



Carolina Melo da Silva

Variação temporal do efluxo de dióxido de carbono (CO₂) do solo
em sistemas agroflorestais com palma de óleo (*Elaeis guineensis*) na
Amazônia Oriental

Belém-PA
Janeiro – 2014

Carolina Melo da Silva

Variação temporal do efluxo de dióxido de carbono (CO₂) do solo
em sistemas agroflorestais com palma de óleo (*Elaeis guineensis*) na
Amazônia Oriental

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em convênio com o Museu Paraense Emílio Goeldi e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária da Amazônia Oriental, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Linha de Pesquisa: Ecossistemas Amazônicos e Dinâmica sócio-ambiental.

Belém-PA
Janeiro – 2014

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

S586d Silva, Carolina Melo da

Dinâmica sazonal e espacial do efluxo de CO₂ do solo em sistemas agroflorestais com palma de óleo (*Elaeis guineensis*) na Amazônia Oriental / Carolina Melo da Silva - 2013.

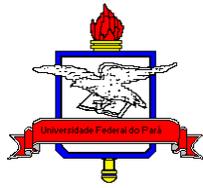
61 f.: il.; 30cm.

Orientador: Steel Silva Vasconcelos

Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emilio Goeldi e EMBRAPA, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Belém, 2013.

1. Aquecimento global - Amazônia. 2. Efeito estufa (Atmosfera). 3. Solos - Umidade do solo. I. Título.

CDD 22. ed.: 577.27609811



Carolina Melo da Silva

Variação temporal do efluxo de dióxido de carbono (CO₂) do solo
em sistemas agroflorestais com palma de óleo (*Elaeis guineensis*) na
Amazônia Oriental

Belém-PA
Janeiro – 2014
Carolina Melo da Silva

Carolina Melo da Silva

Variação temporal do efluxo de dióxido de carbono (CO₂) do solo
em sistemas agroflorestais com palma de óleo (*Elaeis guineensis*)
na Amazônia Oriental

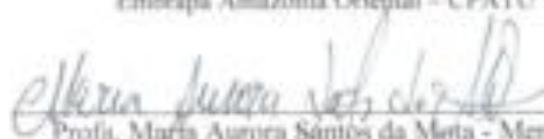
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em convênio com o Museu Paraense Emílio Goeldi e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária da Amazônia Oriental, como requisito para obtenção do título de mestre em Ciências Ambientais.

Data de Aprovação: 20 / 09 / 2013

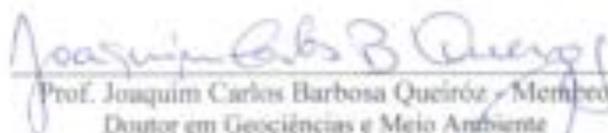
Banca Examinadora:



Prof. Steel Silva Vasconcelos – Orientador
Doutor em Recursos e Conservação Florestal
Empresa Amazônia Oriental – CPATU



Prof. Maria Aurora Santos da Mota - Membro
Doutora em Meteorologia
Universidade Federal do Pará - UFPA



Prof. Joaquim Carlos Barbosa Queiróz - Membro
Doutor em Geociências e Meio Ambiente
Universidade Federal do Pará - UFPA



Prof. Francisco de Assis Oliveira- Membro
Doutor em Geologia e Geoquímica
Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA

Dedico,
À Deus,
À meu amado marido, Alberto Jr., e a minha filha, Alice, por fazerem meus dias mais felizes.
À meus país, Jilca e Jorge, pelo amor e educação que me deram e dão até hoje.
À meus irmãos, Carina, Alexandre e Danilo.
À toda a minha família, tios e tias, avós e avôs, sempre presentes em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço,

A Deus, pela vida e por guiar minha caminhada.

A meu orientador, Dr. Steel Silva Vasconcelos, pela paciência e dedicação para que o trabalho fosse desenvolvido e concluído.

Aos financiadores dos meus estudos Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Natura Inovação e Tecnologia de Produtos Ltda, Cooperativa Mista de Tomé-Açu (CAMTA) e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

Aos empregados (Neuza Ferreira e Ivanildo Trindade) e bolsistas (Luana Nascimento e Elizabeth Dias) do Laboratório de Ecofisiologia Vegetal da Embrapa Amazônia Oriental, que contribuíram muito para a condução do trabalho no laboratório.

A incansável equipe (Cleo Marcelo Araújo, Everson Rocha, Elaine Rodrigues e Lenita) que trabalhou comigo no campo, nas viagens à Tomé-Açu, meus sinceros agradecimentos.

A meus pais por me conduzirem até aqui e desde cedo me incentivarem a estudar. Sem o apoio incondicional deles eu não teria chegado tão longe.

A meu marido, Alberto Junior, pelo apoio, por me incentivar a estudar, por estar sempre ao meu lado e principalmente, por acreditar em mim, até mais do que eu mesmo acredito.

À minha irmã Carina Melo e à minha tia Neilce Santos, por estarem sempre prontas para me ajudar e por me apoiarem na condução desse trabalho.

A todos aqueles que de alguma maneira contribuíram para que este trabalho se tornasse realidade.

RESUMO

A região amazônica tem sido submetida a contínuo desflorestamento e expansão do uso da terra, para a implantação de atividades como pecuária, exploração madeireira, agricultura, mineração e urbanização. A queima e a decomposição da biomassa da floresta liberam gases que contribuem para o efeito estufa, como o dióxido de carbono (CO₂). Nesse contexto, surge o interesse em avaliar a dinâmica do efluxo de CO₂ do solo na Amazônia, em especial em sistemas agroflorestais de palma de óleo (*Elaeis guineensis*), visto o destaque da produção dessa cultura no estado do Pará, que teve uma razoável expansão, transformando o estado do Pará em um dos maiores plantadores e produtores do país. Este trabalho teve como objetivo investigar a dinâmica do efluxo de CO₂ do solo em sistemas agroflorestais onde a palma de óleo é a cultura principal, na escala temporal e os fatores bióticos e abióticos que influenciam diretamente neste processo. Foram quantificados os fatores bióticos: carbono da biomassa microbiana do solo, carbono total do solo, respiração microbiana do solo, raízes finas do solo e zona de influência das espécies; e os fatores abióticos: umidade e temperatura do solo, em dois sistemas agroflorestais de cultivo de palma de óleo, o sistema adubadeiras e o sistema biodiverso. As medições foram feitas nos períodos seco e no chuvoso. Os resultados mostraram que o maior efluxo de CO₂ do solo ocorreu no período chuvoso, provavelmente devido à maior atividade microbiana nesse período influenciada por fatores climáticos aliados a fatores bióticos. O sistema biodiverso apresentou maior efluxo de CO₂ do solo do que o sistema adubadeiras, provavelmente devido à maior atividade biológica no solo nesse sistema. O efluxo de CO₂ do solo não mostrou correlação forte com as variáveis testadas. Pôde-se concluir que o efluxo de CO₂ do solo sofreu influência apenas da sazonalidade climática. O fato da área de plantio ser muito jovem pode ser um fator determinante para que não tenha sido encontrada relação mais forte da respiração do solo com as variáveis analisadas.

Palavras-chave: Aquecimento global. Biomassa microbiana do solo. Umidade do solo e temperatura do solo. Pará.

ABSTRACT

The Amazon region has been subjected to continuous deforestation and expansion of land use for the implementation of activities such as cattle ranching, logging, agriculture, mining and urbanization. The burning and decomposition of forest biomass releases gases that contribute to global warming, such as carbon dioxide (CO₂). In this context, there is interest in assessing the dynamics of soil CO₂ efflux in the Amazon, especially in oil palm (*Elaeis guineensis*) agroforestry systems, due to the current large expansion of this crop in the state of Pará, which has become one of the largest producers of the country. This study aimed to investigate the dynamics of soil CO₂ efflux in palm oil cultivation in agroforestry systems in the Amazon considering temporal and biotic and abiotic factors that directly influence this process. We quantified biotic factors: microbial biomass, total soil carbon, soil basal respiration, fine root and soil zone of influence of planted species, and abiotic factors: moisture and soil temperature, in two oil palm-based agroforestry systems (*adubadeiras* and *biodiverso* systems), during the dry and rainy periods. The results showed that the highest soil CO₂ efflux occurred during the rainy season, probably due to increased microbial activity during this period influenced by climatic factors coupled with biotic factors. The *biodiverso* system showed higher soil efflux than the *fertilizer adubadeiras* system, probably due to increase biological activity in former system. The soil CO₂ efflux showed no strong correlation with the tested variables. It was concluded that the soil CO₂ efflux was influenced by rainfall seasonality only. The fact that the systems were be too young (~3 yr-old) may represent the main factor for a lack of stronger relationship of soil CO₂ efflux and the variables analyzed.

Keywords: Global warming. Soil microbial biomass. Soil moisture. Soil temperature. Pará.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Croqui do arranjo das espécies no Sistema Adubadeiras (A) e do Sistema Biodiverso(B).....	30
Figura 2 -	Círculos representam a zona de influência das espécies perenes e anuais nos tratamentos Adubadeiras (A) e Biodiverso (B).....	32
Figura 3 -	Pontos de coleta de amostra de solo, na área circunscrita (A) e ao redor do anel (B).....	33
Figura 4 -	Precipitação pluviométrica acumulada (A) e diária (B) na área de estudo....	34
Figura 5 -	Efluxo de CO ₂ do solo (A), densidade de raízes finas (B), carbono da biomassa microbiana (C) e coeficiente metabólico (D), nos sistemas adubadeiras e biodiverso (média ± erro padrão) nos períodos menos chuvoso (MENOS CHU) e chuvoso (CHU).....	40
Figura 6 -	Temperatura do solo (A), umidade do solo (B), respiração microbiana (C) e estoque de carbono do solo (D), nos sistemas adubadeiras e biodiverso (média ± erro padrão), nos períodos menos chuvoso (MENOS CHU) e chuvoso (CHU).....	41
Figura 7 -	Efluxo de CO ₂ (A) e coeficiente metabólico (B) do solo nos sistemas adubadeiras (ADU) e biodiverso (BIO).....	44
Figura 8 -	Respiração microbiana do solo (A), temperatura do solo (B) e carbono da biomassa (C) em função da zona de influência de espécies anuais (ANU), perenes (PER), anuais+perenes (ANU+PER) e sem influência das espécies (SI), (média ± erro padrão).....	44
Figura 9 -	Croqui do sistema Adubadeiras (A), distribuição espacial do efluxo de CO ₂ do solo (g CO ₂ m ⁻² h ⁻¹) nos sistemas adubadeiras nos período seco (B) e chuvoso (C). Croqui do sistema Biodiverso (D) e distribuição espacial do efluxo de CO ₂ no sistema nos períodos seco (E) e chuvoso (F).....	45

Figura 10 -	Diagrama das correlações entre as variáveis nos períodos seco e chuvoso nos sistemas adubadeiras e biodiverso.....	51
-------------	--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Valores de teste F e índices descritivos (valor P).....	38
Tabela 2 -	Coeficiente de variação das variáveis analisadas (CV %)......	43
Tabela 3 -	Correlação de Pearson entre as variáveis analisadas (Índice de significância, $p < 0,05$) nos dois períodos avaliados.....	53

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	HIPÓTESES.....	17
3	OBJETIVOS.....	18
4	REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
4.1	Amazônia.....	19
4.2	Mudanças climáticas - efeito estufa.....	20
4.3	Solo e clima- efluxo de CO₂ do solo.....	22
4.4	Palma de óleo como componente de SAFS na Amazônia.....	25
5	MATERIAL E MÉTODOS.....	29
5.1	Área de estudo.....	29
5.2	Experimento.....	31
5.3	Efluxo de CO₂ do solo.....	33
5.4	Coleta de amostras de solo.....	34
5.5	Umidade do solo.....	34
5.6	Determinação da respiração microbiana do solo.....	36
5.7	Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo	36
5.8	Determinação do quociente metabólico.....	37
5.9	Determinação da concentração de carbono.....	37
5.10	Análise estatística.....	37
6	RESULTADOS.....	40
6.1	Variação sazonal.....	40
6.3	Análise de correlação.....	53
7	DISCUSSÃO.....	55
7.1	Efluxo de CO₂ do solo.....	55
7.2	Outras variáveis analisadas.....	52
7.3	Correlação entre efluxo de co₂ do solo e fatores bióticos e abióticos.....	55
8	CONCLUSÕES.....	57
	REFERÊNCIAS.....	58

1 INTRODUÇÃO

A Amazônia é um dos mais importantes biomas do planeta, devido à extensão de suas florestas tropicais úmidas e à sua biodiversidade (KRUSCHE et al., 2005). A bacia amazônica tem sido submetida a contínuo desflorestamento e expansão do uso da terra, para a implantação de atividades como pecuária, exploração madeireira, agricultura, mineração e urbanização (ASNER et al., 2004).

O desmatamento da floresta amazônica representa a perda de um possível sumidouro de carbono (FEARNSIDE, 2003). O carbono originalmente armazenado nas florestas é liberado para atmosfera, tanto imediatamente se as árvores são queimadas ou mais lentamente à medida que se decompõe a matéria orgânica queimada (HOUGHTON, 2005). Estima-se que o desmatamento da Amazônia provoque o aumento da temperatura próximo à superfície das áreas desmatadas em 1 a 3 °C, a diminuição da evapotranspiração em 20 a 40% e a diminuição da precipitação em 20 a 30% (NOBRE et al. 1991). A queima e a decomposição da biomassa da floresta liberam gases que contribuem para o efeito estufa, como o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) (FEARNSIDE, 2007).

Os solos tropicais, em especial os amazônicos, têm a matéria orgânica do solo (MOS) como um dos principais componentes responsáveis pela manutenção da sua qualidade e fertilidade (MARTINS; CORINGA; WEBER, 2009). A manutenção da produtividade desses solos depende, em grande parte, do processo de transformação da matéria orgânica e, conseqüentemente, da participação da biomassa microbiana do solo (NEVES et al. 2009). Com a remoção da vegetação nativa para a implantação de sistemas de produção agropecuários, tem sido observada redução na quantidade de MOS desses solos (MARTINS; CORINGA; WEBER, op. cit).

O manejo inadequado do solo pode levar a um rápido declínio dos estoques de carbono, colaborando para o aumento das emissões de CO₂ à atmosfera (LAL, 1999). A produção de CO₂ no solo origina-se da respiração das raízes e da respiração microbiana na rizosfera e no solo (BUCHMANN, 2000). Os solos tropicais, que geralmente apresentam umidade e temperatura elevadas, oferecem condições bastante propícias para a produção de CO₂, pois favorecem a decomposição da matéria orgânica, a respiração das raízes e a respiração microbiana, aumentando a emissão de CO₂ do solo para a atmosfera (DIAS, 2006a). A capacidade do solo de produzir CO₂ varia em função do tipo de solo, estação do ano, intensidade e qualidade das técnicas agrícolas utilizadas, quantidade de água do

solo, tipo de plantas cultivadas e quantidade de fertilizantes aplicados (MORARU; RUSU; SOPTEREAN, 2010).

O efluxo de CO₂ do solo, respiração do solo, corresponde ao principal fluxo de carbono do ecossistema para a atmosfera (RYAN; LAW, 2005). De acordo com Staaten et al. (2009) entender como os ecossistemas e, especialmente, a dinâmica do estoque de carbono responde as variáveis ambientais é importante, dado o potencial de retroalimentação da emissão de CO₂ para a atmosfera. Para isso, é preciso monitorar o efluxo de CO₂ do solo e as variáveis que influenciam este de forma direta como a umidade e temperatura do solo, além da matéria orgânica do solo, cuja decomposição servirá de substrato para este processo.

Além disso, a respiração do solo apresenta grandes variações no tempo e no espaço dentro de um ecossistema (ADACHI et al., 2009). Entender a variabilidade espacial da emissão de CO₂ do solo pode ajudar a conduzir a um manejo adequado e sustentável para conservar o carbono do solo e ajudar na redução do aquecimento global (BRITO et al., 2010).

Para se entender como ocorre a variação do efluxo de CO₂ do solo é preciso monitorar sua respiração e as variáveis que influenciam diretamente ou indiretamente nesse processo como umidade e temperatura do solo, matéria orgânica do solo e a sazonalidade climática. Além disso, é preciso investigar a zona de influência das espécies, área com raio de aproximadamente um metro ao redor de cada espécie, que compõem os sistemas sobre o efluxo de CO₂ do solo.

Nesse contexto surge o interesse em avaliar a dinâmica do efluxo de CO₂ do solo na Amazônia, em especial em cultivos de palma de óleo (*Elaeis guineensis*), visto o destaque da produção dessa cultura no estado do Pará. O agronegócio da palma de óleo no Pará teve uma razoável expansão, transformando este estado no maior plantador e produtor nacional (MÜLLER; FURLAN JUNIOR; CELESTINO FILHO, 2006).

O Brasil apresenta excepcionais condições para a expansão do cultivo da palma de óleo, notadamente na região Amazônica, que dispõe de condições edafoclimáticas muito favoráveis a esta palmeira (MÜLLER; FURLAN JUNIOR; CELESTINO FILHO, op.cit.). A maior parte das áreas de plantio está localizada no estado do Pará, responsável por cerca de 80% da produção nacional, e ainda há a necessidade de se aumentar a área plantada a fim de suprir as demandas internas do país (LOPES et al., 2008).

A produção de palma de óleo tem sido incentivada pelo governo federal por ser uma das matérias-primas disponíveis para a produção de combustíveis alternativos

derivados de óleos vegetais (TANOUE; PAULLILO; VIANA, 2007). Em dezembro de 2004, foi criado o Programa Nacional do Biodiesel, após anos de pesquisas relativas à produção e ao uso do biodiesel, com o objetivo de implementar de forma sustentável a produção de biodiesel, com enfoque na inclusão social e no desenvolvimento regional (MME, 2013). Em 2005 foi implementada a Lei nº 11.097 que estabeleceu a obrigatoriedade da adição de um percentual mínimo de biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor, em qualquer parte do território nacional (BRASIL, 2013).

