



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ - UFPA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - IG
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS – PPGCA**

CLEYRIANE MIRANDA DA SILVA

**VARIABILIDADE ESPAÇO TEMPORAL DO EFLUXO DE CO₂ DO SOLO
ASSOCIADO A FATORES ABIÓTICOS EM CULTIVO DE HÍBRIDOS**

BELÉM – PARÁ

2018

CLEYRIANE MIRANDA DA SILVA

**VARIABILIDADE ESPAÇO TEMPORAL DO EFLUXO DE CO₂ DO SOLO
ASSOCIADO A FATORES ABIÓTICOS EM CULTIVO DE HÍBRIDOS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências (IG) da Universidade Federal do Pará (UFPA), em convênio com o Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG) e Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA - Amazônia Oriental), em cumprimento das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Área de Concentração: Ecossistemas Amazônicos e Dinâmica Sócio-ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Alessandro C. de Araújo
Coorientador: Prof. Dr. Steel S. Vasconcelos

BELÉM – PARÁ

2018

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca do Instituto de Geociências/SIBI/UFPA

Silva, Cleyriane Miranda da, 1981-

Variabilidade espaço temporal do efluxo de CO₂ do solo associado a fatores abióticos em cultivo de híbridos / Cleyriane Miranda da Silva. – 2018

91 f. ; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientador: Alessandro Carioca de Araújo

Coorientador: Steel Silva Vasconcelos

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Belém, 2015.

1. Palmeira oleaginosa. 2. Solos - Temperatura. I. Título.

CDD 22. ed.: 633.851

Elaborado por
Hélio Braga Martins
CRB-2/698

CLEYRIANE MIRANDA DA SILVA

**VARIABILIDADE ESPAÇO TEMPORAL DO EFLUXO DE CO₂ DO SOLO
ASSOCIADO A FATORES ABIÓTICOS EM CULTIVO DE HÍBRIDOS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências (IG) da Universidade Federal do Pará (UFPA), em convênio com o Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG) e Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA - Amazônia Oriental), em cumprimento das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Área de Concentração: Ecossistemas Amazônicos e Dinâmicas Socioambientais.

Data de aprovação: 27/04/2015 Hora: 16:30hs

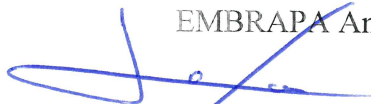
Banca Examinadora:



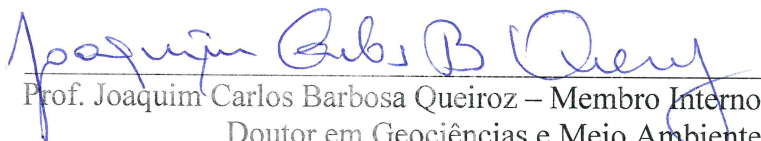
Prof. Alessandro Carioca de Araújo – Orientador
Doutor em Ciências Geoambientais
EMBRAPA Amazônia Oriental



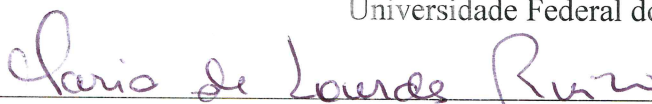
Prof. Steel Silva Vasconcelos – Coorientador
Doutor em Recursos e Conservação Florestais
EMBRAPA Amazônia Oriental



Prof. Antônio Carlos Lora da Costa – Membro Externo
Doutor em Engenharia Ambiental
Universidade Federal do Pará



Prof. Joaquim Carlos Barbosa Queiroz – Membro Interno
Doutor em Geociências e Meio Ambiente
Universidade Federal do Pará



Prof. Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo – Membro Externo
Doutora em Agronomia
Museu Paraense Emilio Goeldi

*Dedico este valioso trabalho a minha grande mestre **Benedita M. M. Miranda** pela dedicação de ser mãe, professora e exemplo de vida, principalmente pelos saudosos e longos dias e noites a me esperar e a meus irmãos que merecem essa vitória por suas batalhas diárias.*

Tudo que faço só vale a pena porque a alma não é pequena.

AGRADECIMENTOS

A **Deus** (todos os dias) porque sempre esteve presente como um elo de aliança.

À Universidade Federal do Pará – **UFPA** por todos os anos de ensinamento (graduação, especialização e mestrado) essenciais para meu crescimento educacional.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - **CAPES** pela concessão da bolsa de mestrado fundamental para realização dessa fase profissional.

Ao **orientador** Prof. Dr. Alessandro Carioca de Araújo e ao **Coorientador** Prof. Dr. Steel Silva Vasconcelos pela oportunidade de estágio no projeto “Caracterização micrometeorológica e emissão de CO₂ em cultivo da palma de óleo com híbridos interespecíficos (*Elaeis guineensis* x *Elaeis oleifera*) no leste da Amazônia”.

A **Embrapa Amazônia Oriental** por ter me concedido o apoio total do ambiente através do estágio, dos processamentos e análise das amostras e dos dados no Laboratório de Ecofisiologia e Propagação de Plantas – LASS, e a todos que fazem parte da equipe: Ivanildo Trindade, Cléo Souza, Neusa Ferreira e demais funcionários.

A **Marborges S.A.** pelo grande apoio dado a pesquisa, em nome do Sr. Antônio J. de Abreu Pina e o Sr. Carlos Quaresma.

Ao **Museu Paraense Emílio Goeldi**, pela parceria no curso de mestrado e ensinamento dos professores.

Aos **membros da banca examinadora**, pela aceitação do convite e pela disponibilidade de tempo e ajuda com as correções.

À **professora** Aline Meiguins pelo acolhimento, compreensão e confiança ao dizer: você consegue... Grandemente e eternamente muito obrigada.

Ao **professor** Joaquim pela grande e valiosa ajuda com a estatística do trabalho.

Aos que de alguma forma me auxiliaram em campo, no laboratório e nas viagens para área de estudo, principalmente **aos raros e inesquecíveis** que me apoiaram, respeitaram e estenderam a mão quando mais precisei: Mary Machado, Cynthia Lima e Bruno Ferreira. Obrigada.

A minha **turma** por fazer parte da história de cada um e compartilhar os breves e únicos momentos com vocês principalmente: Luciana Monteiro, Josiane Sarmiento, Bruno Delano e Thalita Sousa e a todos que conheci através do programa PPGCA.

A todas as pessoas e os lugares que passei dos que me incentivaram aos que nunca perderam a oportunidade de me criticar, isso também foi um incentivo a seguir.

A minha **mãe**, meu tudo, minha vida, troco ouros por sua presença serena. Suas preces alcançam aos céus e refletem nas bênçãos que recebo diariamente de Deus.

A meus **irmãos** (Cyva Tathiane, Geraldo Kenndy, Kleyton Gemaque, Charliane e Danilo Austríaco) apesar de distantes sei o quanto torcem por mim, vocês merecem.

A meus **amigos** principalmente aos que sempre estiveram com os braços abertos a me acolher, conhecendo minha pequenez sabem me engrandecer: Rissandreia Dantas e família, Raquel Bechara, Eliete Araújo, Railene Lima (pessoa que vê o meu avesso), Leiliane Santos, Ercilana, Marinalva Brito (mãe do coração), a prima Ruth Souza pelas orações, a professora Patrícia Nunes que chegou aos últimos minutos do segundo tempo, mas sei o quanto torce e fica feliz por mim, saiba que fez uma grande diferença. Amigos mais do que palavras, meu carinho a cada encontro, desencontro e reencontro dizem tudo o que vocês representam para mim. Desejo a vocês: felicidade, cumplicidade, sucesso e paz.

“os vencedores da batalha da vida, são homens perseverantes que sem se julgarem gênios, se convenceram que só pela perseverança e esforço, poderiam chegar ao fim almejado” Ralph Waldo Emerson.

“A persistência é o caminho do êxito” Chaplin.

RESUMO

A palmicultura ou dendeicultura cultiva a espécie oleaginosa popularmente conhecida por dendê. Conhecer os efeitos ambientais desta cultura principalmente através dos ensaios analisados de híbridos interespecíficos (*Elaeis guineensis* x *Elaeis oleifera*) é de suma importância, já que estes são os únicos plantados pelo Pró Dendê em uma área de alta incidência de AF no Brasil. O objetivo geral é avaliar a variabilidade espacial e temporal do estoque de raízes e do efluxo do CO₂ do solo em cultivo de híbrido interespecífico de palma de óleo (*Elaeis guineensis* x *Elaeis oleifera*) no Leste da Amazônia. As pesquisas de campo foram realizadas em propriedade pertencente à empresa Marborges Agroindústria S. A., localizada na vila de Bacuriteua, no Município de Moju - Pará. Na área foram selecionadas quatro parcelas com um total de 32 pontos distribuídos em locais denominados de base, terço-médio da folha, carreador e empilhamento. A determinação do estoque de raízes foi feita através da técnica do trado na faixa de profundidade de 0-10 cm nos meses de janeiro, abril, julho e outubro, sendo lavadas, separadas, secadas e pesadas para o peso seco no laboratório. Para o efluxo de CO₂ do solo utilizou-se um analisador de gás por infravermelho LI-COR 6400-09 acoplado à uma câmara dinâmica, além de um termômetro no qual foram medidos a temperatura do solo. Houve dados para obtenção de umidade gravimétrica, carbono e nitrogênio do solo. Nos resultados relacionados à biomassa de raízes houve uma redução na porcentagem com o aumento da classe de diâmetro, em relação as frequências das distribuições a biomassa de raízes, nenhuma das classes em estudo diferiram estatisticamente nem para o período e nem para o local de amostragem, assim para este estudo nenhuma conclusão definitiva pode ser tomada a cerca do quanto a variabilidade espacial influencia no estoque de raízes. Os resultados apresentados mostram que não houve diferença significativa na concentração do carbono orgânico do solo e nem no nitrogênio entre os locais de coleta. A análise estatística confirmou que não houve resposta satisfatória na correlação entre o efluxo de CO₂ e a temperatura, apenas uma correlação entre o efluxo de CO₂ e umidade.

Palavras-chave: Palma de óleo. Híbridos Interespecíficos. Temperatura do solo.

ABSTRACT

The palmiculture or palm culture cultivates the species oleaginous popularly known for palm oil. Knowing the environmental effects of this culture mainly through the trials analyzed interspecific hybrids (*Elaeis guineensis* x *Elaeis oleifera*) is of paramount importance, since they are the ones planted by the Pro Dendê in an area of high incidence of AF in Brazil. The overall objective is to evaluate the spatial and temporal variability of the stock of roots and soil CO₂ efflux in interspecific hybrid cultivation of oil palm (*Elaeis guineensis* x *Elaeis oleifera*) in the eastern Amazon. The field surveys were conducted on property belonging to the company Marborges Agroindústria S.A., located in Bacuriteua village in the municipality of Moju - Pará. In the area four plots were selected with a total of 32 points spread across basic sites called, third, middle sheet, and stacking carrier. The determination of the stock of roots was made by auger technique in depth range of 0-10 cm in January, April, July and October, being washed, separated, dried and weighed to the dry weight in the laboratory. For soil CO₂ efflux used an infrared gas analyzer LI-COR 6400-09 coupled to a dynamic camera, and a thermometer were measured in which the soil temperature. There data for obtaining gravimetric moisture, carbon and nitrogen in the soil. In the results related to the root biomass was reduced in percentage with increasing diameter class, for the frequencies of distributions root biomass, none of the classes study differed statistically or for the period, and not to the sampling site, so for this study no definitive conclusions can be made about how much influence the spatial variability in the stock of roots. The results presented show that there was no significant difference in the concentration of soil organic carbon and nitrogen or in between the collection sites. Statistical analysis confirmed that there was no satisfactory answer to the correlation between the CO₂ efflux and temperature, only a correlation between the efflux of CO₂ and humidity.

