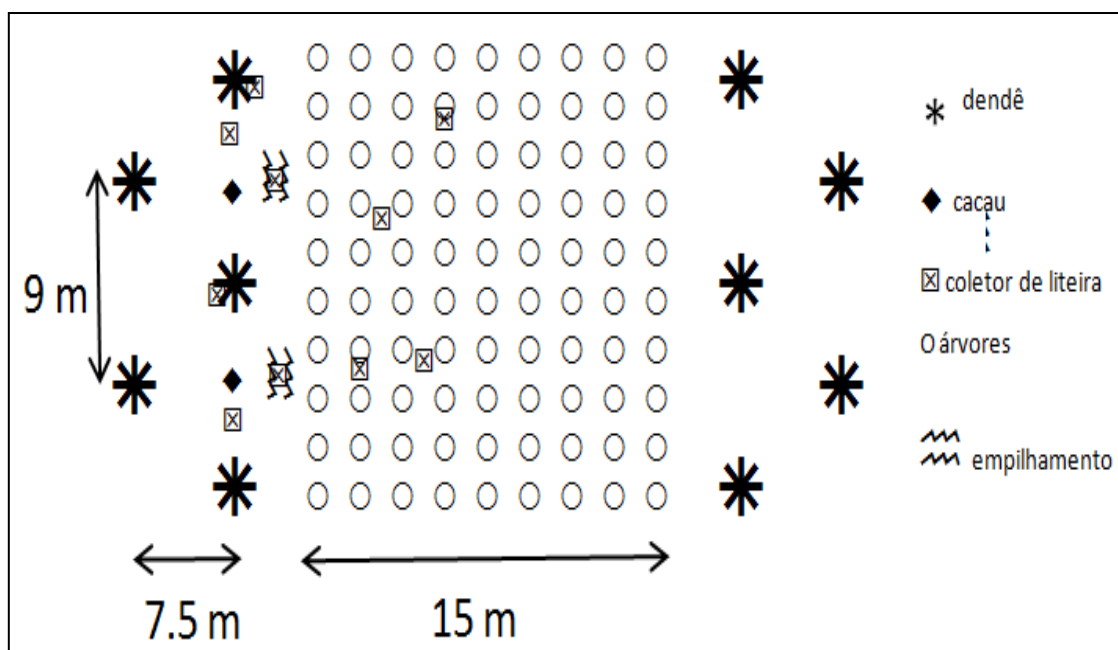


Figura 1. Croqui de coleta da serapilheira

Para avaliar a produção de serapilheira (litterfall), foi instalado um coletor próximo a cada câmara dentro das parcelas que foram delimitadas de 30x30m, totalizando 20 coletores, 5 por parcela. Tais coletores foram construídos com arame galvanizado de bitola 12, com área de coleta de 1 m x 1 m, fundo em tela de nylon (malha de 1 x 1 mm) e instalados 15 cm acima do solo (Figura 2B). O material depositado era coletado mensalmente, onde as folhas foram separadas por espécie. O material é individualmente a 65°C por 72 horas e pesadas em balança digital com precisão de 0,01 g para obtenção da massa seca.