A cultura da palma de óleo tem sido considerada como integrada com as demais atividades produtivas desenvolvidas pela agricultura familiar na Amazônia (MÜLLER; FURLAN JUNIOR; CELESTINO FILHO, 2006). A palma de óleo pode ser plantada em áreas degradadas, possibilitando um satisfatório recobrimento do solo quando adulta e na fase jovem pode ser associada a espécies leguminosas de cobertura de solo (SUFRAMA, 2003). A utilização das entrelinhas da palma de óleo para o cultivo de outras culturas tem sido testada há bastante tempo, como observado em Wernigerode e Andrade (1983) que avaliaram o cultivo de milho seguido de feijão-caupi nas entrelinhas de palma de óleo e concluíram que essa prática é altamente compensadora, resultando em retorno econômico mais cedo e boa produtividade.

O crescimento de árvores com cultivos agrícolas e pecuária, chamado de sistema agroflorestal, tem sido desenvolvido com o intuito de aumentar a produtividade agrícola (RIGHI; BERNARDES, 2008; SANCHEZ, 1995), promover a ciclagem de nutrientes e conservar o solo (ALBRECHT; KANDJI, 2003) e produzir alimentos e madeira (SANCHEZ, op.cit.). Os sistemas agroflorestais correspondem, assim, a uma forma de produção sustentável, pois contribuem para o bem-estar nutricional, social e econômico dos produtores rurais, assim como para a conservação dos recursos naturais (KATO et al. 2011).

A implantação de sistemas agroflorestais é uma das opções para lidar com problemas relacionados ao uso da terra e ao aquecimento global. Quando o manejo de árvores em terras e pastos cultivados é feita de forma adequada, uma fração significativa do carbono atmosférico pode ser capturado e armazenado na biomassa das plantas e no solo (ALBRECHT; KANDJI, op.cit.).

De acordo com Kato et al. (op.cit.) apesar dos benefícios ambientais potenciais dos sistemas agroflorestais, existem poucos estudos sobre o impacto destes nos recursos naturais, em especial na região amazônica. Nesse sentido, têm sido conduzidas diversas pesquisas na região amazônica em relação a implantação de sistemas agroflorestais em que

a palma de óleo é um dos constituintes do sistema. A partir de 2008, a empresa Natura, juntamente com a Embrapa Amazônia Oriental (CPATU) e a Cooperativa Agrícola Mista de Tomé-Açu (CAMTA), tem desenvolvido o projeto “Dendê: Sistemas Agroflorestais na Agricultura Familiar” com o objetivo de avaliar sistemas agroflorestais cuja espécie econômica principal é a palma de óleo.

Nesse contexto, surge o interesse em estudar o efluxo de CO₂ do solo em sistemas agroflorestais com palma de óleo na Amazônia e identificar quais são as variáveis que influenciam este nesta região. Sendo assim, quais são os fatores bióticos e abióticos que interferem no efluxo de CO₂ do solo? Como o efluxo de CO₂ do solo varia temporalmente? Este trabalho teve como objetivo investigar a dinâmica do efluxo de CO₂ do solo em dois sistemas agroflorestais com cultivos de palma de óleo, na escala temporal, e os fatores controladores do efluxo.

2 HIPÓTESES

- A variação temporal do efluxo de CO₂ do solo é determinada pela variação temporal de fatores bióticos (respiração microbiana, quociente metabólico, carbono da biomassa microbiana, estoque de raízes finas e carbono total do solo) e abióticos (umidade e temperatura do solo).
- A zona de influência das espécies interfere no efluxo de CO₂ do solo.

3 OBJETIVOS

Objetivo Geral

- Avaliar a relação entre variabilidade temporal do efluxo de CO₂ do solo e fatores bióticos e abióticos em cultivos de palma de óleo em sistemas agroflorestais.

Objetivos Específicos

- Quantificar o efluxo de CO₂ do solo em dois sistemas de cultivo de palma de óleo com alta e baixa diversidade de espécies.
- Analisar a relação entre a variabilidade temporal do efluxo de CO₂ do solo com fatores bióticos (carbono do solo, respiração microbiana do solo, coeficiente metabólico, raízes finas) e abióticos (temperatura e umidade do solo) em dois sistemas de cultivo de palma de óleo com alta e baixa diversidade de espécies.
- Analisar a relação entre a efluxo de CO₂ do solo e a influência das espécies em cada sistema de cultivo de palma de óleo (zona de influência das espécies).

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Amazônia

A região amazônica apresenta a maior cobertura de florestas tropicais do mundo (MMA, 2002), com quatro tipos de cobertura vegetal, ou seja, floresta densa, mata ou floresta aberta, cerrado e campos naturais (NASCIMENTO; HOMMA, 1982). A Amazônia apresenta várias características climáticas e meteorológicas em suas sub-regiões, com diferentes características de superfície e solos (DIAS, 2006B).

Em geral, o clima da Amazônia é quente e úmido, caracterizado por temperatura média anual de 26°C, temperatura máxima situada em torno de 32°C e mínima de 21°C, precipitação pluviométrica média anual em torno de 2300 mm; a umidade relativa do ar varia em torno de 71 a 91%, com média de 81% (NASCIMENTO; HOMMA, op.cit.). A Amazônia brasileira ocupa uma área de 5.144.333 km², dividindo-se em áreas de terra firme e inundável; a primeira corresponde a áreas fora do alcance de inundações periódicas e a segunda é sujeita a inundações (NASCIMENTO; HOMMA, op. cit.).

A região amazônica influencia diretamente o ciclo do carbono e o ciclo hidrológico (GALFORD et al., 2010). A manutenção da floresta contribui para a ciclagem de água, constituindo uma importante função ambiental da Amazônia para todo o Brasil e para os países vizinhos (FEARNSIDE, 2006). Esta região libera grande quantidade de água anualmente para a atmosfera, via evapotranspiração, e seus rios despejam cerca de 20% de toda a água doce que chega aos oceanos (MMA, 2002). Cerca de 10 trilhões de m³ de vapor d'água oriundos da evaporação de água do Oceano Atlântico chegam na Amazônia por meio de ventos fortes que sopram de leste a oeste (FEARNSIDE, op. cit.).

A paisagem amazônica está sendo transformada pelas mudanças climáticas e pelo rápido desenvolvimento econômico da região (GALFORD et al., op.cit.). O desenvolvimento e o crescimento de atividades econômicas na Amazônia, como a produção de soja, a pecuária e a extração madeireira têm impulsionado o desmatamento na região (NOBRE, 2009; DIAS, 2006b), que tende a se intensificar com constante construção de estradas na região (FEARNSIDE, 2006).

As mudanças na floresta amazônica oriundas do desmatamento afetam não só a biodiversidade das florestas tropicais, mas também os povos tradicionais e outros que

dependem das florestas como meio de sobrevivência (FEARNSIDE, 2008). De acordo com Martins et al. (2013) o desmatamento na Amazônia alcançou uma média de 1288 km² em dezembro de 2012.

A substituição da floresta amazônica por pastos, por exemplo, deve resultar em alterações no balanço de radiação da superfície (GASH et al., 1997). Sampaio et al. (2007) e Salazar, Nobre e Oyama, (2007) encontraram como impacto da conversão da floresta Amazônica em pastos e plantios de soja o aumento da temperatura da superfície e a diminuição da evapotranspiração e precipitação.

Desflorestamento resulta em aumento da temperatura da superfície e de radiação de onda longa (GASH et al., op. cit.). Assim, fica claro que o desmatamento tem conseqüências sobre o clima (FEARNSIDE, op. cit.). O desmatamento e a conversão em agricultura são considerados grandes preocupações ambientais da Amazônia e dos climas global e continental (DIAS et al., 2006b).

4.2 Mudanças climáticas - Efeito Estufa

Mudanças climáticas referem-se a qualquer mudança no clima que ocorre através do tempo devido à variabilidade natural ou ação humana (NOBRE, 2009). A maior preocupação mundial a respeito de mudança no clima corresponde ao aumento da quantidade de dióxido de carbono na atmosfera (FEARNSIDE, 1985).

É provável que a mudança climática tenha seus maiores impactos na floresta Amazônica por meio das suas interações com a variabilidade natural de clima (como o El Niño), exploração madeireira, fragmentação e incêndios (FEARNSIDE, op. cit.). O aquecimento/esfriamento das águas superficiais do Oceano Pacífico tropical central e oeste correspondem aos fenômenos El Niño/ La Niña (MARENGO, 2007). Esse aquecimento interfere no regime de ventos sobre toda a região equatorial do Pacífico, resultando em mudanças na posição do regime de chuvas no Pacífico, causando alterações climáticas em varias regiões continentais (MARENGO, op. cit.). No Brasil, os efeitos mais marcantes deste são o aumento da seca no nordeste e na Amazônia e o aumento da chuva no sul (MARENGO, op. cit.).

Cerca de metade da massa seca de uma árvore corresponde a carbono e o desmatamento pode liberar grande parte do estoque de carbono na forma de gases de efeito estufa, o dióxido de carbono (CO₂) e o metano (CH₄) (FEARNSIDE, 2008). São emitidos para a atmosfera cerca de 8 bilhões de toneladas de carbono na forma de CO₂, por meio de

atividades como queima de combustíveis fósseis e mudanças no uso da terra; destes, 3,2 bilhões permanecem na atmosfera provocando o aumento do efeito estufa e o restante é reabsorvido pelos oceanos e biota terrestre (NOBRE ; NOBRE, 2002).

O dióxido de carbono na atmosfera é parte natural do ciclo do carbono, mas com a elevação da concentração deste na atmosfera aumenta também a quantidade de radiação de onda longa capturada e mais calor é retido na superfície da terra (GUREVITCH; SCHEINER; GORDON, 2009). Efeito estufa corresponde ao aquecimento da superfície e da troposfera devido a reabsorção de radiação infravermelha por vários gases da atmosfera, principalmente pelo dióxido de carbono (NOBRE; NOBRE, op. cit.) e vapor d'água, gases que ocorrem naturalmente na atmosfera (GUREVITCH; SCHEINER; GORDON, op. cit.).

Os gases do efeito estufa são capazes de absorver a radiação infravermelha emitida pelo solo, determinando este processo natural, o efeito estufa, que é responsável por manter a temperatura do planeta em aproximadamente 15°C, permitindo o desenvolvimento das muitas formas de vida existentes (SANTOS et al., 2008). O metano, o óxido nitroso (N₂O), o ozônio (O₃) e os fluocarbonetos clorados (CFCs) também são importantes gases do efeito estufa, sendo que os três primeiros ocorrem naturalmente, e o homem tem elevado bastante suas concentrações na atmosfera (GUREVITCH; SCHEINER; GORDON, op. cit.). Essa contribuição antrópica causa o chamado efeito estufa antrópico, do qual uma das principais conseqüências é o aumento da temperatura média da Terra ou aquecimento global (SANTOS et al., op. cit. ; FEARNSIDE, 2006).

Um dos resultados do aquecimento da atmosfera é a mudança no regime de chuvas causado tanto pelo efeito estufa quanto pela redução da evapotranspiração (FEARNSIDE, op. cit.; COSTA; FOLEY, 2000). Devido ao aquecimento dos oceanos deve aumentar a quantidade de chuva, resultante da evaporação do Oceano Atlântico que precipita sobre o centro-sul do Brasil, e a chuva que depende da evapotranspiração da floresta amazônica devem diminuir (FEARNSIDE, 2008).

O aumento da temperatura mundial pode exigir que cada árvore use mais água para executar a mesma quantidade de fotossíntese (FEARNSIDE, 2006). As mudanças causadas tanto pelo aumento da temperatura quanto pelas mudanças no índice pluviométrico podem levar a redução de água no solo podendo desencadear a substituição do bioma atual por outro tipo de vegetação mais adaptado a menor disponibilidade de água no solo (SALAZAR; NOBRE; OYAMA, 2007).

Como conseqüência do aquecimento global Santos et al. (2008) citam a redução da biodiversidade, o aumento dos níveis dos mares devido a dilatação térmica e degelo das

calotas polares e o aumento de tempestades e secas (SANTOS et al., 2008). O uso de combustíveis fósseis e a expansão da agricultura em áreas de floresta pode levar a acumulação de dióxido de carbono na atmosfera nas próximas décadas levando ao aquecimento da terra em cerca de 1,5 a 4,5 °C (FEARNSIDE, 1985).

A mitigação das emissões de GEE envolve a identificação ou desenvolvimento de sistemas de produção agropecuária com potencial de retenção de CO₂ atmosférico na matéria orgânica do solo e redução das emissões de CH₄ e N₂O para atmosfera (SANTOS et al. op. cit.). Outra forma de mitigação das emissões de GEE é pelo recrescimento das florestas secundárias (FEARNSIDE, op. cit.). O esforço para conservar as florestas se torna mais importante, como forma de mitigação do efeito estufa, para ajudar a diminuir o acúmulo de dióxido de carbono na atmosfera (GLOBAL CARBON PROJECT, 2003).

4.3 - Solo e clima- Efluxo de CO₂ do solo

A respiração do solo corresponde à liberação para a atmosfera do carbono produzido pelas raízes das plantas, animais (AKINREMI; MCGINN; MCLEAN, 1998; CHAPIN III; MATSON; MOONEY, 2002) e pela decomposição da matéria orgânica por microorganismos do solo (PANOSSO et al., 2008). Há muito tempo a respiração do solo tem sido alvo de estudos; só a definição do termo respiração do solo, como evolução do gás carbônico da superfície do solo, já tem mais de oitenta anos (KUTSCH; BAHN; EHEINEMEYER, 2009).

A fonte dominante terrestre de dióxido de carbono é o solo (RAICH; POTTER; BHAGAWATI, 2002). Estima-se que em escala global a respiração do solo envia para a atmosfera 75 bilhões de toneladas de carbono por ano; essa emissão só é menor do que a realizada pelos oceanos (PANOSSO et. al., op. cit). As emissões de carbono do solo potencialmente excedem as emissões de combustíveis fósseis (FEARNSIDE, 2008).

A respiração realizada pelas raízes é chamada de autotrófica e a respiração realizada pelos animais e microorganismos do solo é chamada de heterotrófica (SOTTA et al., 2004). Entre os fatores que influenciam a respiração do solo podem-se citar a biomassa e atividades das plantas e microorganismos do solo (ADACHI et al., 2009), a disponibilidade de substrato de carbono para que a respiração ocorra (KUTSCH; BAHN; EHEINEMEYER, op. cit), a temperatura e a umidade do solo (SOTTA et al., op. cit.).

A transferência do dióxido de carbono do solo para a atmosfera também sofre influência do processo de difusão do dióxido de carbono do solo para a atmosfera, da

topografia do solo e da vegetação (VINCENT et al., 2006; FLANGAN; JOHNSON, 2005). A difusão do gás carbônico é controlada pelo gradiente de concentração de dióxido de carbono entre o solo e a atmosfera (PANOSSO et al., 2008).

Os fatores abióticos temperatura e conteúdo de água do solo têm sido freqüentemente identificados como fatores dominantes controlando o efluxo de CO₂ do solo (SOTTA et al., 2004.; DAVIDSON et al., 2000). Uma possível explicação para isso é que estes fatores são definidos como fatores primários influenciando diretamente na mineralização da matéria orgânica do solo (SOTTA et al., 2006).

A respiração do solo exhibe grande variabilidade espacial, que pode ser explicada por fatores bióticos e abióticos (VINCENT et al., op. cit.). No caso específico da Amazônia, como ocorre pouca flutuação na temperatura entre os anos e durante o ano, espera-se que mudanças no conteúdo de água do solo sejam o principal controlador da variação sazonal do efluxo de CO₂ do solo (SOTTA et al., op. cit.).

As mudanças sazonais na temperatura do ar e do solo, como resultado da precipitação pluviométrica, modificam os processos microbianos e a intensidade destes, alterando as emissões de CO₂, independentemente do sistema de manejo do solo adotado (SANTOS et al., 2008). No entanto, as mudanças ou aumento na taxa de respiração do solo também podem ocorrer sem o aumento da temperatura do solo (SUWA et al., 2004). Apesar de ainda não ser bem compreendida, poucos estudos abordam a interação entre emissão de CO₂ pelo solo, temperatura e umidade do solo na Amazônia.

As práticas de manejo do solo influenciam as variáveis controladoras do estoque e da emissão de carbono dos solos agrícolas (SANTOS et al., op. cit.). Quando se substituem florestas por pastagens e culturas agrícolas, as interações físicas e químicas entre o solo, a vegetação e o clima são modificadas (PINTO-JUNIOR, 2009). A aração e a gradagem, por exemplo, são práticas agrícolas que estimulam a ação microbiana pelo aumento da aeração, aumentando o contato solo/resíduo vegetal e a ruptura dos agregados do solo, propiciando maior emissão de CO₂ do solo (SANTOS et al., op. cit.).

Para estimar a quantidade de respiração do solo e sua variabilidade temporal é essencial avaliar a relação entre respiração do solo e variáveis ambientais que podem ser continuamente monitoradas, como umidade do solo e temperatura (KOSUGI et al., 2007; PINTO-JUNIOR, op. cit.). A respiração do solo pode variar no tempo e no espaço devido a fatores como a química e a física do solo, a distribuição de raízes (SOE; BUCHMANN, 2005), a umidade (MERBOLD et al., 2011) e a temperatura do solo. Em escala global, as taxas de respiração do solo se correlacionam positivamente com a média anual de

temperatura do ar, com a precipitação anual e com a interação entre essas duas variáveis (RAICH; SCHLESINGER, 1992). Por exemplo, o solo exhibe baixas taxas de respiração quando as condições são de seca ou umidade extrema (STAATEN et al. 2009).