Keywords: Oil palm. Interspecific hybrids. Soil temperature.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Polos de produção do biodiesel no Estado do Pará	25
Figura 2 - Mudanças de Palma de Óleo em Moju/Pará	27
Figura 3 - Localização do Município de Moju e da empresa Marborges, Pará	38
Figura 4 - Croqui da área experimental: subparcelas marcadas com um retângulo	40
Figura 5 - Localização dos anéis na sub parcela 1	41
Figura 6 a) - Precipitação pluviométrica climática em duas estações de clima semelhante a área de estudo: Belém e Cametá	42
Figura 6 b) - anomalias do acumulado mensal da precipitação em 2014.....	42
Figura 7 - Materiais utilizados em campo e no laboratório para obtenção de biomassa de raízes: a) trado e marreta de madeira; b) sacos plásticos com amostras de solo identificadas; c) bancada de lavagem com bandeja, peneiras e torneira; e) estufa f) dessecador com amostras de raízes; g) balança analítica	43
Figura 8 - Equipamento utilizado para a medição do efluxo de CO ₂ do solo composto de console e câmara de respiração do solo (a) e detalhe da câmara de respiração do solo e o termômetro medido pelo aparelho LI-COR	45
Figura 9 - Frascos plásticos com solo para umidade	46
Figura 10 - Equipamentos para as análises de umidade gravimétrica a) cadinho b) balança analítica de precisão c) estufa com amostras de solo nos cadinhos ...	46
Figura 11 - Materiais e aparelho para as análises de carbono e nitrogênio total do solo: a) amostras pulverizadas em barquinha vegetal; b) analisador elementar LECO	47
Figura 12 - Representação das categorias Locais de coleta e diâmetro de raízes: Janeiro.....	54
Figura 13 - Representação das categorias locais de coleta e diâmetro de raízes. Abril (A); Julho (B); Outubro (C) e total (D)	56
Figura 14 - Gráfico de dispersão entre efluxo de CO ₂ e temperatura (A), efluxo de CO ₂ e umidade (B) e Temperatura e umidade (C)	58
Figura 15 - Box plot do CO ₂ para os locais de amostragem (A) e período de coleta (B)	61
Figura 16 - Análise residual para o efluxo de carbono	62
Figura 17 - Interação entre Local e Período em relação ao CO ₂	63
Figura 18 - Precipitação pluviométrica diária na Vila de Bacuriteua	64

Figura 19 - Efluxo de CO ₂ do solo em diferentes locais	67
Figura 20 - Valores médios da umidade gravimétrica geral em porcentagem	68
Figura 21 - Teste de Tukey para a umidade para os locais de amostragem (A) e período (B)	68
Figura 22 - Teste de Tukey em relação ao CO ₂ , para os locais de amostragem (A) e período (B)	68
Figura 23 - Dispersão entre o CO ₂ e a umidade para os locais (A) e período (B)	69
Figura 24 - Box plot da temperatura para os locais (A) e período (B)	71
Figura 25 - Análise residual para a temperatura	72
Figura 26 - Temperaturas máxima e mínima do solo em plantio de palma de óleo de 7 anos de idade em Moju, Pará	73
Figura 27 - Temperaturas médias no solo em °C em plantio de palma de óleo	73
Figura 28 - Precipitação pluviométrica mensal na área experimental do projeto, 2014.....	74
Figura 29 - Umidade gravimétrica do solo nos locais de amostragem	76
Figura 30 - Dispersão entre o carbono e o nitrogênio, com a linha de regressão, para os locais de amostragem	77
Figura 31 - Análise residual para o carbono	78
Figura 32 - Porcentagem de Carbono do solo	78
Figura 33 - Porcentagem de Nitrogênio do solo	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Programas e informações pertinentes de incentivos a palma de óleo	23
Tabela 2 - Produção Mundial de óleo de Palma em milhões de toneladas	30
Tabela 3 - Produtividade e área plantada de palma e óleo de palma	31
Tabela 4 - Dados de óleo de palma e palmiste, no Brasil em mil toneladas	31
Tabela 5 - Características agronômicas do gênero <i>Elaeis</i> e do híbrido interespecífico	32
Tabela 6 - Principais agroindústrias e a capacidade atual de óleo de palma no Estado do Pará – Brasil	33
Tabela 7 - Estoque global de carbono na vegetação e no solo	34
Tabela 8 - Distribuição dos sensores na profundidade de 10 e 20 cm	48
Tabela 9 - Porcentagem de ocorrência de raízes de uma dada classe diâmetro, na camada 0-10 cm do solo, em diferentes locais de um plantio de HIE de palma de óleo de 7 anos de idade	50
Tabela 10 - Frequências de distribuição dos diâmetros das raízes muito finas e finas (\leq 1mm e $>1 \leq 2$ mm)	52
Tabela 11 - Análise de variância para as raízes muito finas e finas	52
Tabela 12 - Estimativas dos parâmetros do modelo para raízes muito finas e finas	53
Tabela 13 - Proporção da variabilidade explicada pela AC. Mês de janeiro	53
Tabela 14 - Análise de resíduos da tabela de contingência usada AC. Janeiro	54
Tabela 15 - Proporção da variabilidade explicada pela AC: mês de abril	55
Tabela 16 - Proporção da variabilidade explicada pela AC: mês de julho	55
Tabela 17 - Proporção da variabilidade explicada pela AC: mês de outubro	55
Tabela 18 - Proporção da variabilidade explicada pela AC: total	55
Tabela 19 - Análise de resíduos da tabela de contingência usada AC	57
Tabela 20 - Estatísticas descritivas do CO ₂ em relação aos locais de amostragem	60
Tabela 21 - Estatísticas descritivas do CO ₂ em relação aos períodos de coleta	60
Tabela 22 - Teste de Tukey em relação ao Efluxo de CO ₂ e o local	62
Tabela 23 - Teste de Tukey para o Efluxo de CO ₂ e os períodos	63
Tabela 24 - Valores Mínimo e máximo de emissão de efluxo de CO ₂ do solo e as variáveis de Temperatura e umidade gravimétrica do solo em dois pontos de coleta	64
Tabela 25 - Valores máximos de emissão de efluxo de CO ₂ do solo a) anel 6 b) anel 22.....	66

Tabela 26. Medidas de efluxo de CO ₂ do solo no Leste Amazônico	66
Tabela 27 - Análise de covariância para a umidade gravimétrica do solo	69
Tabela 28- Estatísticas descritivas da temperatura em relação aos locais de coleta	70
Tabela 29 - Estatísticas descritivas da temperatura em cada período de amostragem ..	71
Tabela 30 - Médias para a variável temperatura em relação aos períodos	73
Tabela 31 - Médias para umidade gravimétrica do solo	74
Tabela 32 - Médias para umidade gravimétrica do solo em cada período	75
Tabela 33 - Análise de covariância para o carbono do solo	77

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABC	Programa Agricultura de Baixo Carbono
ASPRUNE	Associação de Produtores Rurais Nova Esperança
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
IAN	Instituto Agrônômico do Norte
IDESP	Instituto de Desenvolvimento Econômico, Social e Ambiental do Pará
LBA	Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MDA	Ministério de Desenvolvimento Agrário
MME	Ministério de Minas e Energia
PNP – DENDE	Programa Nacional de Pesquisa do Dendê
PNPB	Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel
PRODES	Projeto de estimativa do Desflorestamento da Amazônia /INPE
PRODUSA	Programa de Estímulo a Produção Agropecuária Sustentável
PRONADEM	Programa nacional para o Dendê
PROPFLORA	Programa de Plantio Comercial de Recuperação de Floresta
PSOP	Programa de Produção Sustentável de Óleo de Palma
RNC	Registro Nacional de Cultivares

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	OBJETIVOS	21
2.1	Objetivo geral	21
2.2	Objetivos específicos	21
2.3	Hipóteses	21
3	REFERÊNCIAL TEÓRICO	23
3.1	Histórico de ocupação e do uso da terra	23
3.2	Aspectos gerais da palma de óleo	28
3.2.1	Taxonomia e Morfologia da palma de óleo	28
3.2.2	Problema fitossanitário	29
3.3	Produção de óleo de palma	30
3.4	O Carbono e o Nitrogênio do solo	33
3.5	Interações no solo: efluxo de CO₂ e raízes	34
4	MATERIAIS E MÉTODOS	38
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	38
4.1.1	Localização da área de estudo	38
4.1.2	Caracterização da área de Moju	38
4.1.3	Projeto de execução do experimento	39
4.1.4	Histórico da área de estudo	39
4.1.5	Descrição da área de amostragem	39
5	VARIÁVEIS	43
5.1	Biomassa de raízes	43
5.2	Efluxo de CO₂ e temperatura do solo	44
5.3	Umidade gravimétrica do solo	46
5.4	Carbono e Nitrogênio orgânico do solo	47
5.5	Dados micrometeorológicos	48
6	ANALISE ESTATÍSTICA	49
7	RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
7.1	Biomassa de raízes	50
7.2	Efluxo de CO₂	58

7.3	Temperatura no solo	70
7.4	Umidade gravimétrica no solo	74
7.5	Carbono orgânico e Nitrogênio do solo	76
8	CONCLUSÃO	80
9	CONSIDERAÇÕES FINAIS	81
	REFERÊNCIAS	82

1 INTRODUÇÃO

O dióxido de Carbono (CO_2) no solo é determinado pela Respiração microbiana (Rm), por meio do processo de decomposição da liteira e/ou Matéria Orgânica do Solo (MOS), e pela respiração das raízes (Rr) (LUO; ZHOU, 2006). O efluxo de CO_2 do solo, também conhecido como respiração do solo (Rs), é o resultado da respiração autotrófica e heterotrófica, ou seja, é o produto final da decomposição da MOS realizada pela respiração microbiana e pela respiração das raízes (DIAS, 2006; SILVA et al., 2016).

A respiração do solo está intimamente associada com os processos de nutrientes (decomposição e mineralização). A quantidade de CO_2 produzido pela respiração das raízes é determinada pela biomassa radicular e pelas taxas de respiração de raízes específicas (LUO; ZHOU, 2006).

A taxa de efluxo de CO_2 na superfície do solo é a soma das respirações heterotrófica e autotrófica (LUO; ZHOU, 2006). Resumidamente, o efluxo de CO_2 do solo é o processo de transporte após a produção do CO_2 .

A respiração produzida no solo é uma via importante para o ciclo do Carbono, sendo o principal fluxo nos ecossistemas terrestres para a atmosfera (RYAN, LAW 2005; DIAS et al., 2010). Para que seja considerado como respiração do solo, a produção de CO_2 e o transporte devem estar em um estado de equilíbrio (LUO; ZHOU, 2006).

O equilíbrio ou desequilíbrio da concentração do CO_2 na atmosfera é um fator dominante no conceito do clima, pois caso não fosse assim todo o CO_2 presente no ar seria esgotado em menos de 20 anos, já que o ciclo do carbono interage profundamente no sistema climático global (DIAS, 2006).

O efluxo de CO_2 do solo é controlado por variáveis bióticas e abióticas, sendo que os fatores que atuam sobre sua transferência do solo para a atmosfera podem ser controlados pela produção no solo, pelos gradientes de temperatura, concentração na interface solo-atmosfera, propriedades físicas do solo e pelas flutuações da pressão atmosférica do ambiente (SOTTA, 1998).

O efluxo de CO_2 do solo também pode ser controlado pela composição das espécies vegetais (SILVA et al., 2016). Em plantios de palma de óleo a variabilidade espacial e temporal e o uso da terra anterior à essa plantação explicam a variação na

dinâmica do carbono orgânico do solo (COS) (FRAZÃO, 2012). Sendo mais variável nessas plantações do que na maioria das outras culturas (HARON et al., 1998).

Muitos são os desafios para o monocultivo e a expansão do dendê na Amazônia, buscar novas fontes de renda e sustentabilidade na produção são apenas dois desses desafios. Existem bases científicas que questionam esse novo ciclo econômico na Amazônia, como Becker (2010), em seu artigo intitulado: **Recuperação de áreas desflorestadas da Amazônia: será pertinente o cultivo da palma de óleo (Dendê)?** que busca responder a três questões relevantes sobre como a expansão da lavoura do dendê na Amazônia pode possibilitar a recuperação de áreas desflorestadas e promover o desenvolvimento regional.

Há grandes incentivos e investimentos propícios a expansão da palma de óleo e do foco para a Amazônia, porém pouco se sabe sobre as emissões de CO₂ do solo, no espaço e no tempo e sua dinâmica no meio ambiente. Principalmente sobre valores precisos de perdas de carbono do solo para atmosfera (MACHADO, 2005).

As informações técnico-científicas a respeito de como funcionam os aspectos solo-planta-atmosfera, o efluxo de CO₂ e os processos biogeoquímicos relacionados as raízes finas são uma das formas de contribuir com o direcionamento da expansão em larga escala da palmicultura na Amazônia, pois a dinâmica dos Gases do Efeito Estufa (GEE's) influencia tanto no microclima quanto no clima global.

Faz-se necessário compreender o solo e suas particularidades. O solo é um sistema complexo, devido aos diversos subsistemas que o compõem, ou seja, plantas (principais responsáveis pela adição de compostos orgânicos primários sintetizados na fotossíntese), macro e microrganismos, minerais, resíduos orgânicos (vegetal e animal) e suas transformações (FARIA et al., 2008a).