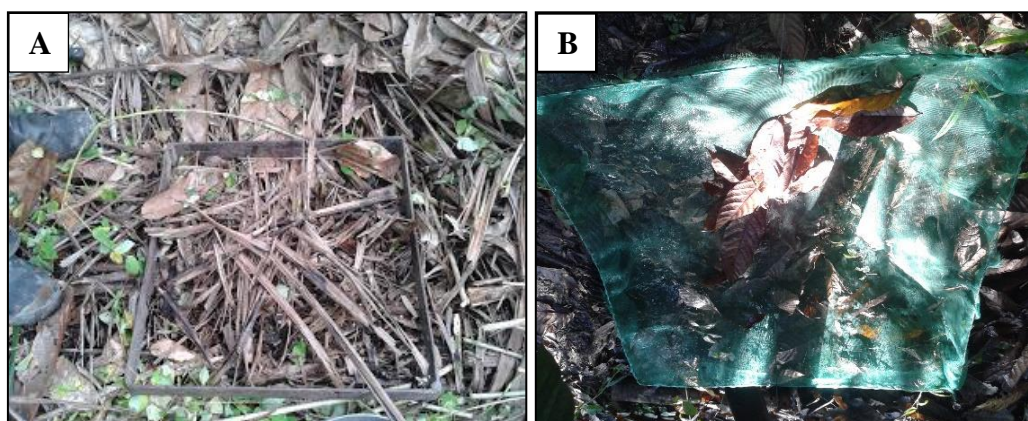


Figura 2. Moldura quadrada com área interna de 0,25 m² para coleta de serapilheira (A). Coletor de litterfall, com área interna de 1m² (B)

3 RESULTADOS

3.1 ESTOQUE DE C NA SERRAPILHEIRA

O estoque de carbono no solo não apresentou diferença significativa entre locais, nem em relação ao tempo (Figura 3).

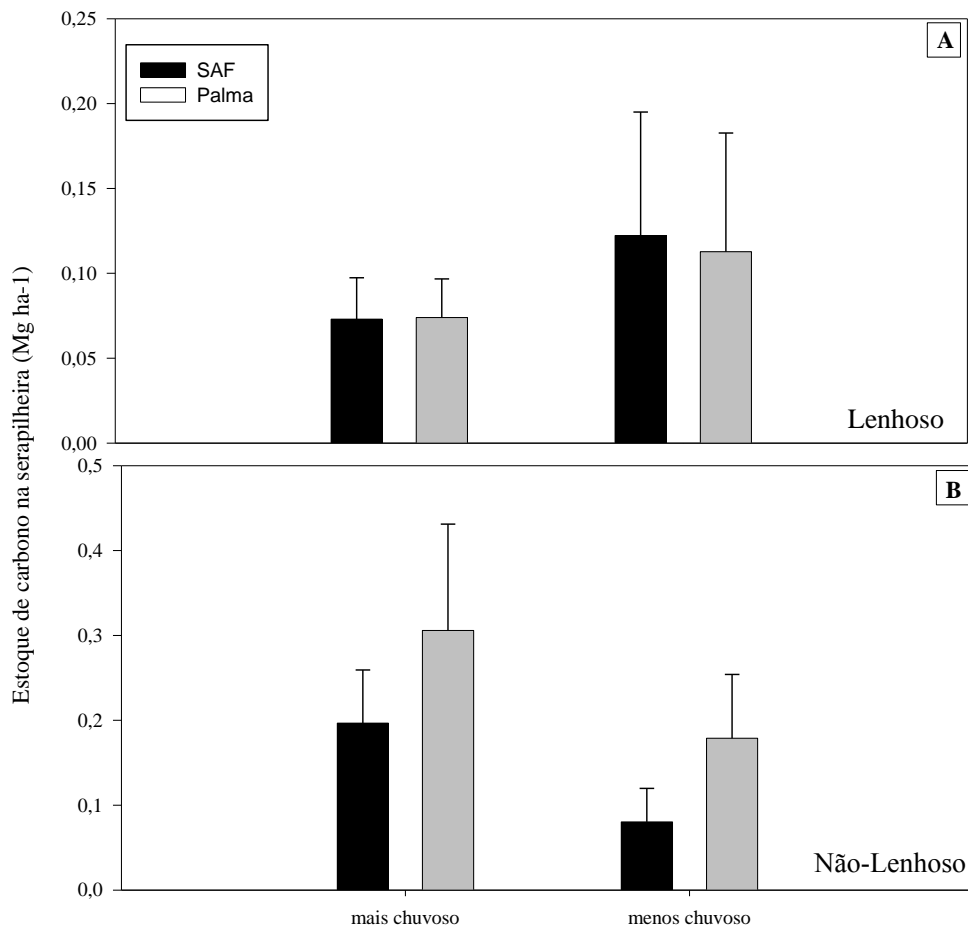


Figura 3. Estoque de serapilheira no solo das frações lenhosa (A) e não lenhosa (B), em um sistema agroflorestal em Tomé-Açu, Pará

3.2 DEPOSIÇÃO DE MATERIAL FORMADOR DE SERRAPILHEIRA (LITTERFALL)

A produção mensal de serrapilheira das frações lenhosa e não-lenhosa apresentou uma distribuição diferenciada ao longo do ano, apresentou diferenças significativas ao longo dos meses, a estação seca foi a que apresentou maiores médias (Figura 4).