De acordo com Zanchi et al. (2009), para melhorar a compreensão da variabilidade sazonal do efluxo de CO₂ do solo, outras variáveis são requeridas, como por exemplo, a estrutura do solo e, mais importante, a produtividade primária líquida e liteira, que se correlacionam com a temperatura e umidade nos trópicos e, finalmente, a dependência das espécies. As primeiras análises de regulação da respiração do solo pelo clima e fatores edáficos foram feitas em meados do século XX, a partir de medições da respiração do solo, propriedades do solo, fertilidade e perfis de dióxido de carbono (KUTSCH; BAHN; EHEINEMEYER, 2009). Até hoje a dificuldade nas medições do gás carbônico atmosférico permanecem devido a dificuldade freqüente em se medir a respiração microbiana e das raízes em múltiplas profundidades (SUWA et al. 2004).

É importante quantificar o efluxo de CO₂ solo para a obtenção de informações sobre atividade heterotrófica, taxas de respiração das raízes, interação solo-atmosfera, energia do solo e balanço de carbono e produtividade das plantas (RAICH; BOWDEH; STEUDLER, 1990). Entender a variação das taxas de respiração do solo e seus fatores determinantes é importante para reduzir erros na avaliação do fluxo de carbono do solo (ADACHI et al., 2009). Além disso, com o aumento da taxa de CO₂ atmosférico, é importante entender melhor o funcionamento das fontes e sumidouros de carbono e suas respostas as mudanças climáticas, principalmente porque o aumento da temperatura tem um forte impacto na respiração do solo (RAICH; POTTER; BHAGAWATI 2002).

O processo inverso à emissão de gases do efeito estufa é o seqüestro de carbono, que pode ser definido como qualquer processo que remove gases do efeito estufa da atmosfera (MORARU; RUSU; SOPTEREAN, 2010). Uma forma de amenizar os efeitos do aquecimento global é o aumento ou a disseminação de práticas que levem ao seqüestro de carbono (Law et. al. 2009). Em atividades agropecuárias, a redução da concentração de gases do efeito estufa na atmosfera pode ocorrer pela introdução do carbono no solo (MORARU; RUSU; SOPTEREAN, op cit.).

6.4 Palma de óleo como componente de sistemas agroflorestais na Amazônia

No final da década de 1970, a monocultura predominantemente adotada no Centro-Sul, Sudeste e, em menor escala, no Norte do Brasil, começou a apresentar instabilidade na produção e nos preços, devido aos riscos relativos a mercado, problemas fitossanitários

e quebra de safra (VARELA; SANTANA, 2009). Os produtores do país passaram a buscar o estabelecimento de um modelo de produção sustentável do ponto de vista ambiental, econômico e social (VARELA; SANTANA, op.cit.).

Nesse contexto, surge o interesse em novas técnicas de plantio que ofereçam alternativas ao monocultivo. Na Amazônia, combinar cultivos agrícolas e/ou pecuária é uma prática comum há bastante tempo (MACEDO, 2000). Porém, a partir da década de 1970, essa prática se tornou mais forte, mais especificamente no Acre, Amazonas, Rondônia (Ouro Preto), Pará (Monte Alegre, Acará e Tomé-Açu) e em outras localidades da Amazônia (VARELA; SANTANA, op.cit.).

A prática de combinar espécies florestais com culturas agrícolas e/ou pecuária é chamada de agrossilvicultura, também denominada de sistemas agroflorestais (YARED; BRIENZA JUNIOR; MARQUES, 1998). Os sistemas agroflorestais são classificados quanto à composição em sistemas agrissilviculturais (árvores e culturas); silvipastoris (árvores e animais); e agrissilvipastoris (árvores, culturas e animais) (ENGEL, 1999).

Esses sistemas de uso da terra 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 (MACEDO, op. cit.). Dessa forma, sistemas agroflorestais podem contribuir para a solução de problemas no uso dos recursos naturais, por causa das funções biológicas e socioeconômicas que podem cumprir (ENGEL, op.cit.).

O componente florestal do sistema agroflorestal não precisa ser composto necessariamente por espécies da floresta ou madeiras; pelo menos um dos componentes do sistema deve ser perene e lenhoso (árvore, arbusto, palmeira, bambu), podendo ser composto por espécies frutíferas e cultivos perenes (MACEDO, op. cit.). A composição do sistema agroflorestal por árvores traz benefícios, tais como, o controle da erosão e manutenção da fertilidade do solo, o aumento da biodiversidade, a diversificação da produção, o alongamento do ciclo de manejo de uma área (ENGEL, op. cit) e ciclagem adequada de água e melhoria da qualidade do solo em comparação com monoculturas agrícolas anuais ou perenes (ALBRECHT; KANDJI, 2003). Os sistemas agroflorestais também promovem o seqüestro de carbono em sistemas agropecuários de produção (SAF's) (BÖRNER; MENDOZA; VOSTI, 2007; ALBRECHT; KANDJI, 2003).

Entre os benefícios atribuídos aos SAFs, também se pode citar a reabilitação de áreas de vegetação secundária, que podem ser usadas racionalmente por meio de práticas agroflorestais e a formação de sistemas ecológicos mais estáveis, com menor aporte de recursos externos e maior auto-suficiência (ENGEL, 1999). Em regiões tropicais, com predominância de solos de baixa fertilidade, principalmente em fósforo, como os da Amazônia, a capacidade produtiva depende em grande parte da velocidade de ciclagem dos nutrientes (YARED et al., 1998). Dessa forma, o componente arbóreo pode contribuir formando uma manta superficial de matéria orgânica no solo, a partir de folhas e frutos, que se converte em nutrientes absorvidos pelas raízes das plantas (YARED et al., op.cit.).

A sustentabilidade pretendida nesses sistemas resulta da diversidade biológica promovida pela presença de diferentes espécies vegetais e ou animais, que exploram nichos diferentes dentro de um sistema, formando uma estratificação diferenciada do dossel das copas e do sistema radicular das plantas no solo (MACEDO, 2000). As pesquisas têm indicado para a Amazônia brasileira diversos sistemas agroflorestais, porém, o seu uso ainda é bastante incipiente (YARED et al., op.cit.)

A aplicação de técnicas agroflorestais pode consolidar ou aumentara produtividade das propriedades rurais ou, pelo menos, evitar a degradação do solo (YARED et al., op. cit.). Entre os SAF's implantados na Amazônia, merecem destaque aqueles compostos por óleo de palma, visto sua importância econômica, crescimento em área plantada e caráter de sustentabilidade. A palma de óleo representa uma opção de exploração agroflorestal na região trazendo benefícios sociais, ambientais e econômicos (CAMPELLO, 2008).

A palma de óleo pode oferecer uma alternativa de produção sustentável, com alta produtividade e rentabilidade (BERTONE, 2011), podendo ser implantada na região Amazônica, já que esta apresenta boas condições para o desenvolvimento e plantio da palma de óleo, com clima com alta precipitação e temperatura adequada na maior parte do ano (CAMPELLO, op. cit). Pode ser cultivada em áreas degradadas, possibilitando boa cobertura do solo quando adulta, e, na fase jovem, pode ser associada com leguminosas de cobertura do solo, enquadrando-se nas estratégias de desenvolvimento sustentável e, portanto, representando mais uma oportunidade de negócios na Amazônia (SUFRAMA, 2003).

Em relação às características da cultura, a palma de óleo é uma palmeira africana que foi introduzida no Brasil pelos escravos africanos trazidos para o País, com vida

econômica de aproximadamente 25 anos, quando em exploração agroindustrial (MÜLLER, 1989). A palma de óleo é a oleaginosa de maior produtividade (WERNIGERODE; ANDRADE, 1983), com rendimentos superiores a 25-28 toneladas de cacho por hectare por ano (SUFRAMA, op. cit.). As condições ideais para o desenvolvimento desta cultura são temperaturas médias mínimas de 24°C, precipitações acima de 2000 mm/ano, regularmente distribuídas durante o ano, solos não compactados, pois o sistema radicular é fasciculado e extremamente sensível a solos compactados, bastante tolerante as condições químicas do solo, e solos ácidos com pH entre 4 e 6 (WERNIGERODE; ANDRADE, op. cit.).

A palma de óleo tem potencial para ocupar integralmente áreas consideradas degradadas na Amazônia (MÜLLER; FURLAN JUNIOR; CELESTINO FILHO, 2006) e, por produzir grande quantidade de biomassa, essa cultura pode alcançar elevadas taxas de seqüestro de carbono (LAW et al., 2009). Essa cultura também pode ser empregada na agricultura familiar, por ser uma cultura perene, sem estacionalidade de produção, por gerar empregos permanentes não necessariamente de mão-de-obra especializada, mas normalmente bem remunerados durante o ano todo (MÜLLER; FURLAN JUNIOR; CELESTINO FILHO, op. cit.). Já vem sendo testado na Amazônia há algum tempo a prática do cultivo intercalar, nas entrelinhas da palma de óleo com milho seguido de caupi o que de acordo com Wernigerode e Andrade (op. cit.) é altamente compensador, já que permite retorno econômico mais cedo, alta produtividade (das culturas empregadas) e otimização da área de plantio.

Dos frutos da palma de óleo podem-se extrair dois tipos de óleo: o óleo da polpa e o óleo de amêndoa, ambos com emprego alimentar e industrial (MÜLLER; FURLAN JUNIOR; CELESTINO FILHO, op. cit.). O óleo de palma é hoje o mais utilizado pela indústria alimentícia em todo o mundo, porque é o melhor substituto para gordura trans, rico em vitaminas A e E; também está presente nos produtos de higiene e limpeza, lubrificantes e na produção de biocombustível, correspondendo, em 2011, a mais de um terço do total de óleo vegetal consumido no planeta (BERTONE, 2011).

A produção de palma de óleo tende a crescer devido a mudança do atual padrão energético mundial que busca fontes de energia renováveis e menos agressivas ao meio ambiente, tendo os biocombustíveis como um possível substitutivo aos combustíveis fósseis (BRANCO, 2009). Por isso, é importante avaliar os impactos do cultivo de palma

de óleo na Amazônia, no contexto atual de impactos dos sistemas de produção agropecuária sobre mudanças climáticas e qualidade do solo (CAMPELLO, 2008).

Mesmo com todos os benefícios da palma de óleo é notório que mudanças no uso da terra causam perturbações no ecossistema e podem influenciar os estoques e fluxos de carbono entre solo e atmosfera (LAL, 2005). Logo, é importante observar como a palma de óleo se comporta na Amazônia em relação à emissão de e seqüestro de carbono (LAW et. al. 2009); existem poucos estudos sobre essa questão, especialmente na Amazônia.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Área de estudo

A área de estudo está localizada no município de Tomé-Açu, PA, nas coordenadas geográficas 02° 20' 59,68037" de latitude sul e 48° 15' 36,06262' de longitude a oeste de Greenwich. O experimento foi desenvolvido em propriedade de agricultor familiar situado a 10 km do distrito de Quatro Bocas, região pertencente a Mesorregião Paraense e a Microrregião Tomé-Açu.

Esta pesquisa foi desenvolvida no Projeto Dendê em Sistemas Agroflorestais na Agricultura Familiar, cujo objetivo é testar modelos de sistemas agroflorestais sustentáveis para produção de palma de óleo, adaptado as condições locais de Tomé-Açu, apoiado na análise de viabilidade sócio-econômico-ambiental. O projeto está sendo desenvolvido pela empresa Natura em parceria com a Cooperativa Agrícola Mista de Tomé Açu (CAMTA), EMBRAPA Amazônia Oriental e EMBRAPA Amazônia Ocidental.

Anteriormente à instalação do experimento, a respectiva área de estudo era coberta por floresta sucessional, com idade aproximada de 10 anos, formada após repetidos ciclos de corte e queima, para agricultura de subsistência (arroz – *Oryza sativa*, mandioca – *Manihot esculenta*, milho – *Zeamays* e feijão-caupi – *Vigna unguiculata*). Em setembro e outubro de 2007, aproximadamente seis hectares de floresta sucessional, foram cortados e triturados. Quatro hectares foram cortados e triturados mecanicamente, deixando-se o material triturado como cobertura sobre o solo. Dois hectares foram cortados e triturados manualmente usando-se motosserra, terçado, deixando-se também o material vegetal sobre o solo.

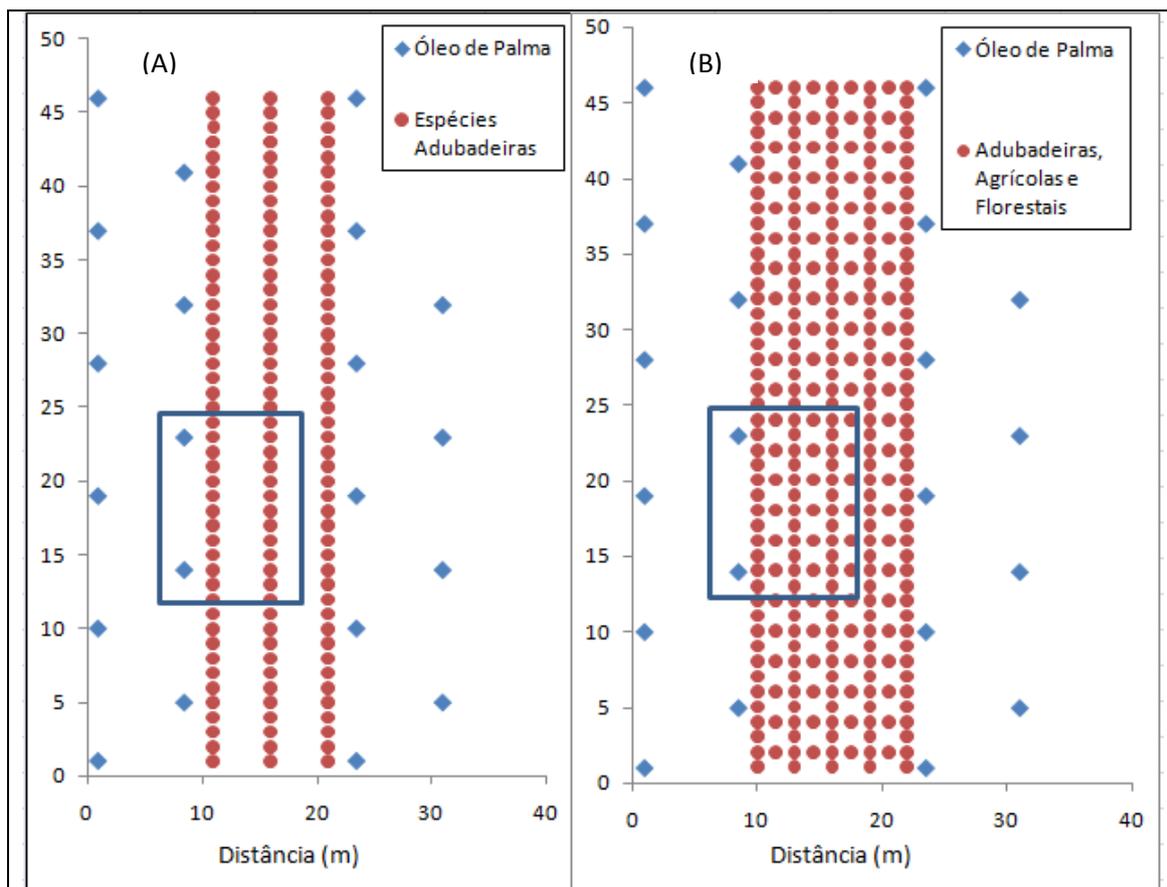
Após o preparo de área, foram instalados três sistemas agroflorestais em que a palma de óleo é a cultura chave, denominados de (1) SAF Adubadeiras, (2) SAF Biodiverso Mecanizado e (3) SAF Biodiverso Manual. No início de 2008, entre janeiro e fevereiro, houve o plantio das mudas de palma de óleo (*Elaeis guineensis*).

O SAF Adubadeiras foi instalado em 2 ha triturados mecanicamente, com faixa dupla de palma de óleo (duas linhas) espaçadas de 7,5 m entre linhas e 9,0 m entre plantas. As filas duplas foram intercaladas com faixas de 15 m, onde foram plantadas as leguminosas: gliricídia (*Gliricidia sepium*), feijão guandu (*Cajanus cajan* (L.)), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* DC), e Ingá (*Inga edulis*), com função de adubação verde. Também foi plantado Margaridão (*Tithonia diversifolia*) que é uma planta herbácea (Figura 1.).

Sistemas agroflorestais diversificados foram instalados em 4 ha, sendo 2 ha triturados mecanicamente (denominado de SAF Biodiverso Mecanizado) e 2 ha triturados manualmente (SAF Biodiverso Manual). Em ambos os sistemas, foram instaladas faixas duplas de palma de óleo (duas linhas) com espaçamento de 7,5 m entre linhas e 9,0 m entre plantas, intercalados com faixa de 15 m (99 plantas. ha⁻¹), onde foram plantadas as espécies: feijão de porco (*Canavalia ensiformis*), feijão guandu (*Cajan cajanus*), crotalária (*Crotalaria juncea*), mucuna cinza (*Mucuna cinereum*), margaridão, mandioca (*Manihot esculenta*), banana (*Musa spp*), cacau (*Theobroma cacao*), açai (*Euterpe oleracea*), gliricídia, ingá, tachi branco (*Sclerolobium paniculatum*), guanandi (*Calophyllum brasiliensis*), ipê (*Tabebuia spp.*) e bacaba (*Oenocarpus bacaba*). O croqui do sistema biodiverso é mostrado na figura 1.