O solo também desempenha importante papel no ciclo, estoque e efluxo do carbono (C), sendo o maior reservatório de C no ecossistema terrestre, representando o triplo de C presente na atmosfera e quatro vezes na vegetação (LAL; KIMBLE, 1997; MACHADO, 2005). Contudo há variações na quantidade de armazenamento do C nos ambientes, como, por exemplo, em altas latitudes como na zona boreal 84% do C está na MOS e 16% na vegetação, já nas florestas tropicais essa porcentagem é mais ou menos equilibrada entre o solo e a vegetação (MALHI et al., 1999).

O estoque de carbono orgânico do solo (COS) na camada de até 3 m de profundidade está entre 2344 a 2500 Pg C, sendo constituído pelos tipos de C orgânico

e mineral (JOBÁGY; JACKSON, 2000; MACHADO, 2005). Os resíduos depositados no solo como a MOS podem resultar em aumento no teor de COS.

A mudança no uso da terra apresenta dois momentos em relação às emissões de CO₂ do solo para a atmosfera: de acordo com Machado (2005), o primeiro seria o desmatamento seguido de queimada e o segundo sendo o preparo do solo pela aração seguida de sucessivas gradagens niveladoras para adequar a superfície do solo (agricultura convencional).

O sistema radicular é o conjunto de raízes divididas em grossas, cuja função principal é promover a fixação, e finas, responsáveis principais pela absorção de água e nutrientes (SELLE et al., 2010). As raízes basicamente possuem importância na sustentação e manutenção da planta. O estabelecimento do sistema radicular é influenciado pela estrutura do solo, umidade, disponibilidade de oxigênio, elementos minerais, manejo, estado de desenvolvimento e patrimônio genético da planta (SILVA, 2006).

De acordo com Lopes (2009), essas raízes ocupam uma área maior que a parte aérea superior da planta. Além disso, elas podem influenciar na dinâmica do carbono do solo em particular nos cultivos de palma de óleo devido a variável espacial (FRAZÃO et al., 2012). Em se tratando das raízes da palma de óleo, estas não possuem pelos absorventes, mas possuem pneumatóforos que servem para armazenar e renovar o ar em seu interior (MÜLLER; ANDRADE, 2010).

A transferência de CO₂ do solo para a atmosfera é conhecida como Rs ou efluxo de CO₂ e resulta da atividade de raízes e organismos heterotróficos (MELLING et al., 2005; SILVER et al., 2005). Esse processo depende de interações biológicas e da passagem do gás pelos poros do solo (difusão passiva de CO₂), influenciado pelo tipo de vegetação, propriedades do solo (OLIVEIRA, 2014; SILVA JUNIOR et al., 2013), umidade, temperatura, MOS, sazonalidade climática (SILVA, 2014), textura e topografia (SOTTA et al., 2006).

Dias (2006), estudando áreas e períodos diferentes na Amazônia Legal Brasileira observou variações espacial e sazonal dos fluxos de CO₂ do solo em decorrência de variação da temperatura e umidade do solo.

Existem mais pesquisas com a espécie africana *Elaeis guineensis* Jacq. (CARVALHO, 2011; SILVA, 2014; MONTEIRO, 2014; SOUSA et al., 2014; AMARAL, 2016) e poucos estudos com os Híbridos Interspecíficos *Elaeis* (*Elaeis guineensis* Jacq. x *Elaeis oleifera* (H. B. K.) Cortés) estes geralmente ligados à genética

(CUNHA et al., 2005; BARCELOS et al., 2001), mostrando que se faz necessário outros estudos com esses híbridos e mais dados e enfoques de pesquisa, especialmente a correlação das variáveis que estão ligadas ao efluxo de CO₂ do solo. Tudo isso devido a pouca informação sobre a variabilidade espacial e temporal de raízes em cultivos de palma de óleo em se tratando da espécie de Híbridos Interspecíficos *Elaeis* (HIE) principalmente no Leste da Amazônia.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

- ✓ Avaliar a variabilidade espacial e temporal do efluxo do CO₂ do solo em cultivo de híbrido interespecífico de palma de óleo (*Elaeis guineensis* x *Elaeis oleifera*) no Leste da Amazônia.

2.2 Objetivos Específicos

- ✓ Determinar o efluxo de CO₂ do solo em diferentes locais em um plantio de palma de óleo e sua variação durante um ano;
- ✓ Avaliar a relação entre o efluxo de CO₂ do solo e variáveis bióticas (estoque de raízes) e abióticas (temperatura e umidade do solo).

2.3 Hipóteses

Hipótese 1: O efluxo de CO₂ do solo varia espacialmente de acordo com as zonas de manejo em plantio de palma de óleo. Espera-se que o efluxo de CO₂ do solo seja maior no local do empilhamento e menor no local do carreador, porque há um incremento de matéria orgânica nesse local.

Hipótese 2: A variação espacial do efluxo de CO₂ do solo é determinada pela variação na magnitude de fatores bióticos (raízes) e abióticos (temperatura e umidade do solo) em diferentes zonas de manejo em plantio de palma de óleo.

Hipótese 3: Há variação espacial do estoque de raízes e do efluxo de CO₂ do solo em diferentes locais de tratamentos no plantio de palma de óleo;

Hipótese 4: Há correlação entre a variabilidade da temperatura no solo e o efluxo de CO₂ do solo em diferentes locais;

Hipótese 5: Há correlação entre a variabilidade da umidade do solo e o efluxo de CO₂ do solo em diferentes locais.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Histórico de ocupação e do uso da terra

Ao longo da história do desenvolvimento da Amazônia, o governo federal incentivou de várias maneiras a ocupação da região, principalmente pela ocupação das terras e exploração dos recursos das florestas. Macedo (2012) confirma que no começo dos anos 50 houve a entrada da plantação de óleo de Palma no Pará através do Instituto Agrônômico do Norte - IAN, atual Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária - EMBRAPA, com o objetivo de estimar a viabilidade da economia para a região Norte.

Em 1968 iniciou a experiência do primeiro plantio comercial na localidade de Jenipaúba, Benevides, Pará, km 9 da Rodovia PA-391, atual município de Santa Bárbara do Pará (FURLAN JÚNIOR; MÜLLER, 2004; MÜLLER et al., 2006).

Os primeiros registros de ocorrência de focos isolados do Amarelecimento Fatal – AF marca o ano de 1974, em plantios pertencentes a empresa Dendê do Pará S. A. (Denpasa), alcançando maiores proporções em 1984, além dos estados do Amazonas e Amapá (CUNHA et al., 2005; MÜLLER et al., 2006; TRINDADE, 1997; VENTURIERI et al., 2009). Após esse período, surgiram inúmeros programas de apoio estadual e federal para o estímulo da produção da palma de óleo. A tabela 1 dispõe em ordem cronológica alguns programas e informações referentes a palma de óleo.

Tabela 1 - Programas e informações pertinentes de incentivos a palma de óleo

Ano	Programas/Instrumentos/Estratégias	Nível/Objetivos
1980	Programa Nacional de Pesquisa do Dendê – PNP - Dende	Federal /Estimular o
1982	Programa Nacional para o Dendê - PRONADEM	direcionamento da produção comercial da palma de óleo.
2004	Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel - PNPB (Selo combustível social, política tributária diferenciada, leilão público)	Federal /Priorizar a produção, extração e transformação da palma em biocombustível.
2010	Plano Palma verde em Tomé-Açu	Federal /Estímulo ao plantio do óleo de palma
2010	Protocolo socioambiental através da Secretaria de Programas Estratégicos do Estado	Estadual /Planos e Metas a serem seguidas pelas atuais empresas
2010	Projeto de Zoneamento agroecológico do dendê em áreas desmatadas da Amazônia Legal – ZAE - Dendê	Federal /Documento do potencial agroecológico
2010	Programa Agricultura de Baixo Carbono (ABC)	Federal /Plano com sete programas
2010	Programa de Produção Sustentável de óleo de Palma (PSOP) *PRONAF, **PROPFLORA, ***PRODUSA	Federal /Expansão do cultivo de óleo de Palma

* Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar

** Programa de Plantio Comercial de Recuperação de Floresta

*** Programa de Estímulo a Produção Agropecuária Sustentável

O PNPB privilegia a inclusão da agricultura familiar/AF, estimulando a criação de cooperativas e consórcios entre os produtores e apoiando o agronegócio por meio do Selo Combustível Social dado as indústrias que absorverem essa mão de obra ou sua matéria-prima (BRASIL, 2014).

Para garantir a oferta de biodiesel nas diferentes regiões e assegurar o foco da Agricultura Familiar no processo de produção, o PNPB foi organizado com base nas seguintes estratégias: 1) o selo combustível social; 2) a política tributária diferenciada; e 3) o leilão público (SANTOS, 2008).

O selo combustível social é certificado às empresas que adquirirem matéria-prima da Agricultura Familiar e que prestarem assistência técnica a estas. O regime tributário diferenciado visa, assim, promover a geração de renda em áreas com níveis altos de exclusão social e pobreza, como na região Norte (SANTOS, 2008).

O foco da produção de Palma de óleo foi redirecionado, priorizando a região Norte, principalmente, no Estado do Pará, que desde o fim do século XX já era o maior produtor do Brasil com a maior área cultivada de Palma de óleo (aproximadamente 85% na região). Escolhido por apresentar clima e solo favoráveis à cultura, comércio ativo da cultura e zoneamento agrícola (BRASIL, 2004; SANTOS, 2008; MACEDO, 2012).

O incentivo do desenvolvimento regional através da cultura da Palma de óleo com o foco da geração de emprego e renda para os pequenos agricultores do Estado do Pará alcançou o centro das atenções no início com o lançamento do Plano Palma Verde, programa do governo lançado em Tomé-Açu, no Pará, em maio de 2010, que estimulou o plantio e a produção do óleo de Palma, o que tem aumentado o interesse dos produtores.

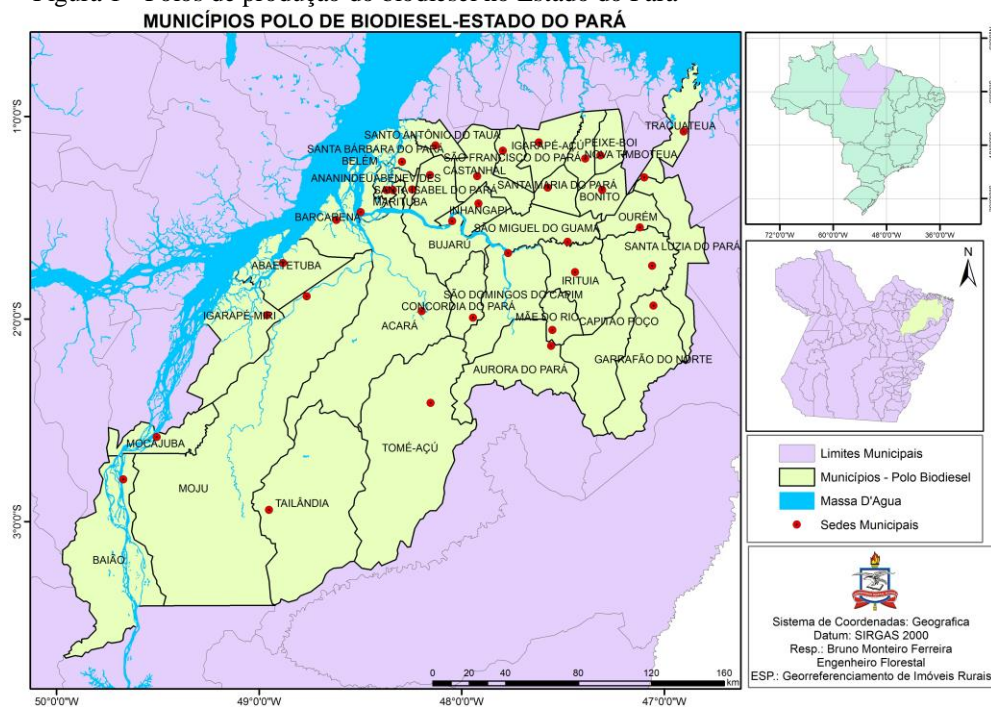
O instrumento oficial do Estado do Pará é o protocolo socioambiental para a produção de óleo de Palma, que foi assinado por algumas das empresas que atuam no estado como: Novacon Reflorestadora Indústria e Comércio de Madeiras LTDA, Consórcio Brasileiro de Produção de óleo de Palma (BIOVALE), agroindústria Palmasa S/A, Dende do Tauá - Dentauá, Dendê do Pará S/A, Denpasa, Galp energia, Portugal, Marborges Agroindustria S/A e Petrobrás Combustível (MACEDO, 2012; BRASIL, 2004; SANTOS, 2008; EMBRAPA, 2010; RAMALHO FILHO; MOTA, 2010; LANGE, 2012; DROUVOT; DROUVOT, 2012; BRASIL, 2014; BECKER, 2010).