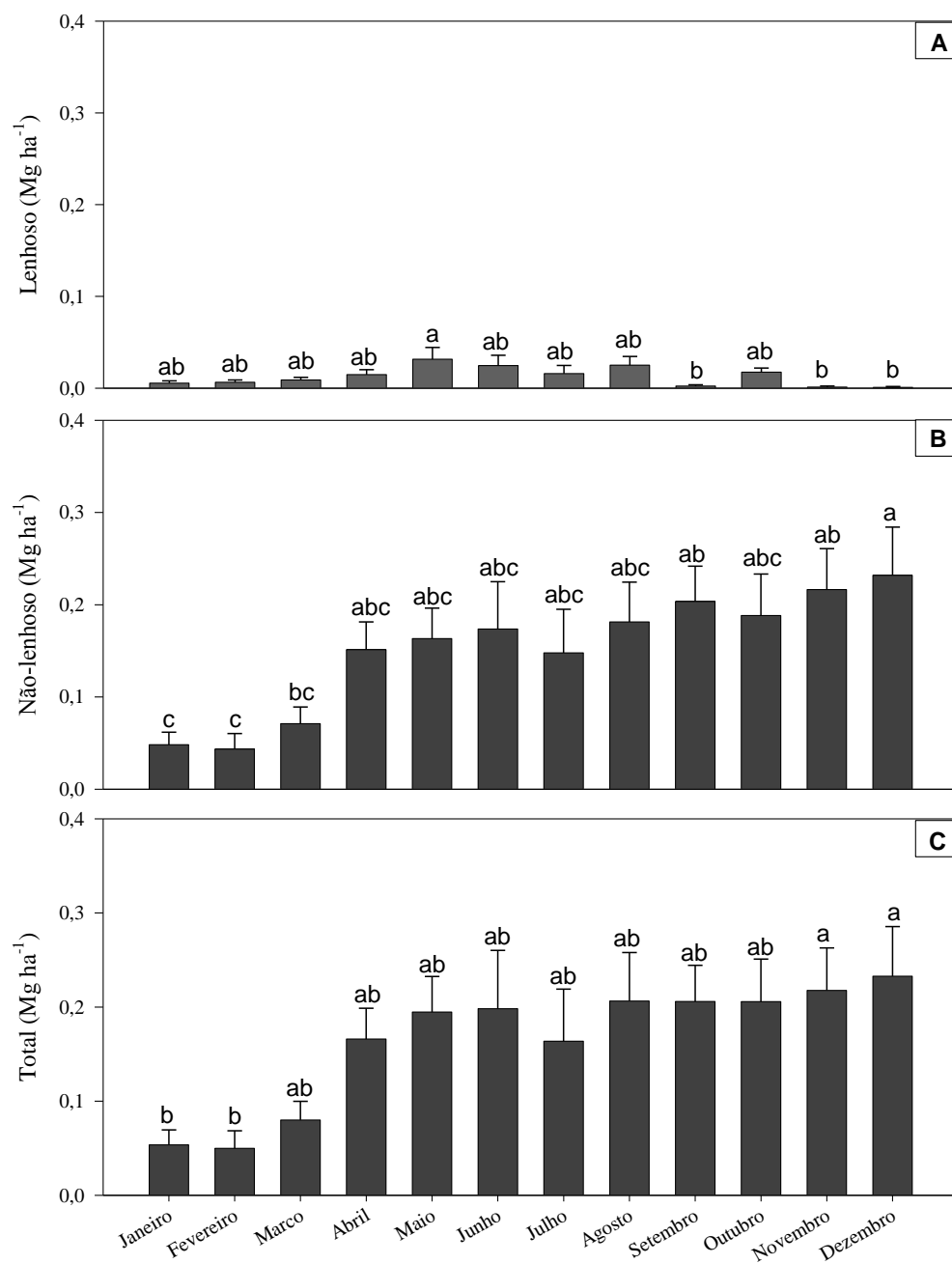


Figura 4. Deposição anual de serrapilheira (litterfall) nas frações lenhosa (A), não lenhosa (B) e total (C) de serrapilheira em sistemas agroflorestais