Os SAF's deste experimento buscam atender a demanda dos agricultores por produção de espécies frutíferas, madeireiras e adubadeiras nas entrelinhas de palma de óleo. Foram incluídas sementes de espécies arbóreas para que seja possível a continuidade do manejo agroflorestal, ao longo da vida útil da palma de óleo.

Figura 1- Croqui do arranjo das espécies no Sistema Adubadeiras (A) e do Sistema Biodiverso (B). O retângulo em azul representa a área onde foram coletadas as amostras em cada sistema.



Fonte: Elaborado pela autora.

7.2 Experimento

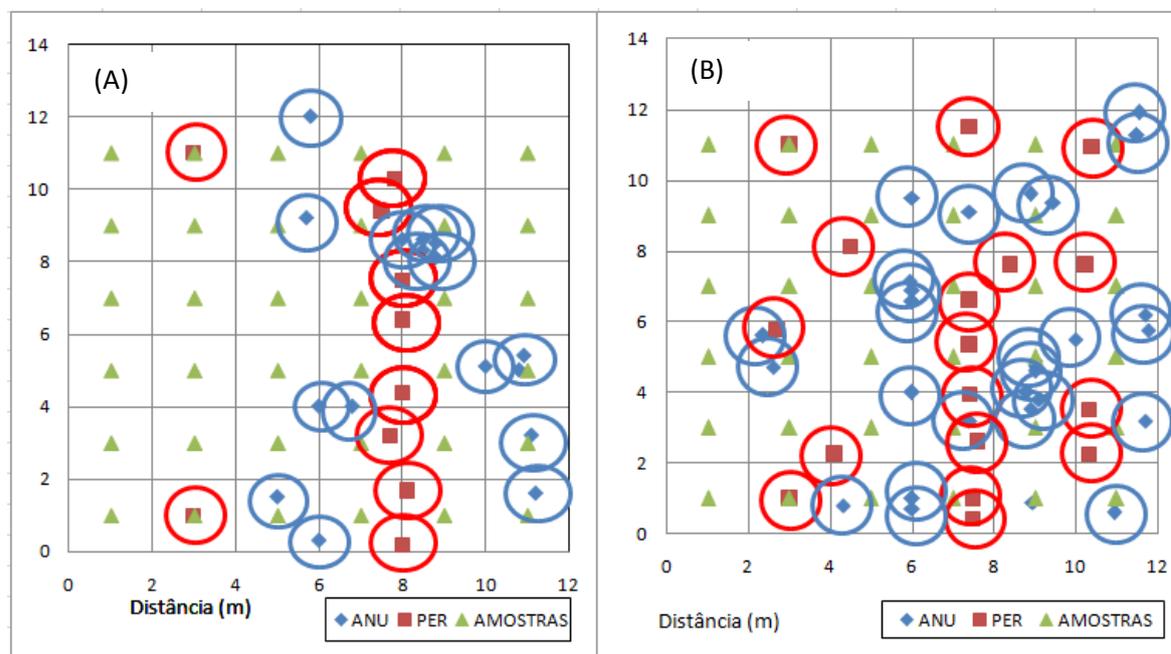
Para a instalação do experimento foram selecionados dois sistemas de produção de palma de óleo (*Elaeis guineensis*): em um deles o palma de óleo é consorciado com um sistema agroflorestal chamado de SAF Biodiverso composto das espécies ingá (*Inga sp.*), banana (*Musa sp.*) cacau (*Theobroma cacao* L.), ipê (*Tabebuia serratifolia*), açai (*Euterpe oleraceab* Mart.), mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) e bacabí (*Oenocar pusminor* Mart.), enquanto que no outro sistema o palma de óleo é consorciado com leguminosas para adubação verde.

Em cada sistema foi delimitada uma área de 12 m x 12m, dividida em 36 subáreas de 2 m x 2 m (Figura 2.). As medições e coletas de amostras foram realizadas em cada subárea (célula), totalizando 36 pontos amostrais em cada sistema.

Duas vezes ao ano, sendo uma no final da estação menos chuvosa e outra no final da estação chuvosa, foram avaliadas as seguintes variáveis: efluxo de CO₂ (dióxido de carbono) do solo, umidade do solo, temperatura do solo, estoque de raízes finas, carbono da biomassa microbiana, respiração microbiana do solo, carbono total do solo, estoque de serrapilheira e diâmetro à altura do peito (DAP).

Em dezembro de 2010 foi realizado inventário das plantas localizadas no sistema Biodiverso mecanizado e foram coletadas amostras de solo e serrapilheira. Na Figura 2, os quadrantes representam as células em que foram divididas as áreas, e a localização das espécies na área, com base nas coordenadas que vão de 0 a 12m no eixo das abscissas e das ordenadas. Um dos efeitos testados foi a zona de influência das espécies sobre as variáveis de solo e planta, estabelecido neste estudo como a área da circunferência ao redor de cada indivíduo, com raio de um metro a partir do tronco das plantas. Para fins de análise estatística as espécies foram agrupadas em perenes e anuais e se assumiu que os pontos de amostragem foram influenciados por esses grupos de espécies. As zonas de influência testadas foram então aquelas associadas às espécies perenes (PER); anuais (ANU); dos dois tipos de espécies simultaneamente, perenes e anuais (PER+ANU) e as zonas que não sofrem influência de espécies, chamada de zona sem influência de espécies (SI) (Figura 2.).

Figura 2- Zona de influência das espécies perenes e anuais nos tratamentos Adubadeiras (A) e Biodiverso (B). Estão representados nessa figura as espécies anuais (ANU), perenes (PER) e os pontos de coleta. Os círculos indicam a zona de influência.



Fonte: Elaborado pela autora.

7.3 Efluxo de CO₂ do solo

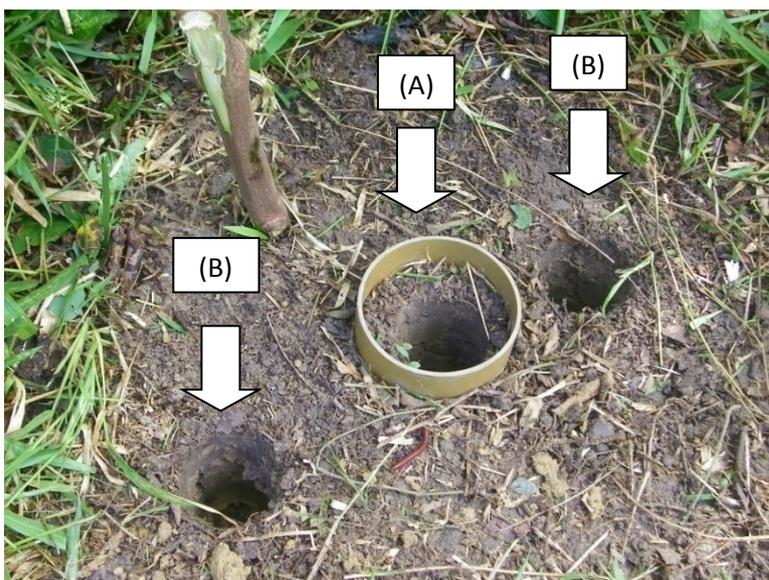
As medições de efluxo de CO₂ solo foram realizadas com um sistema portátil de medição de fotossíntese acoplado a uma câmara de respiração do solo EGM-4 da PPSsystems. Um termômetro acoplado ao equipamento mediu a temperatura do solo, a 10 cm de profundidade, no momento da medição do efluxo de CO₂, quando também foram registradas a temperatura e a umidade do ar com um psicrômetro Siabata. Esse aparelho foi instalado em local sombreado próximo à área de medição. As medições foram feitas entre 8h e 11h da manhã entre dezembro de 2010 e maio de 2012, nas 72 células.

No centro de cada célula, foi instalado um anel de PVC (cloreto de polivinila) de 10 cm de diâmetro e 8,5 cm de altura, inserido cerca de 2 cm no solo. A primeira medição do efluxo de CO₂ do solo foi feita uma semana depois da instalação dos anéis. Após a primeira coleta, os anéis foram reposicionados nas células, cerca de 80 cm do centro, em local definido por sorteio. O reposicionamento dos anéis foi necessário, pois na primeira medição do efluxo de CO₂ do solo, na área circunscrita por cada anel, houve amostragem de solo para determinação do estoque de raízes finas.

7.4 Coleta de amostras de solo

Foi realizada uma coleta de solo no período de transição do período seco para o chuvoso e uma no período chuvoso para o seco. Foram amostrados 36 pontos em cada tratamento, totalizando 72 pontos de coleta de solo, sendo que em cada ponto de amostragem foram retirados dois tipos de amostras, com trado tipo copo. Uma amostra de solo foi coletada da área circunscrita pelo anel para determinação da quantidade de raízes no solo e duas amostras foram coletadas na área ao redor do anel (Figura 4), sendo que essas amostras foram misturadas e serviram para a determinação da respiração microbiana e carbono total. Após a coleta, essas amostras foram imediatamente armazenadas sob refrigeração a 4°C, até o processamento no laboratório.

Figura 4 - Pontos de coleta de amostra de solo, na área circunscrita (A) e ao redor do anel (B).



Fonte: Elaborado pela autora.

7.5 Umidade do solo

Foi instalado um pluviômetro artesanal (GARCEZ; MOTTA, 2010), próximo (2 km) à área de estudo para monitoramento da precipitação diária durante o período experimental. A precipitação pluviométrica na área de estudo é mostrada na Figura 5.

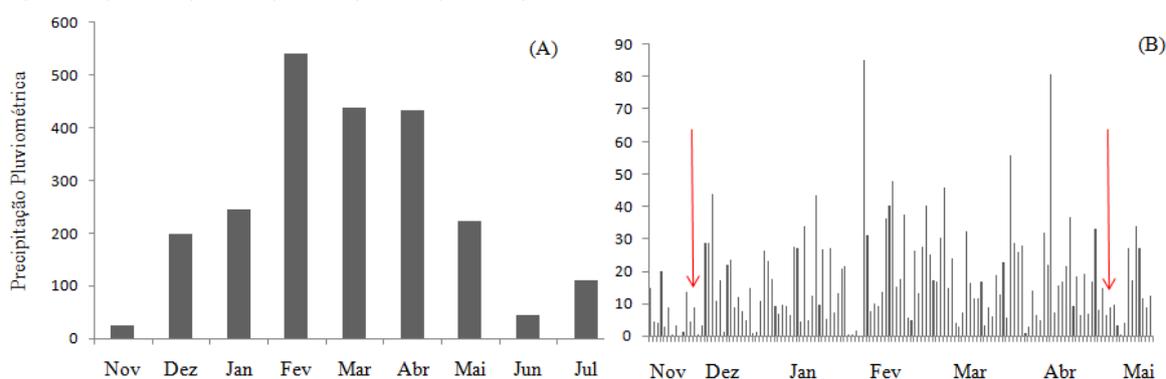
Durante as medições do efluxo de CO₂ do solo, foram coletadas com trado amostras de solo, a uma profundidade de 10 cm e distantes pelo menos 50 cm do anel, para determinação da umidade gravimétrica do solo (EMBRAPA, 1997). No campo, as

amostras foram armazenadas em frascos hermeticamente fechados e transportados ao laboratório, onde a massa fresca foi pesada com balança da marca Ohaus, modelo Scout Pro, com precisão de 0,01g. Em seguida, as amostras foram secas em estufa a 105-110°C por 24 h, resfriadas em dessecador, e a massa seca foi determinada. A umidade gravimétrica foi determinada com a seguinte equação:

$$\text{Umidade gravimétrica} = \frac{100 \times (\text{Massa Úmida (g)} - \text{Massa Seca (g)})}{\text{Massa Seca (g)}}$$

Na área circunscrita pelo anel de PVC, foram coletados com trado 196 cm³ (área de coleta = 19,6 cm², profundidade = 10 cm) de solo para determinação da densidade de raízes finas (g cm⁻³). As amostras foram armazenadas sob refrigeração a 4°C, até o processamento em laboratório, que consistiu na lavagem das amostras sobre duas peneiras, com aberturas de malha de 2 mm e 0,84 mm, nessa ordem.

Figura 5- Precipitação pluviométrica acumulada (A) e diária (B) na área de estudo. As setas indicam os dias de coleta no período de transição menos chuvoso-chuvoso (dezembro 2010) e no período de transição chuvoso-menos chuvoso (maio 2011).



Fonte: Elaborado pela autora.

Após a lavagem, as raízes retidas na peneira de 0,84 mm foram colocadas em uma bandeja de plástico, com dimensões de aproximadamente 40 cm x 28 cm, com água e separadas manualmente com uma pinça metálica. Essas raízes foram espalhadas de forma uniforme na bandeja, cuja base foi dividida em oito partes com áreas iguais. Sub amostras de raízes foram coletadas somente em duas áreas selecionadas ao acaso, isto é, foram coletadas 25% do total das raízes retidas na peneira de 0,84 mm de abertura de malha. As raízes retidas nas duas peneiras foram armazenadas separadamente em sacos de papel, os quais foram secos em estufa de circulação forçada de ar a 65°C por 48 horas e pesados em balança da marca Ohaus, modelo Adventure, com precisão de 0,0001g. Para a estimativa

da massa das raízes retidas na peneira de 0,84 mm de abertura de malha, a massa da subamostra foi multiplicada por 4.

5.6 Determinação da respiração microbiana do solo

Para determinação da respiração microbiana do solo, foi utilizado o método da incubação descrito por Jenkinson e Powlson (1976), com adaptações (SILVA; SENA; SILVA JUNIOR, 2007A). O tempo decorrido entre a coleta de solo e o início da análise foi inferior a uma semana. As amostras de solo foram peneiradas em malha de 2 mm e, em seguida, a umidade foi corrigida a 60% da capacidade de retenção de água. Em recipiente de vidro com capacidade de 2 L foram colocados três frascos de plástico, um contendo 25 g de solo, um com 10 mL de água destilada e um com 25 mL de NaOH 0,5 M. O recipiente foi então incubado, hermeticamente fechado, por 10 dias, no escuro, a uma temperatura média de 25°C.

Paralelamente à avaliação das amostras de solo, foram avaliadas três provas em branco, que consistiram no processo anteriormente descrito sem a amostra de solo, ou seja, somente contendo NaOH e água.

Após a incubação foi feita a quantificação do CO₂ capturado pela solução de hidróxido de sódio, utilizando-se solução de HCL 0,5 M. Também foi utilizada a solução de fenolftaleína 1% como indicador de mudança de pH e cloreto de bário 0,5M para forçar a precipitação do CO₂ no hidróxido de sódio.

5.7 Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo

O carbono da biomassa microbiana foi determinado pelo método da fumigação-extração, originalmente descrito por Jenkinson; Powlson (op. cit.) em amostras peneiradas a 2 mm. A amostra foi dividida em quatro sub amostras: duas foram submetidas ao processo de fumigação-extração e duas foram submetidas somente ao processo de extração (chamadas de fumigadas e não-fumigadas, respectivamente). Para o processo de fumigação, foram pesados 20 g de solo em placas de Petri, sendo imediatamente acondicionados em dessecador contendo papel toalha umedecido no fundo e becker com aproximadamente 100 mL de clorofórmio (CHCl₃) isento de etanol. A fumigação foi

realizada por meio de vácuo no dessecador, permanecendo em sala de incubação no escuro por 48h. Em seguida, o CHCl_3 foi removido por aspirações sucessivas.

Posteriormente o solo foi transferido das placas de Petri para frascos plásticos nos quais foram acrescentados 50 mL de K_2SO_4 0,5 M com pH ajustado na faixa de 6,5 a 6,8, procedendo-se a extração em agitador com movimento circular horizontal à 220rpm por 2h. Em seguida, as amostras foram decantadas por 30min e filtradas em papel filtro quantitativo. A determinação da concentração de C nos extratos fumigado e não-fumigado foi feita por dicromatometria, a partir da retirada de uma alíquota de 8 mL do extrato, adicionando-se 2 mL de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0,066 M, 10 mL de H_2SO_4 e 5 mL de H_3PO_4 . O mesmo processo de extração foi realizado para as amostras não-fumigadas.

5.8 Determinação do quociente metabólico

O $q\text{CO}_2$ (quociente metabólico) foi calculado pela relação entre a respiração microbiana e o C da biomassa microbiana (SILVA; SENA; SILVA JUNIOR, 2007A).

5.9 Determinação da concentração de carbono

A concentração de carbono do solo foi determinada por combustão via seca usando-se um analisador elementar LECO CNS-2000. Antes da análise, as amostras de solo foram peneiradas a 60 mesh e a serrapilheira moída em moinho tipo Willey. O estoque de carbono foi calculado a partir dos dados de densidade do solo nas áreas de estudo (1,20 g cm^{-3} no sistema adubadeiras e 1,29 g cm^{-3} no sistema biodiverso) e da concentração de carbono.

5.10 Análise Estatística

As variáveis analisadas foram submetidas à análise de variância (ANOVA, $p < 0,05$) de três fatores (sistemas, períodos e zonas de influência) e teste Tukey das médias a 5% com a utilização do programa Sisvar (Ferreira, 2011). Foram considerados marginalmente significativos os valores de $0,05 < p < 0,055$. Foi realizada correlação de Pearson entre as variáveis com o programa SigmaStat 11 para analisar o grau de relação entre as variáveis. Foi determinado o coeficiente de variação (CV) com o objetivo de avaliar a homogeneidade das variáveis obtidas; quanto menor o valor do CV mais homogêneos são os dados. A partir dos valores obtidos o CV foi classificado como baixo ($< 10\%$), médio (entre 10 e 20%), alto (entre 20 e 30%), muito alto ($> 30\%$) (PIMENTEL-GOMES, 1990).