As regras a serem seguidas seriam: não estabelecer novos empreendimentos produtivos em áreas desmatadas após o ano de 1996; implantar as áreas produtivas evitando as monoculturas entre duas ou mais unidades produtivas e a uniformidade da

paisagem, integrando a agricultura familiar e os pequenos, médios e grandes agricultores; não estabelecer o plantio em áreas de populações tradicionais, indígenas e quilombolas; adotar relações de trabalho com respeito, confiança e compromisso com as normas da legislação trabalhista.

A produção de óleo de palma no Pará foca-se em nove municípios (Moju, Tailândia, Acará, Tomé-açu, Bonito, Igarapé-Açu, Santo Antônio de Tauá, Santa Izabel do Pará e Castanhal) divididos em três polos (BECKER, 2010), sendo que os polos de Produção do Biodiesel (Figura 1), criado no Pará em 2010 abrangeram 37 municípios com prioridades para investimentos na cultura da palma de óleo (CARDOSO, 2014).

Figura 1 - Polos de produção do biodiesel no Estado do Pará



O projeto de Zoneamento Agroecológico do Dendê serviu como um documento que forneceu elementos para a implantação e expansão da cultura para agricultura de grande ou pequena escala, possibilitando o conhecimento do potencial agroecológico das terras visando a produção de óleo para alimentação humana e para o biocombustível de forma sustentável e com impacto reduzido sobre a biodiversidade da região (RAMALHO FILHO; MOTTA, 2010).

O Zoneamento Agroecológico de uma espécie vegetal corresponde à identificação, caracterização e delineamento cartográfico de áreas ambientais

reconhecíveis na paisagem natural, classificadas em função de sua aptidão para o cultivo sustentável de tal espécie (RAMALHO FILHO; MOTTA, 2010).

De acordo com Lange (2012), tanto o apoio quanto a regulamentação do desenvolvimento da bioenergia determinará a sustentabilidade ambiental e a distribuição dos impactos. Apesar de um visível acompanhamento dos governos federal e estadual, apresentam-se preocupações no entendimento de como os diversos usos da terra giram em torno do meio ambiente e dos setores sociais e econômicos, devido os grandes investimentos, altas taxas da degradação e do desmatamento, o que no Pará representou cerca de 255.250 Km² até o ano de 2013 e em Moju 4.229,2 Km² até 2012 mais de 45% (CARDOSO, 2014; PRODES, 2012).

Segundo Furlan Júnior; Müller (2004) os produtores da palma de óleo no Estado do Pará estão arranjados em pequenas, médias e grandes empresas, além de cooperativas e associações comunitárias, contando com mão-de-obra de pouca ou nenhuma qualificação, perfil da maior parte da população rural da região da Amazônia. Uma das associações existentes é a Associação de Produtores Rurais Nova Esperança - ASPRUNE, criada em 2006, para a organização da produção e assim comercialização com a Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB (MACEDO, 2012).

O País apresenta para o mercado de expansão da palma de óleo, a geração de emprego em áreas geográficas menos atraentes para outras atividades econômicas (BRASIL, 2004), bem como a inclusão digital, de informação, de cidadania, entre outras, por meio da disponibilidade de energia elétrica para comunidades isoladas, como pode ser observado nas obras de Santos (2008): Análise do potencial do biodiesel de dendê para a geração elétrica em sistemas isolados na Amazônia e a fixação de CO₂ pelos plantios comerciais (CASSOL et al., 2016).

Em se tratando das cultivares de Híbrido Interespecífico *Elaeis* (HIE), as únicas registradas no Registro Nacional de Cultivares (RNC) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) até o ano de 2011 foram os Marborges Inducoari 1 da Empresa responsável pelo desenvolvimento da cultivar La Cabaña/Colômbia e o BRS Manicoré devido às mudas vindas de Manicoré no Amazonas pela Embrapa, sendo um dos únicos Híbridos Interespecíficos *Elaeis* (HIE) plantados em áreas com grandes influências do AF (Figura 2) (CUNHA et al., 2010; RIOS et al., 2012).

Figura 2 - Mudas de Palma de Óleo em Moju/Pará.



Fonte: Foto da Autora

A palmicultura ou dendeicultura possui grande capacidade de produção de óleo vegetal por unidade de área, destacando-se entre as culturas de espécies de oleaginosas. A palma de óleo é uma espécie alógama e monóica com inflorescências masculinas e femininas separadas na mesma planta e em ciclos alternados (RIOS et al., 2012; MÜLLER; ANDRADE, 2010).

A classificação da palma de óleo de acordo com Rios et al., (2012) é: Classe *Liliopsida* (Monocotiledônea); Ordem *Arecales* (*Palmales*); Família *Arecaceae* (*Palmaceae*); subfamília *Arecoideae*; Tribo *Cocoseae* (*Cocoinaeae*); subtribo *Elaeidinae*; Gênero *Elaeis*; Espécies: *Elaeis guineensis*, *Elaeis oleifera* e *Elaeis odora*.

As duas primeiras espécies são as de maior interesse agrônômico: *Elaeis guineensis* Jacq. ou tenera e a *Elaeis oleifera* (H. B. K.) Cortés ou caiaué; o gênero *Elaeis* é de origem grega *elaion* e significa óleo (BOARI, 2010; PINA, 2010).

A *Elaeis guineensis* Jacq. é uma espécie originária da Costa do Golfo da Guiné (Costa Ocidental da África), hoje cultivada em três principais áreas: África, Sudeste da Ásia, onde se encontram os maiores produtores na Indonésia e Malásia (primeiros cultivos comerciais em 1911 e 1917 respectivamente) e Américas Central e do Sul, (MÜLLER; ANDRADE, 2010; SILVA, 2006; RIOS et al., 2012; SANTOS, 2010; CHIA, 2008).

No Brasil foi introduzida no século XV, através dos escravos e adaptou-se no litoral do sul da Bahia. Popularmente conhecida como dendê, internacionalmente como palma-africana, devido sua origem, palma-aceitera nos países que usam o espanhol como língua oficial e *palmier a huile* nos países que falam o francês (SILVA, 2006; SANTOS, 2010).

A *Elaeis oleifera* (H. B. K.) Cortés é uma espécie originária da América tropical (sul do México até o Leste do Estado do Amazonas) conhecida por Caiaué (MÜLLER; ANDRADE, 2010; PINA, 2010; RIOS et al., 2012).

O cultivo do Híbrido Interespecífico *Elaeis* (HIE), resultante do melhoramento genético das duas espécies *Elaeis* (G X O), visa principalmente viabilizar plantios mais resistentes aos efeitos do Amarelecimento Fatal – AF, anomalia cujo agente etiológico ainda é desconhecido (PINA, 2010; BOARI, 2010).

Rios et al., (2012) diz que é necessário desenvolver tecnologias para que esta mudança ocorra de forma segura, competitiva e sustentável.

3.2 Aspectos gerais da palma de óleo

3.2.1 Taxonomia e Morfologia da palma de óleo

Elaeis guineensis Jacq., chamada de Tenera, é um híbrido intraespecífico das variedades diferentes de endocarpos do tipo Dura de endocarpo espesso (genitor feminino) e Pisífera sem endocarpo (genitor masculino), característica controlada apenas por um loco genético (CHIA, 2008; CUNHA, et al., 2010).

Elaeis oleifera (H. B. K.) Cortés é uma espécie de origem da América tropical conhecida por Caiaué (MÜLLER; ANDRADE, 2010; CUNHA et al., 2005; PINA, 2010; RIOS et al., 2012; SILVA, 2006).

As duas espécies do gênero *Elaeis* são parecidas morfologicamente. De acordo com Müller; Andrade (2010), a palma de óleo apresenta sistema radicular fasciculado, com maior agregação na base do estipe, onde se encontra o bulbo (80 x ~40 a 50 cm) surgindo as raízes primárias, concentradas nos primeiros 50 cm de profundidade. A densidade das raízes diminui do bulbo para a periferia (RIOS et al., 2012).

O fruto de ambas as espécies (caiaué e tenera) possui um caroço que é envolvido externamente por uma polpa de cor alaranjada, coberta por uma casca lenhosa de cor escura, e na parte mais interna tem-se uma ou duas sementes, as amêndoas oleaginosas. O peso médio do fruto também é aproximado, sendo de 6,0 g no tenera e de 6,5 g no caiaué e seu processamento deve ser feito no prazo máximo de 24 horas após a colheita (PESCE, 2009; MÜLLER; ANDRADE, 2010).

Há um critério para a colheita do cacho feita após a comprovação do desprendimento de um a três frutos, após isso se utiliza o sacho semelhante a um ferro

de cova ou uma foice malasiana dependendo da altura da planta, posteriormente é feita a catação que é coleta manual dos frutos (PINA, 2010).

Dos frutos, extraem-se os óleos de palma (oil palm) ou azeite de dendê do mesocarpo (cor alaranjada) usado na indústria de sabão e o óleo de palmiste (kernel oil), do endosperma ou amêndoa (cor branca) utilizado na produção de manteigas vegetais, ambos de aspecto brilhante e sólido (SUFRAMA, 2003; FURLAN JÚNIOR; MÜLLER, 2004; PESCE, 2009; CHIA, 2008). O óleo de palma é a segunda mais importante fonte de óleo vegetal.

3.2.2 Problema fitossanitário

O AF é uma anomalia letal de etiologia ainda desconhecida, as hipóteses dos estudos seguem duas linhas científicas: uma de origem abiótica causada por fatores físico-químicos e outra biótica causada por algum agente e/ou vetor. No Estado do Pará, mais de 5.000 hectares foram erradicados por causa do AF (VENTURIERI et al., 2009). Embora existam aproximadamente 30 doenças no gênero *Elaeis*, o AF é a doença mais importante da cultura na América Latina e a que mais preocupa, podendo ocorrer em qualquer idade do dendezal, pois plantas com dois anos de idade já apresentam sintomas (PALMA, 2011; TRINDADE, 1997; BOARI, 2010).

Inicialmente conhecida por guia podre, também chamada de podridão da flecha, caracterizada pelo rápido amarelecimento dos folíolos basais das folhas intermediárias (3 a 6) seguida de necroses nos extremos dos folíolos causando a seca total dessas folhas, ocorre também a quebra das flechas. O sistema radicular para de se desenvolver após o surgimento dos sintomas iniciais do AF, havendo uma redução na emissão de raízes, sem alteração no interior do estipe; os novos cachos e as inflorescências formadas abortam e secam. Na Nicarágua, Colômbia, Equador e Costa Atlântica do Panamá ocorre uma doença parecida chamada de *podrición del cogollo* - PC (MÜLLER et al., 2006; VENTURIERI et al., 2009; CUNHA et al., 2005; TRINDADE, 1997; BOARI, 2010).

A disposição foliar feita por meio de numeração do centro para a periferia da coroa foliar é essencial para finalidades fitossanitária e nutricional da palma de óleo, seguindo a forma espiral, disposição em relação ao eixo vertical da palmeira dita filotaxia (MÜLLER; ANDRADE, 2010).

3.3 PRODUÇÃO DE ÓLEO DE PALMA

Santos (2008) e Furlan Júnior; Müller (2004) ressaltam duas vantagens no cultivo da palma de óleo: a excepcional capacidade de retenção de carbono, em que um hectare com 15 anos de idade fixa produz, aproximadamente, 13 toneladas de C ano⁻¹ e o baixo custo de produção, cerca de US\$ 250.00 por tonelada de óleo.

O ciclo de vida da palma de óleo é de aproximadamente 25 anos, com produção contínua ao longo do ano, tornando-a uma cultura perene muito produtiva, com rendimentos superiores a 25-28 toneladas de cacho por ha/ano (SUFRAMA, 2003; FURLAN JÚNIOR; MÜLLER, 2004; PESCE, 2009; CHIA, 2008).

A produção comercial inicia-se após três anos do plantio, entre seis e sete anos alcança a capacidade máxima de produção mantendo-se até os 17 ou 18 anos de idade, após esse período ocorre um declínio (CHIA, 2008).