4 DISCUSSÃO

O carbono estocado na serrapilheira não apresentou diferenças porém, o material não lenhoso durante o período chuvoso, obteve maiores valores em relação ao lenhoso, a componente palma apresentou maiores médias, podendo ser explicado pela deposição do material da poda do dendê, onde as folhas são colocadas nas linhas das plantas, e lá ficam estocadas até total decomposição, e antes que sejam totalmente decompostas há uma nova deposição, ou seja a ciclagem de nutrientes nesse local de coleta é mais intensa.

A adição de coberturas ao solo pode aumentar consideravelmente a infiltração e reduzir a evapotranspiração e a perda de matéria orgânica do solo, além de estimular as comunidades microbianas, ou seja, as coberturas são uma fonte de carbono e energia ao habitat (WARDLE, 1995).

Os resultados do presente estudo, podem ser comprados aos Brancher (2010), também em um sistema agroflorestal, onde encontrou valores semelhantes de estoque de carbono na serrapilheira, porém os valores encontrados por Tapia-Coral (2005) em SAFs apresentou maiores valores que os da presente pesquisa, confirmando a tese de que a serrapilheira é variável de acordo com o sistema e as espécies utilizadas (DELITTI, 1989).

Os valores de serapilheira acumulada nas áreas de estudo é um indicativo de que a vegetação está aumentando em complexidade e consequente boa ciclagem de nutrientes. A serapilheira acumulada numa floresta provém do balanço entre a queda de folhas e a taxa de decomposição (GAMA RODRIGUES et al., 2008). Souza (2013), em sistema agroflorestal, encontrou maior contribuição na fração não lenhosa assim como no presente trabalho.

Embora o sistema aqui estudado, apresente valores mais baixos quanto ao estoque de carbono, que aos valores encontrados por Louzada et al. (2005) onde encontraram para uma área de floresta Atlântica em Angra dos Reis (RJ) valores de deposição de serapilheira de 8,3 Mg.ha⁻¹. Em florestas do bioma Mata atlântica, na Serra do Imbé, RJ, a quantidade de serapilheira estimada foi de 9,2 Mg.ha⁻¹ (MAZUREC, 1998). Esses estudos resultam em dados que evidenciam o potencial das florestas em armazenar na serapilheira, e sua conservação é relevante tanto em termos econômicos e ambientais (PAIXÃO et al., 2006), em especial pelo importante papel da mesma na conservação do solo e da água (FEARNSIDE, 2000).

Vários fatores afetam a quantidade de resíduos que caem da parte aérea das plantas e irão formar a serrapilheira. Entre elas podem se destacar o clima, o solo, e as características genéticas das plantas. Das variáveis climáticas a precipitação e a temperatura são as que mais exercem influência (GONZALEZ; GALLARDO, 1982).

Dentre as frações da serrapilheira, a que mais contribuiu para a produção total foi o material não-lenhoso (incluindo folhas, material reprodutivo e miscelânea), os valores percentuais de contribuição da fração não-lenhosa em relação à serrapilheira total registrado neste estudo foi menor que ao encontrado por Luizão & Schubart (1987), Oliveira (1997) e Martins e Rodrigues (1999). Essa variação pode ser explicada pelo fato do sistema estudado ainda ser jovem uma vez que, o aumento da produção está relacionado com o aumento da idade do ecossistema até que atinja a maturidade ou clímax.

A capacidade de produção de resíduos da parte aérea de cada espécie e outro fator importante, podendo variar principalmente em função das características genéticas da planta, de sua fase de desenvolvimento e das condições ambientais, além da prática de manejo que também afeta o fluxo de matéria orgânica e nutrientes através do litterfall (GONZALEZ; GALLARDO, 1982).