Foram elaborados gráficos com a utilização do programa Surfer 9.0 para mostrar a distribuição espacial das variáveis analisadas.

Os valores de F e dos índices descritivos (valor P) resultantes das análises de variância estão na Tabela 1.

Tabela 1- Valores de teste F e índices descritivos (valor P).

Variáveis	Sistemas		ZINF		Períodos		Sis*ZINF		Sis*Per		ZINF*Per		Sis*ZINF*Per	
	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
CO ₂	7,852	0,0059*	0,415	0,7421	13,480	0,0004*	0,430	0,7315	0,207	0,6498	0,153	0,928	0,389	0,7608
Temp.	195,08	< 0,0001*	1,236	0,2995	97,476	<0,0001*	4,811	0,003*	65,57	<0,0001*	1,463	0,2277	-0,341	1,0000
Umidade	120,17	< 0,0001*	2,793	0,043*	400,39	<0,0001*	- 1,05	1,0000	8,886	0,0034*	0,490	0,6895	0,544	0,6532
RF	3,259	0,0734	1,265	0,2892	3,776	0,0542	0,709	0,5485	2,712	0,1021	0,623	0,6010	-0,036	1,0000
RM	1,641	0,2025	3,035	0,031*	5,627	0,0192*	1,190	0,3161	20,26	0,001*	0,689	0,5602	1,614	0,1894
C_ Solo	17,912	< 0,0001*	2,246	0,0861	0,221	0,6393	0,450	0,7179	6,406	0,0126*	0,689	0,5606	0,167	0,9186
BIOM_C	4,580	0,0342*	3,432	0,019*	58,332	<0,0001*	5,987	0,007*	0,003	0,9577	1,800	0,1504	2,262	0,0844
qCO ₂	6,486	0,012*	0,820	0,485	34,816	<0,001*	1,055	0,371	0,494	0,483	0,370	0,775	1,496	0,219

ZINF – zona de influência das espécies; SIS*ZINF – interação entre zona de influência das espécies e sistemas; ZINF*Per- interação entre zona de influência das espécies e períodos; Sis*ZINF*Per- interação entre sistemas, zona de influência das espécies e períodos; CO₂ - efluxo de CO₂ do solo (EGM); Temp. - temperatura do solo; Umidade – umidade do Solo; RF – densidade de raízes finas; RM – respiração microbiana do solo; C_Solo - carbono do solo; BIOM-C – carbono da biomassa microbiana; qCO₂ – coeficiente metabólico; (*) valores com valor P < 0,05.

6 RESULTADOS

6.1 Variação Sazonal e Entre Sistemas do Efluxo de CO₂ do Solo e de outras variáveis

Houve diferença significativa no efluxo de CO₂ do solo entre os períodos analisados (Tabela 1). O efluxo de CO₂ do solo no período chuvoso (média ± erro padrão: 0,81 ± 0,05 g CO₂ m⁻²h⁻¹) foi maior do que no período menos chuvoso (0,56 ± 0,05 g CO₂ m⁻²h⁻¹) (Figura 6A). Não houve diferença significativa na densidade de raízes finas entre os períodos analisados (Figura 6B). O carbono da biomassa foi maior no período chuvoso (655 ± 30 mg C kg⁻¹) do que no período menos chuvoso (327 ± 30 mg C kg⁻¹) (Figura 6C). O coeficiente metabólico também variou entre períodos, sendo maior no período menos chuvoso (5,29 ± 0,4 mg C-CO₂g⁻¹ BMS-C h⁻¹) do que no período chuvoso (2,05 ± 0,4 mg C-CO₂g⁻¹ BMS-C h⁻¹) (Figura 6D).

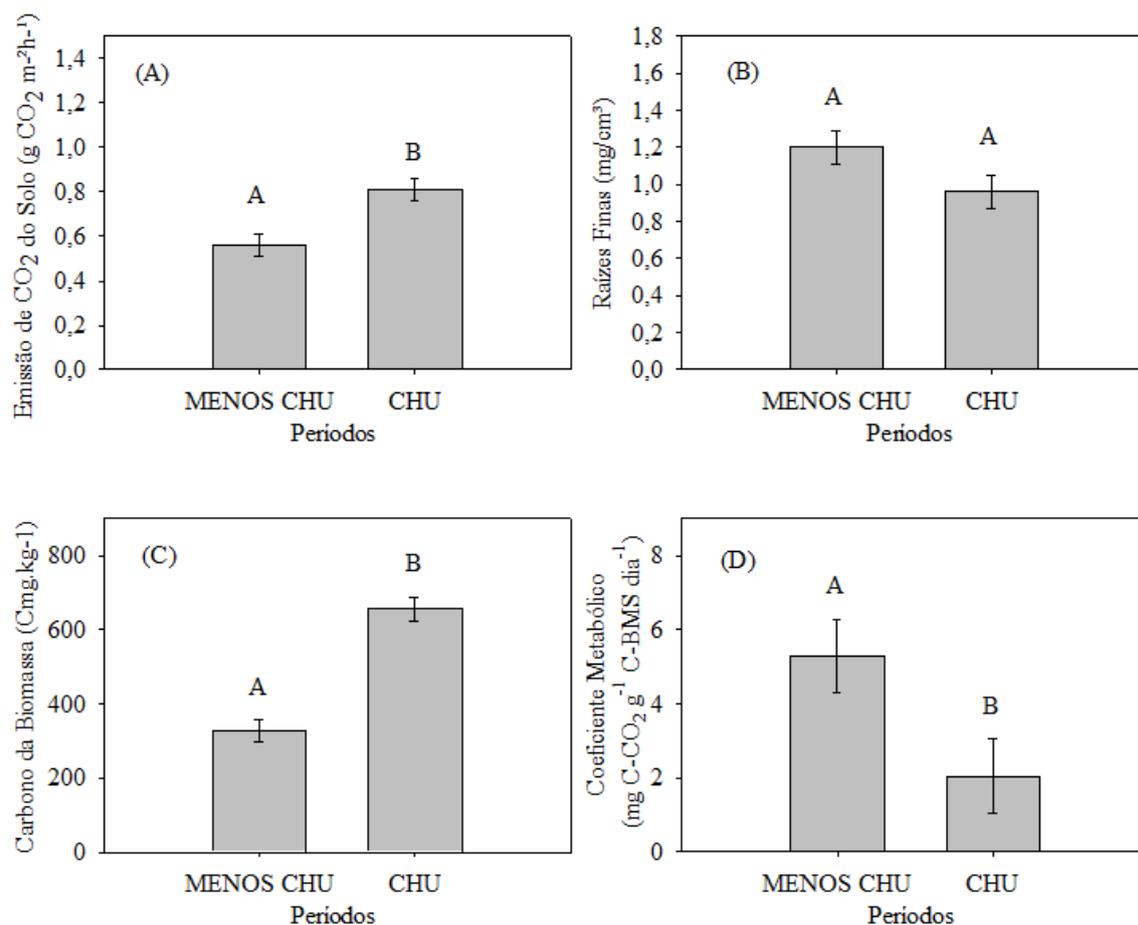
Em relação à temperatura do solo, o sistema adubadeiras apresentou as maiores médias nos períodos menos chuvoso e chuvoso (27,1 ± 0,1 °C e 25,7 ± 0,1 °C, respectivamente), diferentes estatisticamente entre si, e o sistema biodiverso apresentou as menores médias (25,4 ± 0,1 °C e 25,3 ± 0,1 °C, respectivamente), em ambos períodos, que não diferiram entre si (Figura 7A). Os maiores valores de umidade do solo foram encontrados no período chuvoso nos dois sistemas: adubadeiras e biodiverso (22,7 ± 0,6 % e 27,1 ± 0,6%, respectivamente) e os menores valores no período menos chuvoso (9,9 ± 0,6 % e 17,7 ± 0,6 %, respectivamente); todas essas médias foram diferentes estatisticamente entre períodos e entre sistemas (Figura 7B).

A respiração microbiana do solo foi maior no período menos chuvoso no sistema biodiverso (1,81 ± 0,15 mg de C-CO₂kg⁻¹ solo hora⁻¹) do que no adubadeiras (1,33 ± 0,15 mg de C-CO₂ kg⁻¹ solo hora⁻¹) e no período chuvoso o sistema adubadeiras apresentou média maior (1,64 ± 0,15 C-CO₂ mg de C-CO₂ kg⁻¹ solo hora⁻¹) do que o biodiverso (0,8 ± 0,15mg de C-CO₂ kg⁻¹ solo hora⁻¹) (Figura 7C). A respiração microbiana não variou significativamente entre os períodos no sistema adubadeiras; no sistema biodiverso a maior média ocorreu no período menos chuvoso.

O estoque de carbono do solo não variou no período menos chuvoso entre os sistemas; no período chuvoso, o sistema biodiverso apresentou maior média (31,1 ± 1,5Mg ha⁻¹) do que o sistema adubadeiras (21,1 ± 1,5 Mg ha⁻¹). O sistema adubadeiras apresentou a maior média de estoque de carbono do solo período menos chuvoso (25,5 ± 1,5 Mg ha⁻¹) do que

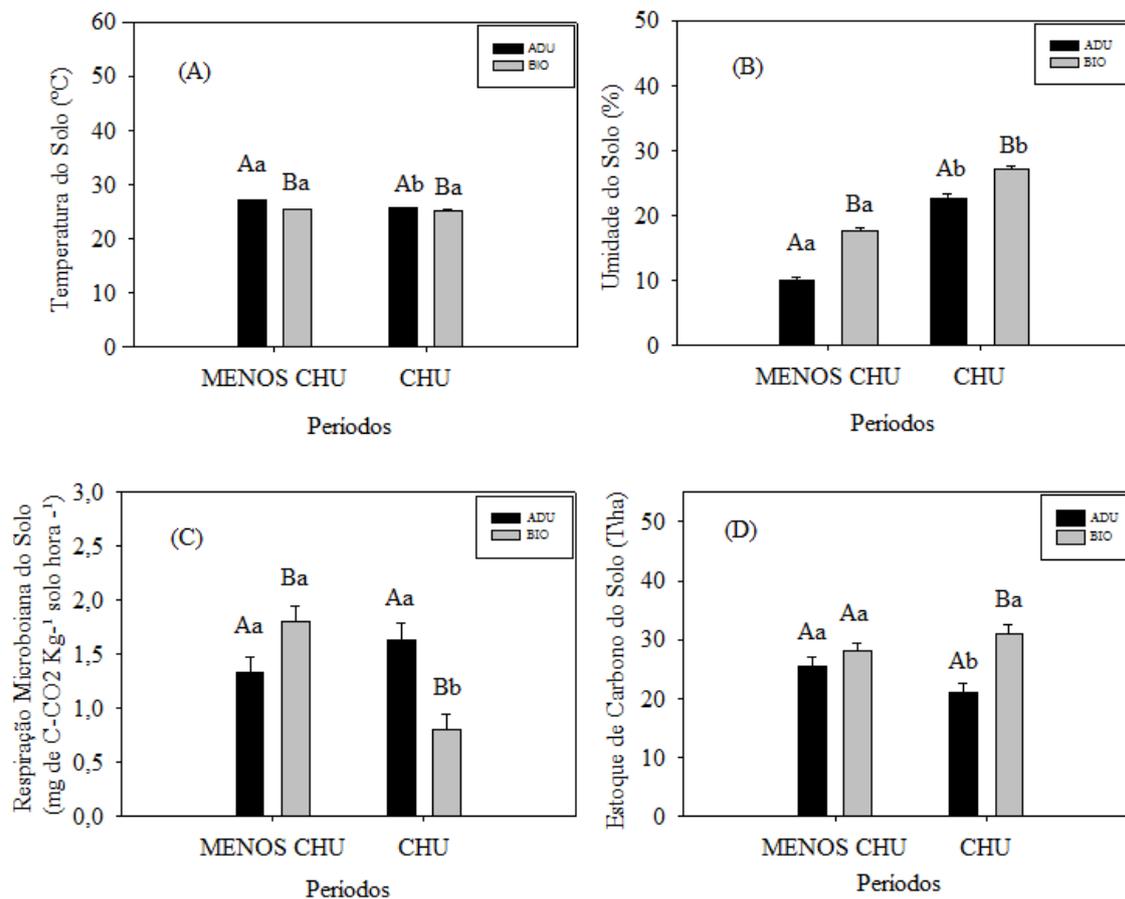
no período chuvoso ($21,1 \pm 1,5 \text{ Mg ha}^{-1}$); no sistema biodiverso não houve diferença entre os períodos analisados (Figura 7D).

Figura 6. Efluxo de CO_2 do solo (A), densidade de raízes finas (B), carbono da biomassa microbiana (C) e coeficiente metabólico (D), nos sistemas adubadeiras e biodiverso (média \pm erro padrão) nos períodos menos chuvoso (MENOS CHU) e chuvoso (CHU). Médias com letras diferentes diferem significativamente pelo teste Tukey (0,05).



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 7. Temperatura do solo (A), umidade do solo (B), respiração microbiana (C) e estoque de carbono do solo (D), nos sistemas adubadeiras e biodiverso (média \pm erro padrão), nos períodos menos chuvoso (MENOS CHU) e chuvoso (CHU). Médias com letras diferentes diferem significativamente pelo teste de Tukey (0,05), letras maiúsculas indicam diferenças entre sistemas e minúsculas entre períodos.



Fonte: Elaborado pela autora.

O efluxo de CO₂ do solo apresentou valores de coeficiente de variação (CV) variando de 15% no sistema adubadeiras em dezembro a 53% no sistema biodiverso em maio. Houve diferença significativa estatisticamente no efluxo de CO₂ do solo entre sistemas, mas não houve diferença significativa entre as zonas de influência das espécies (Tabela 1). O efluxo de CO₂ do solo foi maior no sistema biodiverso ($0,78 \pm 0,05 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) do que no sistema adubadeiras ($0,59 \pm 0,05 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) (Figura 8A).

O sistema adubadeiras apresentou maior média de coeficiente metabólico ($4,4 \pm 0,4 \text{ mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ BMS-C h}^{-1}$) do que o sistema biodiverso ($3,0 \pm 0,4 \text{ mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ BMS-C h}^{-1}$) (Figura 8B).

A maior média de respiração microbiana foi encontrada na zona de influência das espécies anuais ($1,86 \pm 0,15 \text{ mg de C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ solo hora}^{-1}$) e a menor média foi encontrada

na zona de espécies perenes ($1,19 \pm 0,15$ mg de C-CO₂ kg⁻¹ solo hora⁻¹); a respiração microbiana na zona sem influência de espécies ($1,31 \pm 0,15$ mg de C-CO₂ kg⁻¹ solo hora⁻¹) e das espécies perenes+anuais ($1,41 \pm 0,15$ mg de C-CO₂ kg⁻¹ solo hora⁻¹) foi igual estatisticamente as outras áreas (Figura 9A).

A temperatura do solo apresentou baixos valores de CV (0,1 a 0,4%) (Tabela 2). O sistema adubadeiras apresentou as maiores médias nas quatro zonas de influência analisadas: anuais ($26,1 \pm 0,1^\circ\text{C}$), permanentes ($26,3 \pm 0,1^\circ\text{C}$), perenes e anuais ($26,8 \pm 0,1^\circ\text{C}$), e área sem influência de espécies ($26,5 \pm 0,1^\circ\text{C}$) em comparação com as zonas de influência do sistema biodiverso, que apresentou as menores médias nas respectivas zonas de influência: anuais ($25,2 \pm 0,1^\circ\text{C}$), perenes ($25,3 \pm 0,1^\circ\text{C}$), perenes+anuais ($25,3 \pm 0,1^\circ\text{C}$) e zona sem influência de espécies ($25,4 \pm 0,1^\circ\text{C}$). O sistema adubadeiras apresentou a maior média de temperatura do solo na zona de influência das espécies perenes+anuais, e as menores médias nas zonas de influência das espécies perenes e espécies anuais; a zona sem influência de espécies foi igual estaticamente as outras médias (Figura 9B). No sistema biodiverso, a temperatura do solo não variou significativamente entre as zonas de influência.

O sistema biodiverso apresentou maior umidade do solo ($22,4 \pm 0,4\%$) do que o sistema adubadeiras ($16,3 \pm 0,4\%$) nos dois períodos analisados. O efeito isolado e as interações da zona de influência não foram significativos (Tabela 2).

A densidade de raízes finas do solo apresentou valores muito altos de CV (42,4 a 62,8%) (Tabela 2). O CV da variável respiração microbiana do solo variou de 29 a 59,1 % (Tabela 1).

O coeficiente de variação do carbono do solo variou de 17,90 a 25,60% (Tabela 2). O estoque de carbono do solo foi maior ($p < 0,001$) no sistema biodiverso ($29,5 \pm 1,0$ Mg.ha⁻¹) do que o sistema adubadeiras ($23,3 \pm 1,04$ Mg.ha⁻¹).

O coeficiente de variação do carbono da biomassa variou de 17,4 a 41,6% (Tabela 1). Na zona de influência das espécies perenes+anuais, o C da biomassa no sistema biodiverso foi maior (750 ± 66 mg C kg⁻¹) do que no sistema adubadeiras (329 ± 66 mg C kg⁻¹). Não houve diferença entre as zonas de influência no sistema adubadeiras. No sistema biodiverso a maior média de carbono da biomassa ($p < 0,001$) foi encontrada na zona de influência das espécies perenes+anuais, as menores médias foram encontradas na zona sem influência ($374 \pm 0,4$ mg C kg⁻¹) e na zona de influência das espécies perenes ($492 \pm 0,4$ mg

C kg⁻¹), a média de carbono da biomassa na zona de influência das espécies anuais foi igual estatisticamente às demais áreas ($543 \pm 0,4$ mg C kg⁻¹) (Figura 9C) .