A extração de óleo de palma se destacou nos últimos anos na produção mundial de óleos e gorduras devido ao crescimento expressivo no mercado mundial, colocando-o como produto industrial-oleaginoso de maior potencial no mercado (SUFRAMA, 2003). Na Tabela 2 consta a produção em milhões de toneladas em duas safras e os principais países produtores de óleo de palma.

Tabela 2. Produção mundial de óleo de palma em milhões de toneladas.

Países	2002/03	2011/12	2013/14
Indonésia	10,30	25,40	
Malásia	13,18	18,70	
Tailândia	0,64	1,55	
Nigéria	0,54	0,85	
Colômbia	0,77	0,89	
Demais	2,28	3,29	
Mundo	27,71	50,67	60

Fonte: (MAPA, 2012).

Estima-se que mundialmente na safra de 2013/2014 foram produzidos 60 milhões de toneladas (Revista Dinheiro Rural, 2013). O aumento das áreas cultivadas e os progressos alcançados através do melhoramento genético das espécies levam a esse aumento na produção (RIOS et al., 2012). Os maiores produtores de óleo de palma continuam no continente asiático (Indonésia e Malásia) com cerca de 86% da produção mundial de óleo de palma bruto, já a Nigéria é o maior produtor na África através da pequena propriedade (Revista Agroanalysis, 2014).

Os países da Europa são líderes em produção, porém quanto ao consumo dão preferência aos óleos e gorduras de azeite de oliva, de girassol e de soja, em virtude de sua culinária. Já na América Latina, há espaço para o crescimento do consumo do óleo de palma no México, na Colômbia, no Chile e no Brasil (SUFRAMA, 2003).

O Brasil está em 10º lugar em produção, sendo o Estado do Pará o principal produtor, com mais de 90% da produção (SANTIAGO et al., 2013). De acordo com o anuário estatístico nacional (MAPA, 2012) a área plantada com palma de óleo no Brasil foi de 45 para 112,5 mil/hectares, quase o triplo (Tabela 3).

Tabela 3. Produtividade e área plantada de palma e óleo de palma.

Ano	Produção em cacho (mil/ton)	Área plantada (mil/hectares)			Produtividade em cacho (t/ha)	Produção de óleo (mil/t)	Produtividade de óleo (t/ha)
		Formação	Produção	Total			
2002	450	-	-	45,0	10	99,0	2,2
2010	1130	43	69	112,5	16	248,6	3,6

Fonte: MAPA, 2012

Os fatores que influenciam o desenvolvimento dos cachos de fruto fresco, produção de óleo e a taxa de extração da palma de óleo são: o clima, principalmente a precipitação e insolação, o material genético e as propriedades do solo (SILVA, 2006). Os dados de produção, importação, exportação e consumo dos óleos estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Dados de óleo de palma e palmiste, no Brasil, em mil toneladas.

Anos	Produção	Importação	Exportação	Consumo
2002	105,8	45,3	7,4	143,7
2011	-	369,9	52,2	317,7
2012	260	-	-	-
2013	385	-	-	-

Fonte: MAPA, 2012

A produção do HIE (G x O) tem como foco a integração das melhores características de ambas as espécies, do caiaué: menor desenvolvimento do tronco (porte da planta), ou seja, baixa taxa de crescimento do estipe (15 a 22 cm/ano) o que facilita a colheita dos frutos realizada a partir do segundo ano, alta taxa de ácidos graxos insaturados o que confere uma maior fluidez ao óleo e resistência a pragas e doenças como o AF e do tenera: elevada produtividade (CUNHA et al., 2005; MÜLLER et al., 2006; RIOS et al., 2012; SANTOS, 2010).

Os programas de melhoramento genético de palma de óleo são direcionados para obtenção máxima do potencial de produção de óleo. Os Híbridos podem ainda obter maior tolerância ao déficit hídrico, solos encharcados e manejo deficiente (BARCELOS, et al., 2001).

Contudo a produção de óleo no HIE (G x O) é inferior, com anomalias nas inflorescências masculinas (ginandromorfia) e menor atração aos insetos polinizadores, resultando em baixa fertilidade polínica, sendo necessária a polinização assistida, processo de polinização manual em todas as inflorescências femininas em antese planta a planta no intervalo de dois em dois dias, tornando-se uma atividade onerosa (CUNHA et al., 2010; PINA, 2010). Essa anomalia está ligada direta ou indiretamente com o gene Pisífera (CHIA, 2008).

Um resumo das características das espécies do gênero *Elaeis* e do híbrido interespecífico é apresentado na Tabela 5.

Tabela 5. Características agronômicas do gênero *Elaeis* e do híbrido interespecífico.

Característica	<i>E. guineensis</i>	<i>E. Oleifera</i>	Híbridos F1
Crescimento do estipe (cm/ano)	30 - 75	5	15 - 25
Amarelecimento fatal (mortalidade)	75%	0%	≤ 1%
Grau de instauração do óleo	40-60 %	60-83	62-69
Teor de óleo na polpa seca	67-76 %	35-49	59-68
Teor de óleo no cacho	18,3-25,5 %	1,7-4,4	3,8-17,0
Taxa de extração de óleo	20-24 %	≤ 9	8,9-18,8

Fonte: Adaptado de Chia, 2008.

O Brasil apresenta condições reais para se transformar em um dos grandes produtores de biodiesel e um dos principais fornecedores de bioenergia, assegurando o suprimento interno e de exportação. O Pará também possui condições edafoclimáticas bastante favoráveis ao cultivo de palma de óleo (FURLAN JÚNIOR; MÜLLER, 2004). Segundo Lange (2012), isso se deve à localização geográfica, em que recebe a intensidade de radiação solar e de chuva adequado às exigências da espécie.

Cada vez mais a expansão das áreas a serem plantadas aumenta no Pará, uma das próximas etapas é o aumento de 329 mil ha até 2020 (REPÓRTER BRASIL, 2012).

Em 2012, a Biopalma da Amazônia S.A. instalou a primeira usina extratora de palma de óleo (CARDOSO, 2014). A concorrência da agroindústria no Pará ainda é pequena, sendo 10 agroindústrias com 11 usinas de processamento (Tabela 6).

Tabela 6. Principais agroindústrias e a capacidade atual de óleo de palma no Estado do Pará – Brasil.

Empresa/Região	Expansão 2015-2018 em ha	Usinas de processamento	Capacidade de processamento (t/cff/h)
ADM São Domingos do Campim	24.000	0	0
Agropalma Acará, Moju e Tailândia	51.000	5	201
Dentauá/Santa Isabel do Pará Santo Antônio do Tauá	5.600	2	39
Denpasa Santa Bárbara do Pará	10.000	1	12
Palmasa Igarapé-Açú	5.000	1	28
Marborges Moju	5.500	1	20
Mejer Bonito	5.000	0	0
Petrobrás-Galp Tailândia e Mocajuba	70.000	0	120
Biopalma-Vale Moju, Abaetetuba, Acará	80.000	1	40

Fonte: Agropalma (2000) *apud* SUFRAMA (2003); Revista Dinheiro Rural (2013).

3.4 O CARBONO E O NITROGÊNIO DO SOLO

Os principais reservatórios de carbono são: os oceanos, as formações geológicas (carbono fóssil - petróleo e gás natural e carbono mineral - carvão), a atmosfera, e os ecossistemas terrestres (biota+solo). O maior reservatório de carbono da biosfera é representado pela matéria orgânica do solo (MOS), proveniente da decomposição de vegetais e de animais mortos, pelos macrorganismos (principalmente por minhocas, ácaros e térmitas terrestres) e microrganismos (principalmente fungos e bactérias) e pelas raízes (MACHADO, 2005; FERREIRA et al., 2005).

A quantidade de MOS depende da entrada de material orgânico, da sua taxa de mineralização, da textura do solo, do clima (COSTA et al., 2013), do histórico de uso da terra (DAVIDSON et al., 2002) e de outros fatores. A humificação, agregação e sedimentação são as principais ações responsáveis pelo sequestro de Carbono no solo (MACHADO, 2005).

As elevadas temperaturas tendem a aumentar as taxas dos processos bioquímicos, e junto com o rompimento da estabilidade do solo, pode determinar um aumento maior nas taxas de decomposição do que nas de adição, resultando na diminuição do teor de MOS (CONCEIÇÃO, 2006). Os processos ligados às perdas são a erosão, a decomposição, a volatilização e lixiviação (MACHADO, 2005).

Como o Carbono (C) é o principal elemento da MOS, faz-se necessário conhecer sua dinâmica no sistema solo-planta-atmosfera, o que contribui com o entendimento de como os sistemas agrícolas podem afetar a quantidade e qualidade da MOS (RESENDE, 2011). Van Diepen (2006) cita que o aumento da realização de estudos, nessa temática, é devido a sua importância no sistema do ciclo global, e também porque as ações antrópicas estarem modificando-o, em um grau significativo. A tabela 7 apresenta a quantidade do estoque de carbono nos principais reservatórios naturais.

Tabela 7. Estoque global de carbono na vegetação e no solo.

Bioma	Área (10 ⁶ km ²)	Estoques de Carbono		
		Vegetação	Solos	(Gt de C Total)
Floresta Tropical	17,6	212	216	428
Floresta Temperada	10,4	59	100	159
Floresta Boreal	13,7	88	471	559
Terras agrícolas	16,0	3	128	131
TOTAL	57,7	362	915	1,277

1 Gt = 1.000.000.000 t

Fonte: Adaptado de Machado (2005).

O Nitrogênio (N) é um dos nutrientes mais encontrados no solo, sendo ~ 98% na forma orgânica e ~2% o mineral pelas formas amônio (NH₄⁺), nitrato (NO₃⁻) e nitrito (NO₂⁻). As transformações desse composto químico envolvem a mineralização (orgânico-inorgânico) feita pelos microrganismos heterotróficos que sintetizam substâncias, tornando-se disponível para as plantas e a imobilização (inorgânico-orgânico), em que os microrganismos assimilam para formar os constituintes orgânicos de suas células e tecidos (ALFAIA, 2006).

Geralmente, a mínima quantidade de N no solo e a grande necessidade pelas plantas faz com que seja um nutriente limitante ao crescimento e desenvolvimento das plantas (SANTIAGO et al., 2013). A recuperação dos estoques de C e N dos solos pode ser conseguida pela proteção química e física da MOS, reflexo das técnicas de manejo. Entender a dinâmica do C nos solos tropicais é essencial para a adoção de sistemas de uso e manejo (RESENDE, 2011).

3.5 INTERAÇÕES NO SOLO: EFLUXO DE CO₂ E RAÍZES

O efluxo de CO₂ entre o solo e a atmosfera ocorre através da liberação dos gases durante a decomposição das folhas (serapilheira/liteira) - respiração microbiana

heterotrófica e da respiração autotrófica pela raiz, sendo um dos principais processos a serem considerados na determinação do balanço de carbono (VAN DIEPEN, 2006; EUSKIRCHEN et al., 2003; EPRON et al., 2001).

Os processos realizados pela ação microbiana no solo produzem ou consomem gases e a magnitude e quantidade do efluxo depende dos fatores físicos como a temperatura e a umidade no solo, pois afetam diretamente a produção e o consumo dos mesmos, já que esses fatores físicos causam efeitos sobre a atividade microbiana e as raízes (SILVA-OLAYA, 2010).

O regime térmico do solo é determinado pela radiação solar que aquece a superfície do solo e o processo de condução que transporta o calor sensível ao seu interior (OLIVEIRA, 2014).

A oscilação da temperatura do solo apresenta um ciclo diário e outro anual, que, acompanham os respectivos movimentos aparentes do sol (VAREJÃO-SILVA, 2001) seu calor sensível.

A variação no tempo e no espaço da temperatura do solo depende da condutividade térmica, do calor específico e da sua emissividade, estes dependem de sua textura, densidade e umidade (COELHO, 2005).

O efluxo de CO₂ depende da produção de CO₂ e do processo físico de difusão passiva do fluxo de gás para fora do solo (COELHO, 2005). Fonseca (2010) expõe as condições propícias para avaliações de fluxos de carbono: áreas planas, condições ambientais constantes e extensas áreas de vegetação subjacente e a sotavento. Por meio de medições temporais em horas, dias, sazonalmente e anualmente e espaciais da folha, de plantas individuais e dos conjuntos delas.

O solo é o meio natural onde as espécies animais e vegetais encontram condições necessárias para seu desenvolvimento e crescimento. Os componentes que fazem parte do solo são: o mineral (areia, silte, argila), o material orgânico, água e gases.