Muito provavelmente a elevação da temperatura do ar e a redução da disponibilidade de água no solo durante a estação seca (BALIEIRO, 2002) acarretaram um estresse hídrico às espécies, que, em resposta, diminuíram sua superfície de transpiração, via queda de folhas, explicando assim o aumento da produção no período menos chuvoso. Os SAFs, apresentam produção contínua de material formador de serrapilheira no decorrer do ano, cuja quantidade produzida nas diferentes épocas depende do tipo de vegetação considerada e do sistema utilizado (LEITÃO FILHO et al., 1993) e das variações climáticas.

Souza (2013) também em SAFs, encontrou a maior produção no período seco, assim como encontrado por Luizão & Schubart (1987), Oliveira (1997) e Martins e Rodrigues (1999). A decomposição dessa camada possibilita que parte do carbono incorporado na biomassa pela fotossíntese retome a atmosfera como CO₂ e os outros elementos absorvidos passem para uma forma novamente utilizável pelas plantas.

As Frações de serrapilheira no presente estudo sofreram influencia levando em consideração os locais de coleta, pois nos locais de influência da palma há uma perda de material, além disso, infere-se que em ambientes de material diversificado a liteira fina possui uma taxa de decomposição mais rápida sobre o solo, onde segundo (LUIZÃO,

2007), este material tem papel importante na cobertura do solo, pela sua rápida renovação, auxiliando efetivamente na ciclagem de nutrientes e consequente qualidade do solo.

5 CONCLUSÃO

O estoque de carbono da serrapilheira ainda não atingiu valores semelhantes às de uma floresta, no entanto apresenta potencial de atender a demanda por carbono, uma vez que apresenta uma produção contínua de serrapilheira.

O estoque e produção de serrapilheira, no geral, apresentaram padrões sazonais aportando maior quantidade de material no período seco que no período chuvoso. Maiores quantidades de material estocado e produzido foram provenientes da linha do SAF sugerindo que tem alto potencial de ser fonte de nutriente.

6 REFERÊNCIAS

ASSIS-Júnior SL, Zanuncio JC, Kasuya MCM, Couto L, Melido RCN. Atividade microbiana do solo em sistemas agroflorestais, monoculturas, mata natural e área desmatada. **Revista Árvore**, 27: 35-41. 2003.

BALIEIRO, F.C.; FRANCO, A.A.; FONTES, R.L.F.; DIAS, L.E.; CAMPELLO, E.F.C. Accumulation and distribution of aboveground biomass and nutrients under pure and mixed stands of *Pseudosamanea guachapele* Dugand and *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. **Journal of Plant Nutrition**, v.25, p.2639-2654. 2002.

BRANCHER, T. **Estoque e ciclagem de carbono de sistemas agroflorestais em Tomé Açu, Amazônia Oriental**. 2010. 55p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais)-Universidade Federal do Pará, 2010.

DELITTI, W.B.C. Estudo de ciclagem de nutrientes: instrumentos para análise funcional de ecossistemas terrestres In: Esteves, F.A. (Ed). **Oecologia Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v.1, p. 469-486. 1995.

DELLITI, W.B.C. Ciclagem de nutrientes minerais em matas ciliares. In: **Simpósio sobre Mata Ciliar**, 1989, São Paulo. p. 88-98. São Paulo: Fundação Cargil, Secretaria de Meio Ambiente, Instituto de Botânica. 1989.

FEARNSIDE, P. M. Uncertainty in land-use change and forestry sector mitigation options for global warming: Plantation silviculture versus avoided deforestation. **Biomass and Bioenergy**, v.18, n.6, p.457-468, 2000.

GAMA-RODRIGUES, A. C.; GAMA-RODRIGUES, E.; BARROS, N. F. Balanço de carbono e nutrientes em plantio puro e misto de espécies florestais nativas no sudeste da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.1165-1179, 2008.

GIRALDO, J.; JARAMILLO, R. Ciclo hodrilógico y transporte de nutrimentos em cafetales bajo diferentes densidades de sombrio de guamo. **Cenicafé**, v.55, n.1, p.52-68, 2004.

IRALDO, J.; JARAMILLO, R. Ciclo hodrilógico y transporte de nutrimentos en cafetales bajo diferentes densidades de sombrio de guamo. **Cenicafé**, v.55, n.1, p.52-68, 2004.

KÖPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**. México: [s.n.], 1948. 479 p.

MENDONÇA, E. S.; STOTT, D. E. Characteristics and decomposition rates of pruning residues from a shaded coffee system in Southeastern Brazil. **Agroforestry Systems**, v.57, n.2, p.117-125, 2003.

LEITÃO FILHO, H.F.; PAGANO, S.N.; CESAR, O.; TIMONI, J.L.; RUEDA, J.J. 1993. **Ecologia da mata atlântica em Cubatão**, SP. EDUNESP/EDUNICAMP, São Paulo. 86pp. 1998.

LOUZADA, M. S. P.; QUINTELA, M. F. S.; PENHA, L. P. S. Estudo comparativo da produção de serrapilheira em áreas de mata atlântica: a floresta secundária “antiga” e uma floresta secundária (Capoeira). **Oecologica Brasiliensis**, v.1, p. 61, 1995.

LUIZÃO, F. J.; SCHUBART, H. O. R. Litter production and decomposition in a terra-firme forest of Central Amazonia. **Experientia**, v. 43, n. 3, p. 259 – 64. 1987.

LUIZÃO, F. J.; TAPIA-CORAL, S.; GALLARDO-ORDINOLA, J.; SILVA, G. C.; LUIZÃO, R. C. C.; TRUJILLO-CABRERA, L.; WANDELLI, E.; FERNANDES, E. C. M. Ciclos biogeoquímicos em agroflorestas na Amazônia. In: CBSAF. VI. 2006. **Anais...** Campos dos Goytacazes:UENF, p.87-100. 2007.

MARTINS, S.V.; RODRIGUES, R.R. Produção de serrapilheira em clareiras de uma floresta estacional semidecidual no Município de Campinas, SP. **Revista Brasileira de Botânica**, 22 (3): 405-412. 1999.

MAZUREC, A. P. **Produção, aporte de nutrientes e decomposição da serrapilheira em Mata Atlântica de encosta em duas altitudes, na Serra do Imbé, Norte Fluminense.** 1998, 90f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual do Norte Fluminense. 1998.

OLIVEIRA, R.E. **Aspectos da dinâmica de um fragmento florestal em Piracicaba-SP: silvigênese e ciclagem de nutrientes.** Dissertação de Mestrado. ESALQ/USP, Piracicaba, São Paulo. 85pp. 1997.

PENEIREIRO, F.M. **Sistemas agroflorestais dirigidos pela sucessão natural: um estudo de caso.** 138f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade de São Paulo, ESALQ, Piracicaba, 1999.

PAIXÃO, F. A.; SOARES, C. P. B.; JACOVINE, L. A. G.; SILVA, M. L.; LEITE, H. G.; SILVA, G. F. Quantificação do estoque de carbono e avaliação econômica de diferentes alternativas de manejo em um plantio de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v.30, n.3, p.411-420, 2006.

PERFECTO, I. et al. Biodiversity, yield and shade coffee certification. **Ecological Economics**, v.54, n.4, p.435-446, 2005.

TAPIA-CORAL, S. C., LUIZÃO, F., WANDELLI, E., FERNANDES, E. C. M. Carbon and nutrient stocks of the litter layer in Central Amazonian agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, 65:33-42. 2005.

VITAL, A. R. T.; GUERRINI, I.A.; FRANKEN, W. K.; FONSECA, R.C.B. Produção de serrapilheira e ciclagem de nutrientes de uma floresta estacional semidecidual em zona riparida. **Revista Árvore**, v.28, n.6, p.793-800, 2004.

WERNECK, M.S.; PEDRALLI, G.; GIESEKE, L.F. Produção de serrapilheira em três trechos de uma floresta semidecídua com diferentes graus de perturbação na Estação Ecológica do Tripuí, Ouro Preto. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 24, n. 2, p.1

WARDLE, D.A. Impacts of disturbance on detritus food webs in agro-ecosystems of contrasting tillage and weed management practices. **Advances in ecology research.** New York, v26.p.105-182,1995.