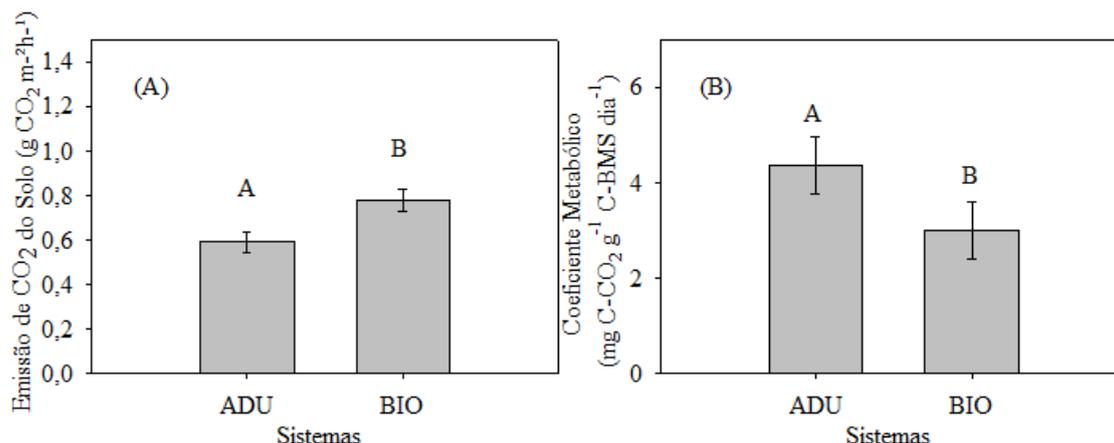
A distribuição espacial do efluxo de CO₂ do solo é mostrado na Figura 10.. O diagrama da Figura 11 representa as correlações entre as variáveis nos períodos menos chuvoso e chuvoso nos sistemas adubadeiras e biodiverso..

Tabela 2- Coeficiente de variação das variáveis analisadas (CV %).

Variável	Sistema	Período	CV (%)	Variável	Sistema	Período	CV (%)
CO ₂	ADU	MENOS CHU	15,0	RB	ADU	MENOS CHU	41,1
		CHU	26			CHU	42,5
	BIO	MENOS CHU	29		BIO	MENOS CHU	29
		CHU	53			CHU	59,1
Temperatura	ADU	MENOS CHU	0,4	C_Solo	ADU	MENOS CHU	26,6
		CHU	0,4			CHU	18,5
	BIO	MENOS CHU	0,1		BIO	MENOS CHU	17,9
		CHU	0,1			CHU	25,6
Umidade	ADU	MENOS CHU	15	BIOM-C	ADU	MENOS CHU	41,6
		CHU	11,1			CHU	17,4
	BIO	MENOS CHU	12,7		BIO	MENOS CHU	23,9
		CHU	12,4			CHU	22,9
Raízes Finas	ADU	MENOS CHU	62,8	qCO ₂	ADU	MENOS CHU	55
		CHU	42,2			CHU	43
	BIO	MENOS CHU	46		BIO	MENOS CHU	34
		CHU	47,1			CHU	49

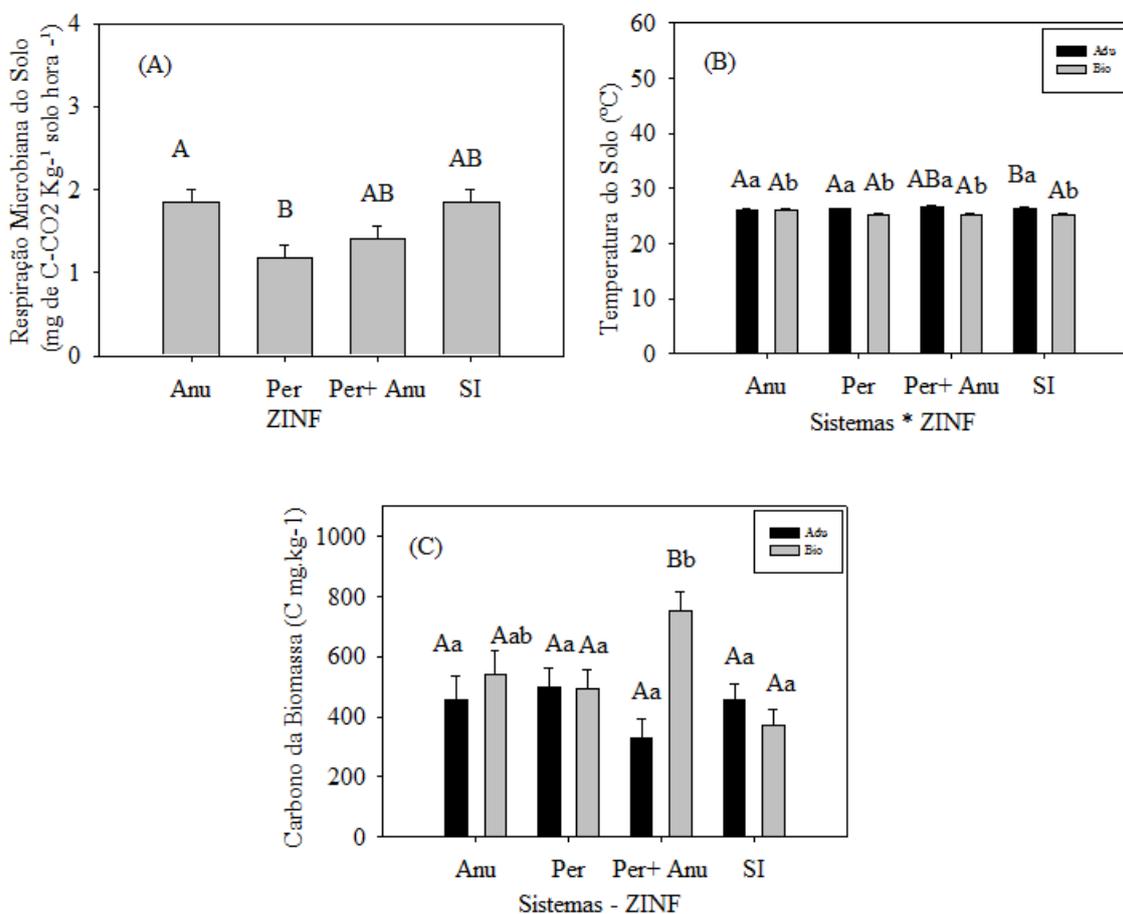
CO₂- efluxo de CO₂ do solo; Temperatura- temperatura do solo; Umidade - umidade do Solo; Raízes Finas; RB – respiração microbiana do solo; C_Solo - carbono do solo; BIOM-C – Carbono da biomassa microbiana; qCO₂–coeficiente metabólico.

Figura 8. Efluxo de CO₂ (A) e coeficiente metabólico (B) do solo nos sistemas adubadeiras (ADU) e biodiverso (BIO). Médias com letras diferentes diferem significativamente pelo teste Tukey (0,05).



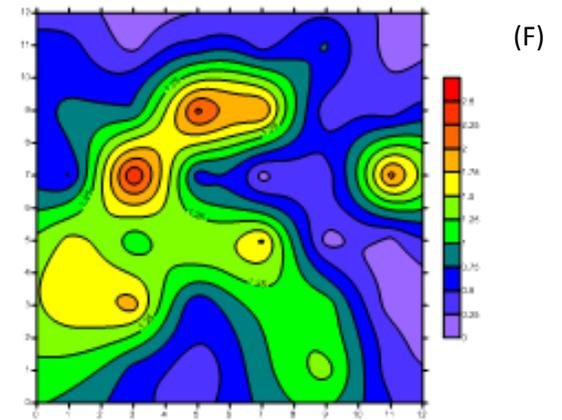
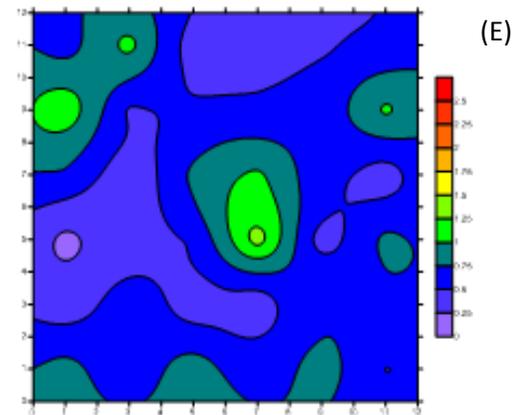
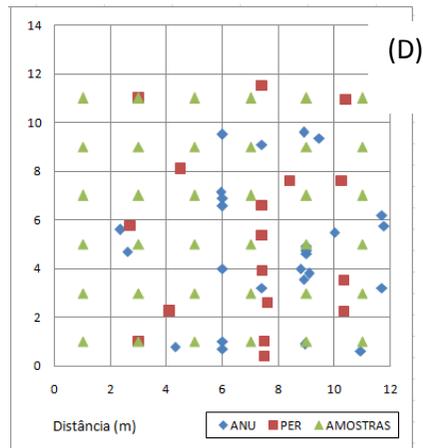
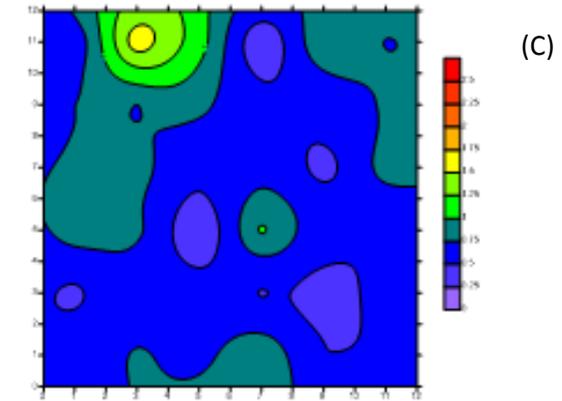
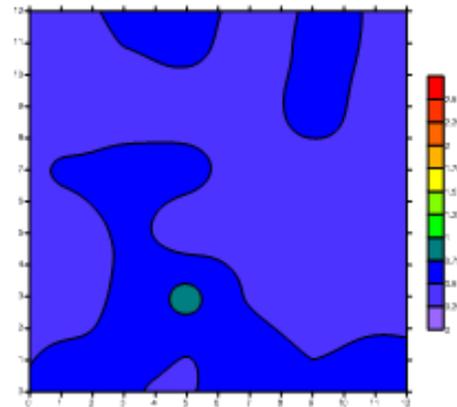
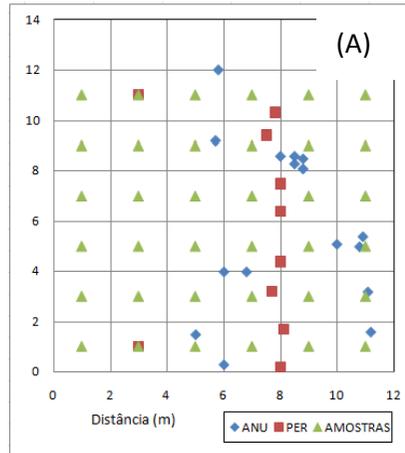
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 9. Respiração microbiana do solo (A), temperatura do solo (B) e carbono da biomassa (C) em função da zona de influência de espécies anuais (ANU), perenes (PER), anuais+perenes (ANU+PER) e sem influência das espécies (SI), (média \pm erro padrão). Médias com letras diferentes diferem significativamente pelo teste de Tukey (0,05); letras maiúsculas indicam diferença entre sistemas e minúsculas entre períodos.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 10-Croqui do sistema Adubadeiras (A), distribuição espacial do efluxo de CO₂ do solo (g CO₂ m⁻²h⁻¹) nos sistemas adubadeiras nos período menos chuvoso (B) e chuvoso (C). Croqui do sistema Biodiverso (D) e distribuição espacial do efluxo de CO₂ no sistema nos períodos menos chuvoso (E) e chuvoso (F).



6.2 Análise de Correlação

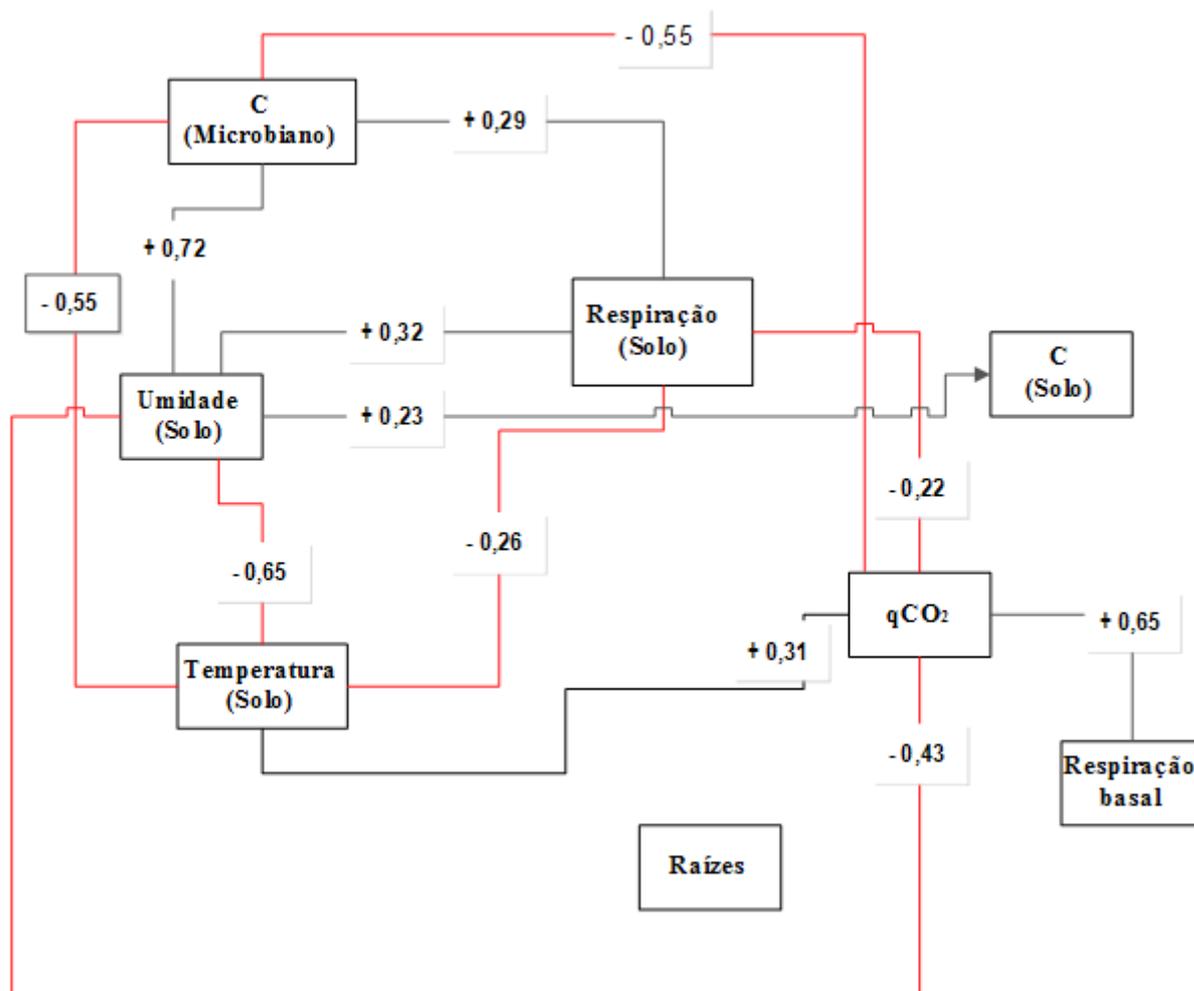
A correlação entre as variáveis analisadas nos períodos menos chuvoso e chuvoso é mostrada na Tabela 3..

Tabela 3 – Correlação de Pearson entre as variáveis analisadas (Índice de significância, p-valor <0,05) nos dois períodos avaliados.

Variáveis	TS	US	RAIZ	RB	SOLO-C	BIOM-C	qCO ₂
RESP	-0,26*	0,32*	0,03 ^{NS}	- 0,07 ^{NS}	0,006 ^{NS}	0,29*	-0,22**
	0,003	0,0001	0,7	0,4	0,9	0,001	0,01
TS		-0,65*	-0,09 ^{NS}	-0,1 ^{NS}	-0,1 ^{NS}	-0,55*	0,31*
		0,0001	0,3	0,22	0,24	0,0001	0,0004
US			-0,005 ^{NS}	-0,03 ^{NS}	0,23**	0,72*	-0,43*
			0,6	0,7	0,01	0,0001	0,0001
RAIZ				-0,02 ^{NS}	0,1 ^{NS}	-0,06 ^{NS}	0,07 ^{NS}
				0,8	0,2	0,5	0,4
RM					0,03 ^{NS}	-0,07 ^{NS}	0,65*
					0,7	0,4	0,0001
SOIL-C						0,03 ^{NS}	0,01 ^{NS}
						0,8	0,9
BIOM-C							-0,55*
							0,0001

Níveis de significância: *P <0,01; **P < 0,05; ***P < 0,10.; NS – não significativo. RESP– Efluxo de CO₂ do solo; TS- temperatura do solo; US –umidade do Solo; LIT-TOT- liteira total; LIT-C – carbono da liteira; LIT-N – nitrogênio da liteira; LIT-CN – relação C/N da liteira; RAIZ – raízes finas; RM – respiração microbiana do solo; SOIL-C – carbono do solo; SOIL-CN - relação C/N do solo; BIOM-C – Carbono da biomassa microbiana; BIOM-N – nitrogênio da biomassa microbiana; ns- não significativo.