Os poros do solo guardam a água e o ar necessários para a manutenção das plantas por meio das raízes (RODRIGUES, 2008). Os solos na Amazônia são fortemente intemperizados e altamente ácidos, saturados por alumínio e com pouca concentração de nutrientes, devido sua alta intemperização (MATOS et al., 2012).

A intemperização ocorre através do conjunto de processos físicos, químicos e biológicos que atuam sobre as rochas, desintegrando-as e decompondo-as, propiciando a formação do perfil do solo. O perfil é formado pelo conjunto de horizontes (A, B, C...), que são as diferentes camadas que constituem o solo (LIMA et al., 2007).

O horizonte A (camada superficial do solo) é a zona de máxima acumulação de MOS, com grande atividade biológica, proveniente da degradação, em vários estágios, dos resíduos animal e vegetal, e é onde a maior parte das raízes das plantas se desenvolvem (VALENTINI, 2004; LIMA et al., 2007; RODRIGUES, 2008).

De acordo com Euskirchen et al., (2003) e Ryan e Law (2005), a respiração no solo é a principal rota para o fluxo de C do ecossistema para a atmosfera, podendo influenciar intensamente na absorção líquida de carbono da atmosfera, ou na produção líquida do ecossistema (NEP) – o balanço entre a fotossíntese e a respiração dos ecossistemas.

Segundo Valentini (2004), o efluxo de CO₂ do solo pode representar cerca de três quartos da respiração do ecossistema, o que mostra a grande relevância dos solos no que se refere a atuar como fonte ou sumidouro de carbono atmosférico. Paiva et al., (2011) cita que qualquer modificação nos ecossistemas tropicais vindas de alterações naturais ou antrópicas ocasionará mudanças nos fluxos de C para a atmosfera.

Um dos fatores de influência na variação da respiração no solo depende de como as raízes estão distribuídas (SOE; BUCHMANN, 2005). Monteiro (2014) cita que sua distribuição é o resultado de um conjunto de processos complexos e dinâmicos de interações entre ambiente, solo e planta em crescimento.

A porosidade do solo é importante na aeração, pois garante a entrada de gás oxigênio necessário a mineralização da MO e saída de CO₂ e outros gases produzidos. O ar da camada superficial do solo não difere muito do ar atmosférico garantindo o arejamento para os processos vitais da biota (VALENTINI, 2004; LIMA et al., 2007).

As diversidades climáticas e pedológicas são importantes, pois diferem na quantidade e qualidade da MO, já que atributos ligados a estas como o pH, a textura e a drenagem interferem nos processos de humificação e na taxa de renovação do C do solo (CERRI et al., 1996).

As modificações nos atributos dos solos causadas pelo manejo inadequado tem levado a perda da capacidade produtiva em poucos anos de uso (REIS et al., 2009), ou seja, o cultivo intensivo ou contínuo libera o C para a atmosfera, dessa forma contribuindo na variação do teor de Carbono Orgânico do Solo - COS (LAL; KIMBLE, 1997; FARIA et al., 2008ab).

A respiração basal do solo (RBS) é o conjunto total das funções metabólicas nas quais o CO₂ é produzido. Os fungos e as bactérias são os seres que emitem maiores

quantidades de CO₂ pela decomposição da MO. A RBS tem uma relação estreita com as condições abióticas do solo como a umidade e a temperatura (SILVA et al., 2007).

O processo de decomposição é controlado pela natureza da comunidade decompositora (macro e microorganismos), pelas características da MO que determina a degradabilidade e pelo ambiente físico químico que atua em escalas macromicroclimáticas e edáficas. Esse processo é dividido em três etapas simultâneas, ou seja, lixiviação, intemperismo e ação biológica, havendo mineralização de elementos como fósforo, nitrogênio e enxofre por bactérias (VALENTINI, 2004).

A biomassa de raízes também representa fundamental importância nos processos que ocorrem abaixo do solo e são poucos os trabalhos que detalham sua distribuição em ecossistemas florestais na Amazônia (MENEZES, 2002). O conhecimento do sistema das raízes das plantas é um importante dado de auxílio para explicar processos ecofisiológicos básicos (MELO et al., 1998).

Os métodos diretos de medidas da respiração nas raízes são difíceis de realizar de forma confiável, por causa da alta perturbação do solo, durante a amostragem e processamento deste, onde a escavação tem uma grande influência sobre a respiração radicular, como resultado de efeitos e mudanças no microambiente, ferindo as raízes (EPRON et al., 2001).

Epron et al., (2001) justifica que a grande variabilidade quanto aos resultados da respiração no solo, seja devido às limitações dos diversos métodos empregados e que costumam dar altas estimativas da contribuição da respiração total de raiz para o efluxo de CO₂ do solo.

A ausência de estudos a respeito desses HIE (*Elaeis guineensis* Jacq. x *Elaeis oleifera* (H. B. K.) Cortés) no Leste da Amazônia, Município de Moju, únicos exemplares plantados em área de alta incidência do AF mostra a importância da realização deste trabalho, contribuindo, assim, com demais literaturas científicas existentes.

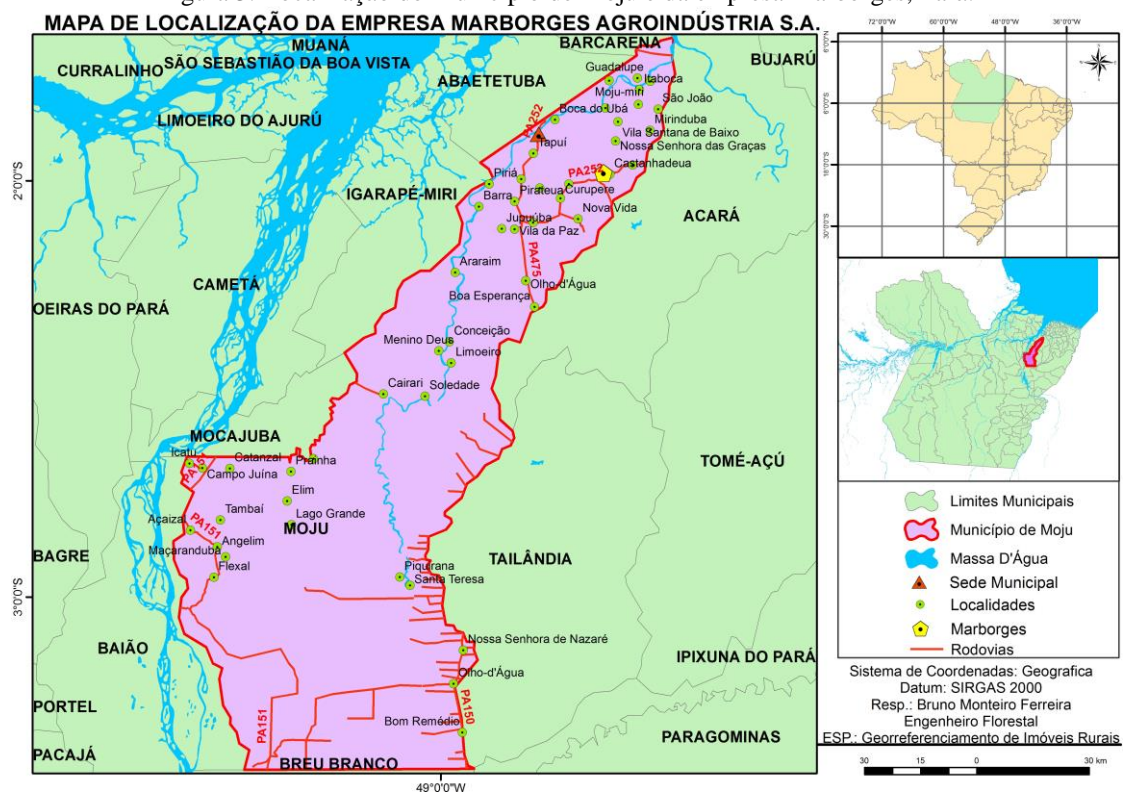
4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1.1 Localização da área de estudo

O estudo foi conduzido em um plantio comercial de híbridos interespecíficos de palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq. x *Elaeis oleifera* (H. B. K.) Cortés), em propriedade da empresa Marborges Agroindústria S. A. (coordenadas latitude 01°58'54,21" S e longitude 48°36'33,66" W), no km 56 da PA-252 (Rodovia Virgílio Serrão Sacramento), vila de Bacuriteua, localizada no Município de Moju, Nordeste do Estado do Pará (Figura 3).

Figura 3. Localização do Município de Moju e da empresa Marborges, Pará.



4.1.2 Caracterização da área de Moju

A área do território de Moju é de 9.094,10 km², sendo que 50,95% dessa área são cobertos por floresta primária, aproximadamente 4.652,4 km² (IDESP, 2014;

CARDOSO, 2014; PRODES, 2012). Os solos existentes no município de Moju são classificados como Latossolo Amarelo, distrófico, textura média (MUNIZ et al., 2012; IDESP, 2014). O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, pertence à categoria climática mesotérmico e úmido, do tipo *Af*, com temperatura média anual em torno de 25 °C.

Os totais de precipitação pluvial anual variam entre 2200 e 3000 mm (BASTOS, 2000). A umidade relativa do ar é aproximadamente 85% (IDESP, 2014), sendo o período de dezembro a maio o mais chuvoso e de junho a novembro o menos chuvoso na região (MORAES et al., 2011).

4.1.3 Projeto de execução do experimento

O estudo integra o Projeto “Caracterização micrometeorológica e emissão de CO₂ em cultivo da palma de óleo com híbridos interespecíficos (*Elaeis guineensis* Jacq. x *Elaeis oleifera* (H. B. K.) Cortés) no leste da Amazônia”, executado pela Embrapa em parceria com a empresa Marborges Agroindústria S. A..

4.1.4 Histórico da área de estudo

A área de estudo, de acordo com relatos e registros obtidos na empresa, era coberta por floresta primária até os anos 70; após esse período ocorreu desmatamento para implantação de monocultivo de palma de óleo. Em 2000, ocorreu uma grande queimada nas plantações próximo a área de estudo, sem uma causa definida, o que prejudicou a cultura. Em 2006, houve um número elevado de plantas com Amarelecimento Fatal (AF), ocasionando a perda de uma grande área da plantação, levando à substituição gradual do Tenera (*Elaeis guineensis* Jacq.) por HIE (*Elaeis guineensis* Jacq. x *Elaeis oleifera* (H. B. K.) Cortés).

4.1.5 Descrição da área de amostragem

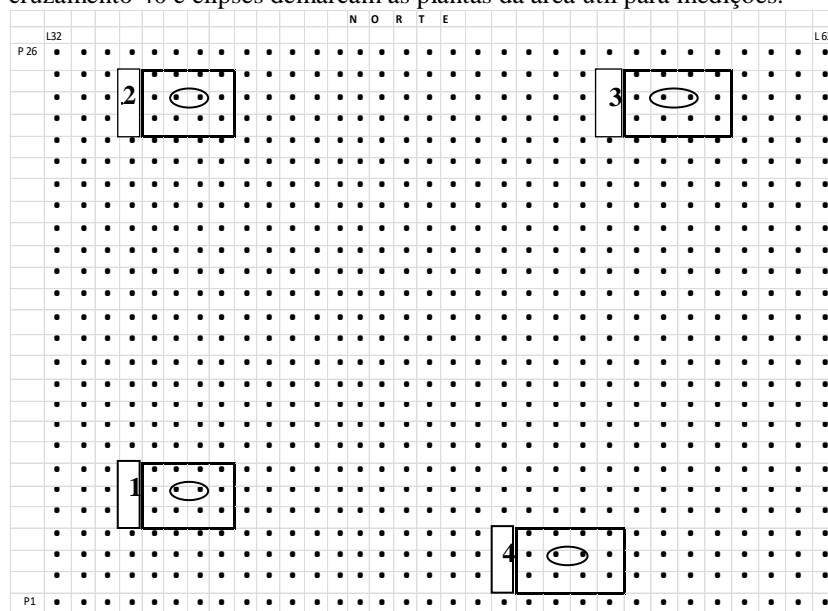
Em fevereiro de 2007, por meio do Pró Dendê, foram plantados indivíduos de 42 cruzamentos de HIE, em uma área de 5,84 hectares, seguindo um padrão de triângulo equilátero (lado = 9m), em que cada indivíduo foi plantado no vértice do triângulo, de forma a maximizar o aproveitamento da radiação solar.

Cada cruzamento foi plantado em quatro parcelas, contendo 12 plantas e dispostas aleatoriamente na área. Ao redor da área de estudo, encontram-se antigas plantações de Tenera (*Elaeis guineensis* Jacq.) e, na linha direcionada ao Sul da parcela, há plantações de Teca (*Tectona grandis*).