Figura 11 – Diagrama das correlações entre as variáveis nos períodos menos chuvoso e chuvoso nos sistemas adubadeiras e biodiverso.



Respiração (Solo)– efluxo de CO₂ do solo; Temperatura (Solo)- temperatura do solo; Umidade (Solo) –umidade do Solo; Raízes – raízes finas; Respiração microbiana – respiração microbiana do solo; C (Solo) – carbono do solo; C (Microbiano) – Carbono da biomassa microbiana; qCO₂– coeficiente metabólico.

Fonte: Elaborado pela autora.

7- Discussão

Efluxo de CO₂ do solo

O efluxo de CO₂ do solo encontrado neste trabalho foi compatível com o efluxo relatado em dois sítios de floresta na Amazônia (SOTTA et al. 2006; ZANCHI et al. 2009) e em floresta tropical na Tailândia (ADACHI et al. 2009) que variaram de 0,5 a 1,6g CO₂ m⁻²h⁻¹. O maior efluxo de CO₂ do solo foi verificado no período chuvoso (0,81 ± 0,05 g CO₂ m⁻²h⁻¹), provavelmente, devido à maior população microbiana nesse período influenciada por fatores climáticos favoráveis (maior umidade do solo e menor temperatura do solo). Fatores climáticos podem influenciar a variação sazonal da respiração do solo, como a precipitação e conseqüentemente a umidade do solo (CHEN et al. 2010). A influência da umidade do solo sobre o efluxo de CO₂ do solo tende a ser mais forte para valores abaixo ou acima de valores críticos de umidade do solo (SOTTA et al. 2004). Isso ocorre devido à diminuição da oxigenação do solo e a modificação da difusão dos gases dentro do solo, que dificulta a respiração do solo quando a umidade do solo se torna maior do que um valor crítico (SOTTA et al. op. cit.; SOTTA et al. op. cit.).

Zanchi et al. (op. cit.) em estudo realizado na floresta amazônica observaram que a maior taxa de respiração do solo ocorreu na estação chuvosa, provavelmente devido ao aumento da produtividade, o que pode afetar positivamente a respiração das raízes. Além disso, os microorganismos do solo encontraram condições favoráveis para a decomposição da biomassa no período chuvoso; o que contribui para isso é a liteira que se acumulou durante a estação seca sobre o solo, a diminuição da temperatura do solo e o aumento da umidade do solo durante período chuvoso (ZANCHI et al. op. cit.).

De acordo com Hashimoto et al. (2004) o maior efluxo de CO₂ do solo no período chuvoso pode ser conseqüência da variação sazonal da umidade do solo em uma floresta tropical na Tailândia. O efluxo de CO₂ do solo variou de acordo com a umidade, diferente da temperatura do solo que variou pouco sazonalmente nessa região e não mostrou relação com a respiração do solo (HASHIMOTO et al., op. cit.).

O sistema biodiverso apresentou maior efluxo de CO₂ do solo do que o sistema adubadeiras, provavelmente devido à maior atividade biológica no solo nesse sistema que apresentou maior carbono da biomassa microbiana e maior estoque de carbono, o que está de acordo com Adachi et al. (2006) que observaram que o efluxo de CO₂ em plantios de palma de óleo é influenciado, principalmente, pelos microorganismos do solo, que decompõem a matéria orgânica. Porém, Adachi et al. (op. cit.) ao compararem três sistemas diferentes: floresta primária, floresta secundária e plantio de palma de óleo não observaram diferença no efluxo de CO₂ nos sistemas analisados sugerindo que a composição da cobertura vegetal não está entre os principais fatores influenciando o efluxo de CO₂ do solo.

Sotta et al. (2004) analisaram o efluxo de CO₂ do solo em área de floresta tropical na Amazônia e também não encontraram relação entre a biomassa acima do solo e o efluxo de CO₂ do solo, e sugeriram duas explicações para isso (1) o fato da distribuição de raízes e de liteira ser muito heterogênea; e (2) o crescimento de raízes ser influenciado por características do solo e a deposição de liteira pela posição e forma da copa das árvores ao invés da posição do tronco, que é o fator que foi levado em consideração nas medições. Como nos sistemas agroflorestais analisados neste trabalho a zona de influência foi definida a partir de um metro a partir do tronco das árvores também não foi encontrada relação entre a biomassa acima do solo e efluxo de CO₂. Além disso, os sistemas eram ainda muito jovens (três anos de idade), o que também pode ter contribuído para a ausência de relação estreita entre biomassa e efluxo de CO₂ do solo.

Para Chen et al. (2010), dependendo das espécies que compõem o sistema estudado, os fatores que influenciam o efluxo de CO₂ podem mudar; por exemplo, em cultivos agrícolas a dependência da respiração do solo em relação a temperatura é fortemente modulada pela disponibilidade de umidade do solo, que está diretamente associada a precipitação, pois cultivos agrícolas são mais intensamente expostos a atividades humanas e distúrbios do que florestas e pastagens. De acordo com Trumbore (2000) o uso da terra ou distúrbios levam a diminuição da respiração anual e isso enfraquece a resposta da respiração do solo em relação a temperatura do solo. Diferentes usos do solo podem modificar condições físicas, químicas e biológicas; modificações na umidade, temperatura e quantidade do carbono do solo podem alterar o metabolismo dos microorganismos do solo – alterando a dinâmica do carbono no solo e as emissões de gases do efeito estufa do solo para a atmosfera (SAMPAIO, 2007).

O sistema biodiverso mostrou-se de forma mais heterogênea, com coeficiente de variação alto para o efluxo de CO₂ do solo. Essa maior heterogeneidade observada no sistema biodiverso pode estar associada à maior diversidade e densidade de espécies nesse sistema, contribuindo para maior amplitude no efluxo de CO₂ do solo nesse sistema.

Os valores de coeficiente de variação do efluxo de CO₂ do solo relatados nesse trabalho (15 a 52%) estão de acordo com os valores obtidos por Sotta et al. (2006) (13 a 52%) em floresta madura na Amazônia e por Adachi et al. (2009) (53,1% no período chuvoso e 51,1 % no período seco) em área de floresta tropical na Tailândia. Um fator que pode explicar essa variabilidade alta do efluxo de CO₂ do solo nesses ecossistemas é a diferença na composição das espécies vegetais, que por sua vez alteram a estrutura do solo, como quantidade de raízes, biomassa vegetal deixada sobre o solo, composição da biomassa microbiana.

Outras variáveis analisadas

Os valores encontrados para a umidade do solo neste trabalho são compatíveis com os valores encontrados por D'andrea et al. (2010); Adachi et al. (2009). O sistema com maior cobertura do solo, sistema biodiverso, apresentou as maiores médias de umidade do solo nos dois períodos (chuvoso e menos chuvoso), sugerindo que a densidade das espécies que compõem os SAF's influencia na dinâmica do solo nessa área. O sistema com maior diversidade de espécies apresentou os melhores valores de efluxo de CO₂, umidade, estoque de carbono, população microbiana e de coeficiente metabólico, indicando que o sistema com maior cobertura do solo e conseqüentemente maior deposição de material orgânico sobre o solo contribui para um maior equilíbrio do sistema. De acordo com Pezarico; Vitorino; Mercante (2013) a maior diversidade de espécies contribui de forma significativa para a melhoria da qualidade do solo quando se compara sistemas com maior e menor diversidade de espécies.

De acordo com Sotta et al. (2004) a temperatura e a umidade do solo tem sido freqüentemente identificados como os fatores dominantes do efluxo de CO₂ do solo. Dessa forma, ambas variáveis devem explicar a variação temporal. Foram encontradas pequenas diferenças na temperatura do solo entre os períodos analisados, o que está de acordo com outros trabalhos desenvolvidos na região amazônica Zanchi et al. (2009); Sotta et al. (2007); Sotta et al. (op. cit.). A temperatura do solo só foi diferente entre os períodos no sistema adubadeiras, provavelmente, devido à menor cobertura do solo nesse sistema. A

menor cobertura vegetal no sistema adubadeiras pode levar à menor estabilidade da temperatura do solo, pois o solo mais exposto absorve maior parcela de radiação incidente do que os sistemas que tem maior cobertura vegetal, resultando em maior aquecimento diurno (SAMPAIO et al. 2010).

A temperatura do solo se manteve praticamente constante nos dois sistemas avaliados, com coeficientes de variação baixos, inferiores a 1%, enquanto o coeficiente de variação da umidade do solo pode ser classificado como médio, com valores de 11-15%, sendo maior no sistema biodiverso do que no sistema adubadeiras. Isso provavelmente ocorreu devido à maior diversidade e densidade da cobertura vegetal do sistema biodiverso, que contribui para a manutenção da água do solo, com menor evaporação e manutenção de temperatura mais amena do solo e do ar (OLIVEIRA et al. 2005).

O CV da variação espacial da temperatura do solo foi pequeno, provavelmente, devido à pequena oscilação na temperatura verificada na região amazônica (CARNEIRO et al. 2013) que não tem as quatro estações do ano bem definidas, sendo caracterizada apenas por período menos chuvoso e chuvoso. Adachi et al. 2009 encontraram pequena variação espacial na temperatura do solo (C. V. 4,2%), sendo que a diferença na média da temperatura do solo foi de 2°C. Sotta (2006) também encontrou pouca diferença entre a temperatura do solo em experimento na floresta amazônica. O coeficiente de variação da temperatura do solo encontrado por D'Andrea et al. (2010) foi pequeno (CV 1,5%) e da umidade do solo foi de 8,8%, mostrando pouca variação espacial dessas duas variáveis.

Em relação aos fatores bióticos, os valores de carbono da biomassa estão de acordo com os encontrados por Smith et al. (op. cit.); Sjögersten (2011); Simões et al. (2010). O carbono da biomassa foi maior no período chuvoso do que no período menos chuvoso, o que está de acordo com outros trabalhos desenvolvidos na região (GAMA-RODRIGUES et al. 2005; SILVA JUNIOR, et al. 2013). Esse aumento do carbono da biomassa no período chuvoso pode estar associado com o aumento da disponibilidade de nutrientes nesse período em decorrência do aumento da umidade do solo e da decomposição.

A maior cobertura vegetal e fatores abióticos mais propícios, maior umidade do solo e menor temperatura, para o desenvolvimento da atividade microbiana podem explicar porque o sistema biodiverso apresentou os maiores valores de carbono microbiano, carbono total do solo, e menor coeficiente metabólico. De acordo com Rangel-Vasconcelos et al. (2005), a cobertura do solo atua na manutenção da umidade do solo e de acordo com

Luizão, Bonder e Rosswall (1992) a alta produção de CO₂ em solos da Amazônia no período chuvoso sugere que a atividade microbiana é estimulada pelo aumento da disponibilidade de água

De acordo com Silva, Sena e Silva Junior (2007b) os maiores valores de carbono microbiano encontrados no período chuvoso, podem estar relacionados com o maior teor de umidade do solo, promovendo maior atividade da microbiota do solo sobre a decomposição da matéria orgânica. Como a biomassa microbiana apresenta uma rápida taxa de ciclagem, este compartimento reflete mudanças conforme os fatores abióticos (GAMA-RODRIGUES et al. 2005).

Em estudo realizado por Silva, Sena e Silva Junior (2007b), em Marituba-PA, testando diferentes sistemas agroflorestais compostos por cacaueteiro (*Theobroma cacao*), açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart) e pupunheira (*Bactris gasipaes* Kunth) e dois sistemas convencionais (açai e pupunha) e um sistema de floresta secundária, também foram encontrados valores de carbono microbiano maiores no período chuvoso do que no período menos chuvoso para os sistemas analisados. Os valores encontrados de respiração microbiana do solo e do coeficiente metabólico foram maiores do que os valores encontrados por Simões et al. 2010.

O quociente metabólico do solo foi mais afetado pela variação sazonal do que pelos sistemas agroflorestais, sendo maior no período menos chuvoso do que no período chuvoso. Isso pode ser explicado porque a variação temporal influenciaria também a eficiência dos microrganismos em utilizar o substrato para a sua atividade (qCO₂) e em incorporar o C a sua biomassa, tendo em vista que o quociente metabólico indica que à medida que determinada população microbiana se tornasse mais eficiente, menos C seria perdido como CO₂ pela respiração e maior proporção de C seria incorporada ao tecido microbiano (GAMA-RODRIGUES et al. 2005). De acordo com Rangel-Vasconcelos et al. (2005) baixos valores de qCO₂ sugerem maior eficiência da BMS em imobilizar carbono, e que os elevados valores de qCO₂ sugerem que a BMS está mineralizando mais carbono do que imobilizando.

O maior valor de respiração microbiana foi encontrado na época chuvosa no sistema adubadeiras, sugerindo que a atividade microbiana foi estimulada pelo aumento da umidade do solo. O sistema biodiverso apresentou padrão diferente em relação à respiração

microbiana do solo, sendo menor no período chuvoso, possivelmente devido ao excesso de água no solo que pode ter influenciado na difusividade de gases no solo.

Correlação entre as variáveis

O efluxo de CO₂ do solo apresentou correlação significativa com as variáveis ambientais umidade (+0,32) e temperatura do solo (-0,26), o que está de acordo com os resultados de Sotta et al. (2006). No entanto, Sotta et al. (2004) não encontraram forte correlação entre a umidade do solo e o efluxo de CO₂ do solo; embora o efluxo de CO₂ do solo seja afetado pela disponibilidade de água no solo, a umidade do solo só tende a ter forte influência na taxa de efluxo abaixo ou acima de valores extremos críticos de umidade do solo. Assim, a influência da água nas medições do efluxo foram, provavelmente, pequenas; talvez, por isso não tenha sido encontrada forte correlação entre umidade do solo e efluxo de CO₂ nos sistemas agroflorestais analisados.

D'Andrea (2009) observou que os fatores abióticos do ambiente (temperatura e umidade) não foram os principais determinantes dos fluxos de CO₂ do solo em cafeeiros pois fatores bióticos (plantas e microbiota do solo) são que parecem condicionar as emissões nesses ecossistemas. Adachi et al. (2009) não encontraram relação consistente entre a respiração do solo e a umidade do solo.

Os fatores bióticos raízes finas do solo, carbono do solo e respiração microbiana não apresentaram correlação com o efluxo de CO₂, provavelmente por se tratar de uma área jovem, com apenas três anos de idade no período de coleta. Smith et al. (2012) observaram aumento da quantidade de raízes em plantios mais velhos de palma de óleo em relação aos mais novos. O carbono da biomassa microbiana teve fraca correlação positiva com o efluxo de CO₂ do solo, mas talvez essa relação fique mais forte à medida que o plantio for adquirindo mais idade. Por exemplo, Haron et al. (1998) encontraram uma tendência de aumento da biomassa microbiana com o aumento da idade de plantio de palma de óleo na Malásia.

Adachi et al. (2006) consideraram em trabalho desenvolvido em plantios de palma de óleo com mais de vinte anos de idade, que a matéria orgânica do solo é o fator mais importante afetando a respiração do solo. De acordo com D'Andrea et al. 2010 as emissões de gás carbônico do solo são de natureza complexa, não sendo possível identificar um único atributo do solo ou do ambiente que isoladamente, explique sua variação no espaço. Logo, para que se chegue a conclusões mais consistentes é necessário que as análises

sejam efetuadas por um período mais longo do que o realizado neste trabalho, que foi de um ano.

É possível observar a natureza complexa desse fenômeno observando a Figura 11 em cujo diagrama estão as relações em torno do efluxo de CO₂ do solo. Neste, somente quatro variáveis estão diretamente correlacionadas com a respiração do solo, mas outras variáveis influenciam estas, de diversas maneiras, formando um emaranhado de relações, em que o que afeta uma variável influencia as outras variáveis. Por isso a dificuldade em entender o comportamento do efluxo de CO₂ do solo no presente estudo. Em estudos futuros devem (1) ser feitas mais medições durante o ano e durante cada dia de medição no mesmo ponto, pois talvez a emissão de CO₂ do solo tenha diferentes comportamentos ao longo do dia (falta citação.) e (2) ser escolhidas áreas mais antigas. Para analisar a zona de influência das espécies, sugere-se que o raio da zona de influência das espécies seja determinado de acordo com a copa das árvores e não apenas de acordo com a localização geográfica.

8 Conclusões

- O efluxo de CO₂ do variou sazonalmente, sendo que no período chuvoso houve o maior efluxo de CO₂ do solo;
- O efluxo de CO₂ do solo variou entre os sistemas analisados, mas a causa dessa variação não foi a disposição espacial das espécies;
- As variáveis que influenciaram diretamente o efluxo de CO₂ foram umidade e temperatura do solo, carbono da biomassa e coeficiente metabólico. As outras variáveis influenciam de forma indireta o efluxo, com exceção das raízes finas do solo, que não mostraram relação com as outras variáveis analisadas; e
- O fato da área de plantio ser muito jovem pode ser um fator determinante para que não tenha sido encontrada relação mais forte da respiração do solo com as variáveis analisadas.