Foi selecionado o cruzamento 40 que, de acordo com o acompanhamento da empresa, apresentava a maior produtividade de cachos. O experimento foi conduzido na área de influência das duas plantas centrais da parcela (área útil), sendo as demais consideradas como bordadura.

Em dezembro do mesmo ano, a cerca de 3m de distância da parcela 1 foi instalada uma torre metálica de 22 m de altura equipada com sensores para medições micrometeorológicas, porém esses sensores só começaram a funcionar a partir do dia 13 de março de 2014.

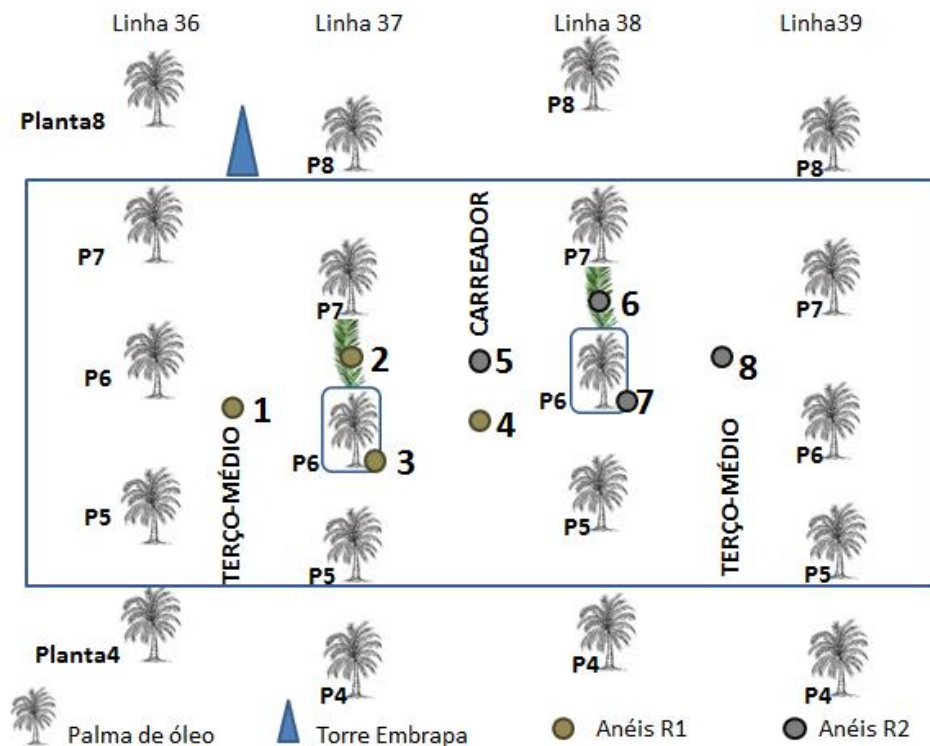
Figura 4. Croqui da área experimental. Retângulos demarcam as parcelas do cruzamento 40 e elipses demarcam as plantas da área útil para medições.



Fonte: Elaborado pela Autora

As medições feitas no campo foram realizadas em áreas de influência das duas plantas centrais, onde os anéis foram instalados nos seguintes locais (Figura 5): a) empilhamento (pontos 2 e 6); b) carreador (pontos 4 e 5); c) terço médio da copa (pontos 1 e 8); e d) próximo ao estipe (pontos 3 e 7).

Figura 5. Localização dos anéis na área sub parcela 1



Fonte: Elaborado pela Autora

A área de empilhamento é o local onde são acumuladas as folhas podadas a cada seis meses.

Na área do carregador ocorre trânsito da maquinaria necessária para a realização da coleta dos cachos e aplicação de adubos, com tração animal (muare ou bubalinos).

A área na projeção do terço-médio da folha é o local onde se concentra o aporte de adubo. A copa dos HIE é baixa, de folhas longas, formando uma cobertura contínua com uma boa parte de sombra no local e o solo é levemente coberto por vegetação rasteira.

A área próxima do estipe foi definida a cerca de 50 cm da base da planta.

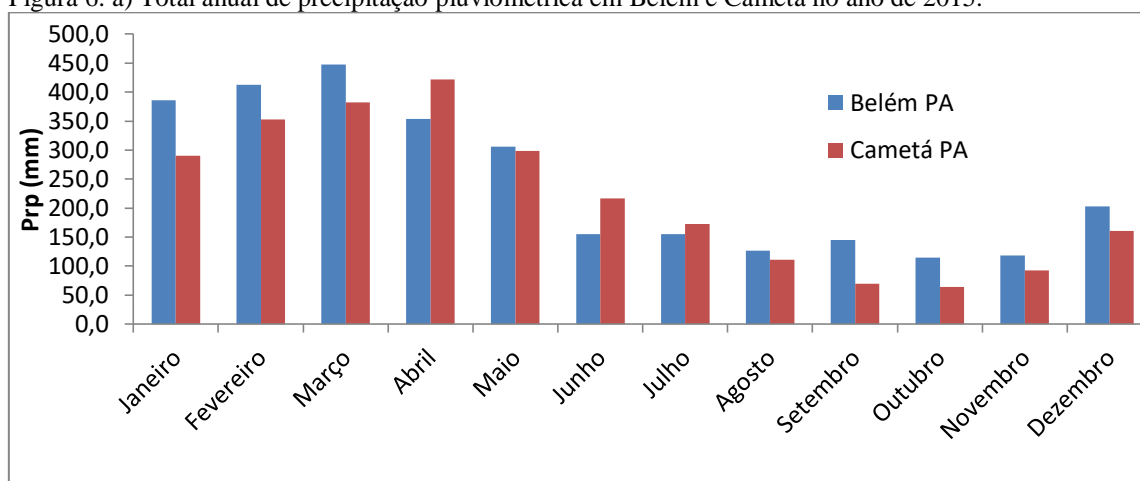
A partir de agosto de 2014, os carregadores foram desativados e o carregamento passou a ser realizado nas linhas adjacentes, onde inicialmente foram instalados os anéis representativos da área sob o terço médio da copa.

Instalado na área de estudo, um pluviômetro (TB4, Hydrological Services Pty. Ltd.) registrou a precipitação pluviométrica (mm) diária. Além desses dados, foram utilizados dados meteorológicos mensais referentes a série histórica do ano de 2015, com o intuito de comparar a média climática das estações meteorológicas de Belém e Cameté que são mais próximas às condições encontradas na área de estudo Moju.

Foram utilizados os dados obtidos nas estações meteorológicas localizadas em Belém (Latitude 1°24'37,08"S; Longitude 48°26'17,88"W) e Cametá (Latitude 2°14'54,99"S; Longitude 49°29'35,16"W), assim como os obtidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

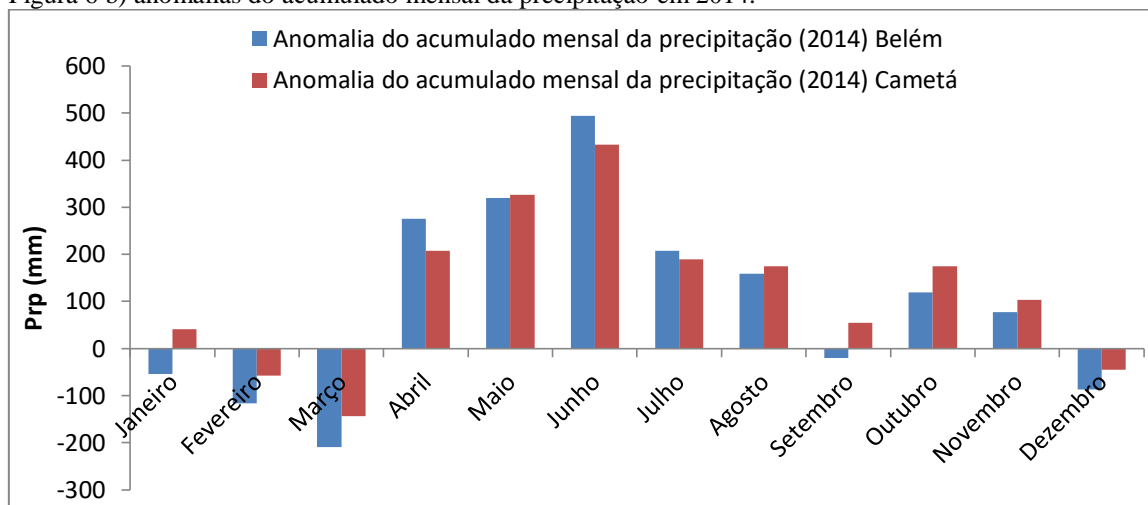
Esses dados serviram para elaboração dos gráficos no software Excel 2007, que são apresentados na Figura 6a), mostrando que os maiores níveis de precipitação da chuva ocorreram nos três meses de fevereiro a abril e a figura 6b) apresenta as anomalias do acumulado nessas regiões.

Figura 6. a) Total anual de precipitação pluviométrica em Belém e Cametá no ano de 2015.



Fonte: Dados das estações do INMET (2015).

Figura 6 b) anomalias do acumulado mensal da precipitação em 2014.



Fonte: Dados das estações do INMET (2015).

5 VARIÁVEIS

5.1 Biomassa de Raízes

O estoque de raízes foi determinado a cada três meses (janeiro, abril, julho e outubro de 2014). Em cada parcela, foram coletadas amostras nas áreas do carreador, terço médio, empilhamento e base com o auxílio de um trado (volume de $196 \text{ cm}^3 = 10 \text{ cm}$ de altura x 5 cm de diâmetro) e uma marreta de madeira (figura 7a), oito amostras de solo na camada de 0-10 cm do solo armazenadas em sacos plásticos identificados (figura 7b).

As amostras foram mantidas sob refrigeração a 4°C até o processamento em laboratório, que consistiu em lavagem com água corrente sobre duas peneiras com aberturas de malha de 2 mm e 1 mm, nesta sequência (figura 7c). Em seguida as raízes foram separadas manualmente com o auxílio de pinças metálicas e, com um paquímetro, foram classificadas de acordo com as seguintes classes de diâmetro: $\leq 1,0 \text{ mm}$ (raízes muito finas); 1,1 a 2,0 mm (raízes finas); 2,1 mm a 5,0 mm (raízes intermediárias); e $\geq 5,1 \text{ mm}$ (raízes grossas). Devido a grande variabilidade na quantidade encontrada de raízes intermediárias e grossas, estas foram como uma única classe ($\geq 2,1 \text{ mm}$).

As raízes foram secas em estufa a 65°C , por 48 horas (figura 7d), levadas ao dessecador para a retirada total de umidade (figura 7e) e pesadas em balança de precisão de 0,0001 g para obtenção da massa seca (figura 7f). Os resultados foram expressos em mg cm^{-3} .

Figura 7. Materiais utilizados em campo e no laboratório para obtenção de biomassa de raízes: a) trado e marreta de madeira; b) sacos plásticos com amostras de solo identificadas; c) bancada de lavagem com bandeja, peneiras e torneira; d) estufa e) dessecador com amostras de raízes; f) balança analítica;



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Fonte: Fotos da Autora

Para a análise estatística dos dados obtidos, primeiramente foi utilizado um modelo linear generalizado para dados categorizados para a avaliação dos diâmetros das raízes em relação ao período e local de amostragem. Neste caso, os diâmetros das raízes foram considerados como variável resposta, y , e a época de coleta e local de amostragem, variáveis independentes, x_1 e x_2 . Esses métodos são adequados quando se deseja ajustar um modelo linear em função de respostas representadas por frequências.

No modelo de dados categorizados foram realizadas duas análises: a primeira considerando apenas as raízes muito finas e finas ($\leq 2\text{mm}$) e outra análise considerou todas as classes de raízes $\leq 2\text{mm}$ (muito finas e finas) e raízes maiores $\geq 2,1\text{ mm}$ (intermediárias e grossas somadas).

Outra tentativa para avaliar alguma possível relação entre as ocorrências de raízes e os locais de amostragem foi feita pela aplicação da análise de correspondência - AC. A análise do gráfico da AC se faz pelo exame das relações de proximidade geométrica entre as categorias das variáveis.

Foi realizado o teste para a hipótese de homogeneidade que considera que as probabilidades de respostas são as mesmas para todas as populações (período e local de amostragem). Além desses testes estatísticos ainda foi utilizado o teste qui-quadrado, χ^2 e o modelo linear $F(p) = X\beta$ para a avaliação de observações de diâmetros das raízes em relação aos locais de amostragem e período de observação.