REFERÊNCIAS

- ADACHI, M. et al. Differences in soil respiration between different tropical ecosystems. **Applied Soil Ecology**, v. 34, p. 258–265. 2006.
- ADACHI, M. et al. Spatial and temporal variation in soil respiration in a seasonally dry tropical forest, Thailand. **Journal of Tropical Ecology**, v. 1, p. 531–539. 2009.
- AKINREMI, O. O; MCGINN, S. M.; MCLEAN, H. D. J. Effects of soil temperature and moisture on soil respiration in barley and fallow plots. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 79, p. 5-13. 1998.
- ALBRECHT, A.; KANDJI S. T. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.99, p. 15–27. 2003.
- ASNER, G. P. et al. Canopy damage and recovery after selective logging in Amazonia: field and satellite studies. **Ecological Applications**, v.14, p. 280–298. 2004.
- BERTONE, M. V. A Importância do programa de produção sustentável de Palma de Óleo. In: EMBRAPA – AGROENERGIA. **Palmas para o Dendê. Produtividade e Sustentabilidade Palmas em Revista**. Brasília, DF: Agroenergia em Revista, 2011. p. 6-7.
- 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.
- BRANCO, L. G. B. Biocombustíveis brasileiros e o mercado internacional: desafios e oportunidades. **Revista CEJ**, n. 46, p. 39-48. 2009.
- BRASIL. **Lei Nº 11.097, de 13 de Janeiro de 2005**. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/Lei/L11097.htm>. Acesso em 10 de fev. 2013.
- BRITO, L. F. et al. Spatial variability of soil CO₂ emission in different topographic positions. **Bragantia**, v. 69, p. 19-27. 2010.
- BUCHMANN, N. Biotic and abiotic factors controlling soil respiration rates in *Piceaabies* stands. **Soil Biology e Biochemistry**, v. 32, p. 1625-1635. 2000.
- CAMPELLO, E. F. C. **Avaliação de genótipos de dendê quanto a adaptação em áreas alteradas pela mineração de Bauxita em Porto Trombetas, município de Oriximiná, PA**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2008. 26p. (Documentos 255).

CARNEIRO, R. C. et al. Estudo da temperatura do solo em dois biomas florestais nos períodos, chuvoso e seco. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.6, n.4, p. 1009-1022. 2013.

CHAPIN III, F. S.; MATSON, P. A.; MOONEY, H. A. **Principles of terrestrial ecosystem ecology**. New York : Springer-Verlag, 2002. 436 p.

CHEN, S. et al. Modeling interannual variability of global soil respiration from climate and soil properties. ***Agricultural and Forest Meteorology***, v.150, p. 590-605. 2010.

COSTA, M. H.; FOLEY, J. A. Combined effects of deforestation and doubled atmospheric CO₂ concentrations on the climate of Amazônia. ***Journal of Climate***, v. 13, p.18-34. 2000.

D'ANDREA, A. F. et al. Variações de curto prazo nas emissões de CO₂ do solo em difernetes sistemas de manejo de cafeeiro. ***Química Nova***, v. 32, p. 2314-2317. 2009.

D'ANDREA, A. F. et al. Variações de curto prazo no fluxo e variabilidade espacial do CO₂ do solo em floresta nativa. ***Pesquisa Florestal Brasileira***, Colombo, v. 30, p. 85-92. 2010.

DAVIDSON, E. A. et al. Effects of soil water content on soil respiration in forests and cattle pastures of eastern Amazonia. ***Biogeochemistry***, v.48, p. 53–69. 2000.

DIAS, J. D. **Fluxo de CO₂ proveniente da respiração do solo em áreas de florestas nativa da Amazônia**. 2006a. 87f. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) - Escola superior de Agricultura Luiz de Queiroz - ESALQ, Pracicaba, 2006a.

DIAS, M. A. F. da S. Meteorologia, desmatamento e queimadas na Amazônia: uma síntese de resultados do LBA. ***Revista Brasileira de Meteorologia***, v. 21, n.3a, p. 190-199. 2006b.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212p.

ENGEL, V. L. **Introdução aos Sistemas Agroflorestais**. Botucatu: FEPAF, 70p. 1999.

FEARNSIDE, P. M. **A floresta amazônica nas mudanças globais**. Manaus: INPA, 134 p. 2003.

FEARNSIDE, P. M. Brazil's Amazon Forest and the Global Carbon Problem. ***Interciência***, v. 10, n. 4, p. 179-186. 1985.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. ***Acta Amazonica***, v.36, n.3, p. 395 – 400. 2006.

FEARNSIDE, P. M. Uso da terra na Amazônia e as mudanças climáticas globais. ***Revista Sociedade Ecológica do Brasil***, v. 10, n. 2, p. 83-100. 2007.

FEARNSIDE, P.M. Mudanças climáticas globais e a floresta amazônica. In: Buckeridge, M. S. (ed.), **Biologia e Mudanças Climáticas Globais no Brasil**. São Paulo: RiMa Editora, p. 31-150. 2008.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência Agrotécnica**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042. 2011.

FLANGAN, L. B.; JOHNSON, B. G. Interacting effects of temperature, soil moisture and plant biomass production on ecosystem respiration in a northern temperate grassland. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.130, p. 237–253. 2005.

GALFORD, G. L. et al. Greenhouse gas emissions from alternative futures of deforestation and agricultural management in the southern Amazon. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 107, n. 46, p. 19649–19654, 2010.

GAMA-RODRIGUES, E. F. et al. 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.

GARCEZ, S. L. A.; MOTTA, M. A. S. Validação das observações feitas com o pluviômetro de garrafa PET na cidade de Belém-PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16. 2010, Belém – PA. **Anais** Belém: CBMET, 2010.1CD- ROM.

GASH, J. H. C.; NOBRE, C. A. Climatic effects of Amazonian Deforestation: some results from ABRACOS. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.78, n. 5, p. 823-830. 1997.

GLOBAL CARBON PROJECT. Science Framework and Implementation. **Earth System Science Partnership** (IGBP, IHDP, WCRP, DIVERSITAS). Report No. 1; Global Carbon Project Report, Canberra, n. 1, 2003. 69 p.

GUREVITCH, JESSICA; SCHEINER, S. M.; GORDON, A. **Ecologia Vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2009. 592p.

HARON, K. et al. Microbial biomass and soil organic matter dynamics in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) plantations, West Malasya. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 30, n. 5, p. 547-552. 1998.

HASHIMOTO, S. et al. Soil respiration and soil CO₂ concentration in a tropical forest, Thailand. **Journal of Forest Research**, v. 9, p. 75–79. 2004.

HOUGHTON, R. A. The Woods hole research center, woods hole, Massachusetts, US, In: MOUTINHO, P.; SCHWARTZMAN, S. (Ed.). **Tropical deforestation and climate change**. Belém, PA : IPAM - Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia; Washington DC - USA: Environmental Defense, 2005.131p.

JENKINSON, D.S.; POWLSON, D.S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil.Method for measuring soil biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, v.8, p. 209-213. 1976.

KATO, O. R. et al. Projeto dendê em sistemas agroflorestais na agricultura familiar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 2011, Belém. **Anais...** Belém: SBSAF; Embrapa Amazônia Oriental; UFRA; CEPLAC; EMATER ; ICRAF, 2011. 1CD- ROM.

KOSUGI, Y. A. et al. Spatial and temporal variation in soil respiration in a Southeast Asian tropical rainforest. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.147, p. 35–47. 2007.

KRUSCHE, A. V. et al. Efeitos das mudanças do uso da terra na biogeoquímica dos corpos d'água da bacia do rio Ji-Paraná, Rondônia. **Acta Amazônica**, v. 35, n. 2, p. 197 – 205. 2005.

KUTSCH, W. L.; BAHN, M.; EHEINEMEYER, A. Soil Carbon relations: an overview. In: Kutsch, W. L.; Bahn, J. M.; Stockholmk, A. H. **Soil Carbon Dynamics: An Integrated Methodology**. Cambridge University Press, New York, 2009. 286 p.

LAL, R. Forest soils and carbon sequestration. **Forest Ecology and Management**, v. 220, p. 242–258. 2005.

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

LAW, M. C. et al. Spatial variability of soil organic in oil palm. **International Journal of Soil Science**, v. 4, p. 93 – 103. 2009.

LOPES, R. et al. In: Albuquerque, A.C.S.; Silva, A.G. (Ed.). **Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, v. 1, p. 767-786. 2008.

LUIZAO, R. C. C.; BONDER, T. A.; ROSSWAL, H. Seasonal variation of soil microbial biomass-the effects of clearfelling a tropical rainforest and establishment of pasture in the Central Amazon. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 24, n. 8, p. 805-813. 1992.

MACEDO, R. L. G. **Princípios básicos para o manejo sustentável de sistemas agroflorestais**.Lavras: UFLA/FAEPE, 2000. 157p.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e efeitos sobre biodiversidade**: caracterização do clima no Século XX e cenários climáticos no Brasil e na América do Sul para o Século XXI derivados dos modelos globais de clima do IPCC. São Paulo: CPTEC/INPE, 2007. 28 p.

MARTINS, E. L.; CORINGA, J. do E. S.; WEBER, O. L. S. Carbono orgânico nas frações granulométricas e substâncias húmicas de um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico – LVAd sob diferentes agrossistemasvol. **Acta Amazônica**, v.39, n. 3, p. 655 – 660. 2009.

MARTINS, H. et al. Boletim do Desmatamento (SAD) Junho de 2013. **Boletim Transparência Florestal da Amazônia Legal**. Belém: Imazon, dezembro, 13 p. Junho, 2013.

MERBOLD, L. et al. Spatial and temporal variation of CO₂ efflux along a disturbance gradient in *miombo* woodland in Western Zambia. **Biogeosciences**, v. 8, p. 147-164. 2011.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade nos biomas brasileiros**. Brasília, DF: MMA/SBF, 2002. 404 p.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Programa Nacional de produção e uso de biodiesel.** Disponível em <http://www.mme.gov.br/programas/biodiesel/menu/programa/objetivos_diretrizes.html>. Acesso em 10/02/2013.

MORARU, P. I.; RUSU, T.; SOPTEREAN, M. L. Soil Tillage Conservation and its Effect on Erosion Control, Water Management and Carbon Sequestration. **ProEnvironment**, v. 3, p. 359-366. 2010.

MÜLLER, A. A.; FURLAN JUNIOR, J.; CELESTINO FILHO, P. A. **Embrapa Amazônia Oriental e o agronegócio do dendê no Pará.** Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2006. 67 p.

MÜLLER, A. A. et al. **DENDÊ – Problemas e Perspectivas na Amazônia.** EMBRAPA-UEPAE de Belém. Belém, PA. 1989. 19 p.

NASCIMENTO, C. N. B.; HOMMA, A. K. O. **Amazônia: meio ambiente e tecnologia agrícola.** Belém: EMBRAPA-CPATU, 1982. 282 p.

NEVES, C. M. N. et al. Indicadores biológicos da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril no noroeste do estado de Minas Gerais. **Ciência Agrotécnica**, v. 33, n. 1, p. 105-112. 2009.

NOBRE, C. A. Brazil and climate change – the context. IN: Brazil and climate change: vulnerability, impacts and adaptation. **Climate Change**, Brasília: Center for Strategic Studies and Management. 2009. 282 p.

NOBRE, C. A.; NOBRE, A. D. O Balanço de carbono da Amazônia brasileira. **Estudos Avançados**, v. 16, n. 45, p.81-90. 2002.

NOBRE, C. A.; SELLERS, P. J.; SHUKLA. Amazon deforestation and regional climate change. **Journal of climate**, v. 4, p. 957-988. 1991.

OLIVEIRA, M. L. DE; et al. Flutuações de temperatura e umidade do solo em resposta à cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.4, p.535-539. 2005.

PANOSSO, A. R. et al. Variabilidade espacial da emissão de CO₂ em latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar em diferentes sistemas de manejo. **Engenharia Agrícola Jaboticabal**, v.28, n.2, p. 227-236. 2008.

PEZARICO, C. R. et al. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 56, n. 1, p. 40-47. 2013.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental.** 12. ed. Piracicaba: Nobel, 467p. 1990.

PINTO-JUNIOR, O. B. et al. de. Efluxo de CO₂ do solo em floresta de transição Amazônia Cerrado e em área de pastagem. **Acta Amazônica**, v. 39, n. 4. p. 813 – 822. 2009.

RAICH, J. W.; BOWDEH, R. D. STEUDLER, P. A. Comparison of two static chamber techniques for determining carbon dioxide efflux from forest soils. **Soil Science Society of America Journal**, USA, v. 54 , n. 6, p. 1754-1757, Nov-Dez. 1990.

RAICH, J. W.; POTTER, C. S.; BHAGAWATI, D. Interannual variability in global soil respiration. **Global Change Biology**, v. 8, p. 800-81. 2002.

RAICH, J. W.; SCHLESINGER, W. H. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. **Tellus**, v. 44 B, p. 81-99. 1992.

RANGEL-VASCONCELOS, L. G. T. R. et al. Carbono, nitrogênio e atividade da biomassa microbiana de um solo sob vegetação secundária de diferentes idades na Amazônia Oriental. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, n.44, p. 49-63, jul./dez. 2005.

RIGHI, C. A.; BERNARDES, M. S. Disponibilidade de energia radiante em um sistema agroflorestal com seringueiras: produtividade do feijoeiro. **Bragantia**, v.67, n.2, p. 533-540. 2008.

RYAN, M. G.; LAW, B. E. Interpreting, measuring, and modeling soil respiration. **Biogeochemistry**, v. 73, p. 3-27. 2005.

SALAZAR, L. F.; NOBRE, C.A; OYAMA, M. D. Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America. **Geophysical Research Letters**, v. 34. p. 1-6. 2007.

SAMPAIO, G. et al. Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion. **Geophysical Research Letters**, v. 34, p. 1-7. 2007.

SANCHEZ, P. A. Science in agroforestry. **Agroforestry Systems**, v. 30, p. 5-50.1995.

SANTOS, G. de A. et al. (Ed.) Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2 ed., Porto Alegre: Metrópole, 2008. 654p.

SILVA JUNIOR, A. C. da. **Influência da variação sazonal de atributos de fertilidade do solo sobre a biomassa microbiana em uma cronosequência de plantio de palma de óleo (*Elaeis oleifera* (Kunth) Cortés) no Nordeste Paraense**. 2013. 66f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural da Amazônia- UFRA, Belém, 2013.

SILVA, E. E. da; AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, H.. **Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO₂)**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-Seropédica, agosto, 4p. 2007A. (EMBRAPA- Seropédica. Comunicado técnico 99).

SILVA, G. R.; SENA, W. L.; SILVA JUNIOR, M. L. Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana como indicadores ambientais de um latossolo amarelo sob diferentes sistemas de manejo, Marituba, Pará. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, n. 48, p.71-84. 2007b.

SIMÕES, S. M. O. et al. Carbono orgânico e biomassa microbiana do solo em plantios de *Acaci amangium* no cerrado de Roraima. **Acta Amazonica**, v. 40, n. 1, p. 23 – 30. 2010.

SJÖGERSTEN, S. et al. Biogeochemical processes along a nutrient gradient in a tropical ombrotrophic peatland. **Biogeochemistry**, v. 104, p. 147-163. 2011.

- SMITH, D. R. et al. Short-term soil carbon sink potential of oil palm plantations. **Global Change Biology - Bioenergy**, v. 4, p.588-596. 2012.
- SOE, A. R.; BUCHMANN, N. Spatial and temporal variations in soil respiration in relation to stand structure and soil parameters in an unmanaged beech forest. **Tree Physiology**, v. 25, p. 1427–1436. 2005.
- SOTTA, E. D. et al. Soil Efflux in a tropical Forest in the central Amazon. **Global Change Biology**, v. 10, p. 601–617. 2004.
- SOTTA, E. D. et al. Landscape and climatic controls on spatial and temporal variation in soil CO₂ efflux in an Eastern Amazonian Rainforest, Caxiuanã, Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 237, p. 57–64. 2006.
- SOTTA, E. D. et al. Effects of an induced drought on soil carbon dioxide (CO₂) efflux and soil CO₂ production in an Eastern Amazonian rain forest, Brazil. **Global Change Biology**, v. 13, p. 2218–2229. 2007.
- STAATEN, O. V. et al. Drought effects on soil CO₂ efflux in a cacao agroforestry system in Sulawesi, Indonesia. **Biogeoscience discuss**, v. 6, p. 11541-11576. 2009.
- SUPERINTENDÊNCIA DA ZONA FRANCA DE MANAUS (SUFRAMA). **Potencialidades regionais** – estudo de viabilidade econômica – dndê sumário executivo. Manaus: SUFRAMA, 2003. 15p.
- SUWA, M. et al. Impact of elevated atmospheric CO₂ on forest floor respiration in a temperate pine forest. **Global Biogeochemical Cycles**, USA, v. 18, p. 1-14. 2004.
- TANOUE, F. O.; PAULLILO, L. F. ; VIANA, C. E. F. O Biodiesel no Brasil: panorama, perspectivas e desafios. **Informações Econômicas**, SP, v.37, n.1, p.28-40, jan. 2007.
- TRUMBORE, S. Age of soil organic matter and soil respiration radiocarbon constraints on Belowground C dynamics. **Ecological Applications**, v. 10, n.2, p. 399-411. 2000.
- VARELA, L. B; SANTANA, A. C. Aspectos econômicos da produção e do risco nos sistemas agroflorestais e nos sistemas tradicionais de produção agrícola em Tomé-Açu, Pará – 2001 A 2003. **Revista Árvore**, MG, v.33, n.1, p.151-160. 2009.
- VINCENT, G. L. et al. Spatial and seasonal variations in soil respiration in a temperate deciduous forest with fluctuating water table. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 38, p. 2527–2535. 2006.
- WERNIGERODE, A. E.; ANDRADE, E. B. **Cultivo intercalar de milho seguido de caupinum plantio de dendê**. Belém: EMBRAPA-CPATU. Circular técnica. 1983. 12p.
- YARED, J.A.G.; BRIENZA JUNIOR, S.; MARQUES, L.C. T. **Agrossilvicultura: conceitos, classificação e oportunidades para aplicação na Amazônia brasileira**. Belém: Embrapa-CPATU, 1998. 39p. (Embrapa-CPA TU. Documentos, 104).
- ZANCHI, F. B. et al. O. Measurements of soil respiration and simple models dependent on moisture and temperature for an Amazonian southwest tropical Forest. **Biogeosciences**, v. 6, p. 6147–6177. 2009.