A significância das associações entre a ocorrência dos diâmetros das raízes com a localidade é feita pela análise dos resíduos.

5.2 Efluxo de CO_2 e temperatura do solo

Em janeiro de 2014 foram fixados oito anéis de policloreto de vinila (PVC), medindo 115 mm de diâmetro interno e 60 mm de altura, nas quatro sub parcelas. Utilizam-se os anéis de PVC para evitar que ocorram perturbações físicas no solo pela

fixação do equipamento diretamente no solo, o que pode causar um aumento na emissão do fluxo de CO₂ do solo. Os anéis foram inseridos cerca de 20 mm no solo e permaneceram no mesmo local durante todo o experimento.

Foi utilizado um analisador de gás por infravermelho, Infra Red Gas Analyzer - IRGA (equipamento portátil de circuito fechado) acoplado a uma câmara de respiração do solo (marca LI-COR, modelo 6400-09, Nebraska, EUA) (Figura 8). O efluxo de CO₂ do solo foi expresso em $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Durante as medidas, a temperatura do solo foi registrada com um termômetro inserido a aproximadamente 5 cm de profundidade.

Figura 8. Equipamento utilizado para a medição do efluxo de CO₂ do solo composto de console e câmara de respiração do solo (a) e detalhe da câmara de respiração do solo e o termômetro (b).



Fonte: Fotos da Autora

Entre junho e dezembro de 2014 foram avaliados o efluxo de CO₂ e a temperatura do solo. As medições do efluxo de CO₂ do solo foram realizadas mensalmente, geralmente entre 07h30min e 11h00min (horário local), em 32 pontos. Sabendo-se que é normal o aumento da temperatura no decorrer do dia (início da leitura do aparelho até o último ponto da medição), foi estabelecida uma sequência aleatória de amostragem entre parcelas a cada período de coleta.

Na avaliação do efluxo de CO₂ foi utilizada a análise de variância de medidas repetidas no tempo. Como foi observada uma dependência entre a umidade e o efluxo de CO₂, foi utilizada a análise de covariância (ANCOVA), cujo objetivo é eliminar essa dependência da análise, para que seja feita a comparação entre os locais de amostragem e data em relação à umidade.

5.3 Umidade gravimétrica do solo

Entre junho e dezembro de 2014 foi avaliada a umidade gravimétrica no solo.

Em cada parcela, simultaneamente às medidas de efluxo de CO₂ e de temperatura, foram coletadas, próximos de cada anel de PVC, três amostras simples de solo, na camada de 0-10 cm do solo, que foram reunidas para compor uma amostra composta por ponto, resultando em oito amostras compostas por parcela.

As amostras compostas foram armazenadas em frascos plásticos com tampa e sobre tampa (Figura 9).

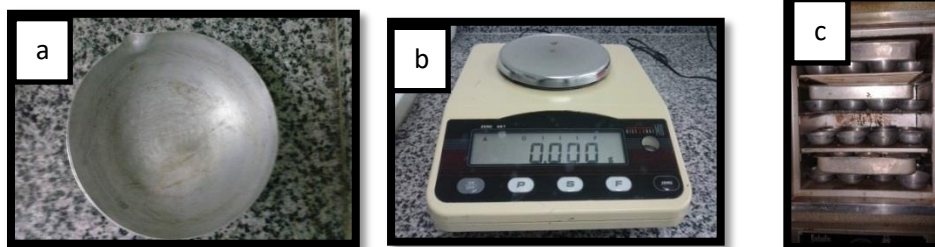
Figura 9. Frascos plásticos para umidade.



Fonte: Foto da Autora

A massa úmida de solo foi determinada em até 24 horas após a coleta das amostras. Após secagem em estufa a 105 °C por 24 horas, a massa seca foi determinada (Embrapa, 2011) (Figura 10).

Figura 10. Equipamentos para as análises de umidade gravimétrica: a) cadinho, b) balança analítica de precisão e c) estufa com amostras de solo nos cadinhos.



Fonte: Fotos da Autora

Para a obtenção da porcentagem do conteúdo de água do solo das amostras, utilizou-se a seguinte equação (Equação 1).

$$H_2O(\%) = \frac{(m_{umida} - m_{seca})}{m_{seca}} * 100 \quad \text{eq. 01}$$

Para a avaliação da umidade gravimétrica do solo nos locais de amostragem e período foi utilizada a ANCOVA por causa da correlação entre a umidade e o CO₂, ou seja, foi feita a comparação das médias da umidade em relação aos locais de amostragem e período sem a umidade sobre a influência do CO₂.

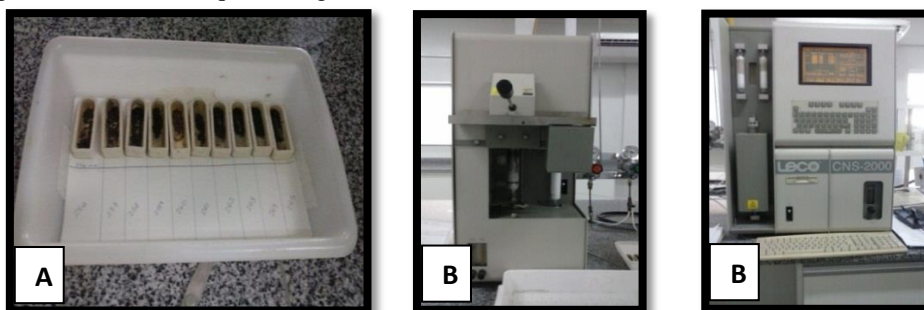
Foi realizada a análise da umidade gravimétrica em relação ao solo e ao período, ou seja, deseja-se saber se há diferença na umidade em relação ao local de amostragem e a data da coleta. O teste de comparações múltiplas de Tukey foi utilizado para avaliar para quais locais e períodos foram observados valores de umidade diferentes.

5.4 Carbono e nitrogênio orgânico do solo

O teor total de carbono e nitrogênio do solo foi avaliado em julho de 2014, em cada uma das parcelas. Próximo de cada anel de PVC foi coletada uma amostra composta de três amostras simples de solo na camada 0-10 cm. Após secagem ao ar, as amostras foram destorroadas e passadas por peneira com abertura de malha de 2 mm.

A análise foi realizada segundo metodologia proposta pela Embrapa (2011). Cerca de 20 g de amostras de solo foram pulverizadas usando-se gral e pistilo de ágata e passadas por peneiras de 60 mesh. Foi pesado cerca de 0,2 g de cada amostra para determinação da concentração de carbono e nitrogênio do solo por combustão via seca em analisador elementar da marca LECO, modelo CNS-2000 (Figura 11).

Figura 11. Materiais e aparelho para as análises de carbono e nitrogênio total do solo: a) amostras pulverizadas em barquinha vegetal b) analisador elementar LECO.



Fonte: Fotos da Autora

Para a avaliação do carbono nos locais de amostragem foi utilizada a ANOVA por causa da forte correlação entre o nitrogênio e o carbono ($r=0,91$, $p<0.00$), ou seja, foi feita a comparação das médias do carbono em relação aos locais de amostragem sem a influência do nitrogênio.

Os dados de carbono precisaram ser transformados pelo método de Box-Cox para obedecer às condições de homogeneidade, normalidade e independência nos resíduos. Os resultados não mostraram significância estatística para o carbono nos locais de amostragem. A análise para o nitrogênio foi semelhante ao carbono pela forte correlação entre esses dois elementos.

No programa sigmaplot os dados de carbono foram submetidos a ANOVA.

5.5 Dados micrometeorológicos

Próximo a primeira parcela estava localizada uma torre metálica (altura = 22m) contendo instrumentos micrometeorológicos. Dos equipamentos instalados na torre, obtiveram-se dados de precipitação pluviométrica, e dos sensores instalados no solo dados de temperatura e umidade do solo, referências descritas na Tabela 8:

Tabela 8. Distribuição dos sensores na profundidade de 10 e 20 cm

Medida	Instrumento utilizado	Ponto de coleta	Período	Altura/Profundidade (m)
Temperatura do solo				
	Reflectômetro no domínio do tempo (CS650, Campbell Scientific, Inc.)	P1; P3; P4	10 min	Diária/0,10; 0,20
Umidade do solo				
	Reflectometria no domínio do tempo (CS615, 616,650, Campbell Scientific, Inc.)	P1; P2; P3; P4	10 min	Diária/0,10; 0,20
Umidade do solo				
	Sonda perfilhadora de umidade (PR1, Delta-T Devices Ltd.)	P5	10 min	Diária/0,10; 0,20
Precipitação Pluvial				
	Pluviômetro (TB4, Hydrological Services Pty. Ltd.)	P5	10 min	Diária/22,65

6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

As análises estatísticas foram realizadas de acordo com Vieira (2006).

Para os dados de biomassa de raízes, representados por frequências de ocorrências, foi utilizado um modelo linear generalizado para dados categorizados. Esse modelo avaliou os diâmetros das raízes em relação ao período e local de amostragem. Neste caso, os diâmetros das raízes foram considerados como variável resposta, y , e a época de coleta e local de amostragem, variáveis independentes, x_1 e x_2 . Esses métodos são adequados quando se deseja ajustar um modelo linear em função de respostas representadas por frequências.

Foi realizado o teste para a hipótese de homogeneidade que considera que as probabilidades de respostas são as mesmas para todas as populações (período e local de amostragem). Além desses testes estatísticos ainda foi utilizado o teste qui-quadrado, χ^2 e o modelo linear $F(p) = X\beta$ para a avaliação de observações de diâmetros das raízes em relação aos períodos de observação e locais de amostragem.

Outro método utilizado na avaliação da biomassa foi a análise de correspondência (AC), que é uma técnica multivariada utilizada para o exame de relações geométricas do cruzamento ou contingenciamento de variáveis categorizadas (variáveis qualitativas). Permite analisar a relação entre as duas variáveis graficamente em um espaço multidimensional, de modo que se possa verificar que categorias de uma variável são similares às outras ou quais categorias das duas variáveis são relacionadas. Ela analisa a distribuição de massa de um conjunto de observações. Os principais resultados da análise de correspondência são apresentados em forma de tabelas (13 a 19) e gráficos (12 e 13).

A avaliação do efluxo de CO_2 para os locais de coleta e período foram feitas pela análise de variância “two-way”. O mesmo modelo também foi utilizado para avaliar possível interação entre os locais de coleta e período no efluxo de CO_2 .

Para avaliar a umidade gravimétrica no solo e carbono em relação ao local de coleta e época foi utilizada a ANCOVA, em virtude da correlação entre as variáveis respostas (umidade gravimétrica com efluxo de CO_2) e (carbono com nitrogênio). Neste caso, a ancova compara as variáveis resposta para os tratamentos (local de coleta e época) sem a influência das correlações observadas entre as variáveis resposta e outras variáveis.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 Biomassa de raízes

Para representação da biomassa de raízes primeiramente observou-se a presença de raízes de uma dada classe de diâmetro por local de amostragem nos meses de janeiro, abril, julho e outubro. De acordo com os dados da Tabela 9, a porcentagem e a frequência de distribuição das raízes decresceram quantitativamente com o aumento da classe de diâmetro, independentemente do local de amostragem.

Tabela 9. Porcentagem de ocorrência de raízes de uma dada classe diâmetro, na camada 0-10 cm do solo, em diferentes locais de um plantio de HIE de palma de óleo de 7 anos de idade.

Período	Diâmetro	Local de amostragem			
		Base	Carreador	Empilhamento	Terço Médio
janeiro	$\leq 1\text{mm}$	8(100%)	8(100%)	8(100%)	8(100%)
	$>1 \leq 2\text{mm}$	7(87,5%)	7(87,5%)	7(87,5%)	6(75%)
	$>2 \leq 5\text{mm}$	6(75%)	3(37,5%)	2(25%)	4(50%)
	$>5\text{mm}$	1(12,5%)	1(12,5%)	0(0%)	0(0%)
abril	$\leq 1\text{mm}$	8(100%)	8(100%)	8(100%)	8(100%)
	$>1 \leq 2\text{mm}$	6(75%)	6(75%)	5(62,5%)	6(75%)
	$>2 \leq 5\text{mm}$	4(50%)	2(25%)	2(25%)	1(12,5%)
	$>5\text{mm}$	1(12,5%)	4(50%)	1(12,5%)	0(0%)
julho	$\leq 1\text{mm}$	8(100%)	8(100%)	8(100%)	7(87,5%)
	$>1 \leq 2\text{mm}$	8(100%)	8(100%)	5(62,5%)	5(62,5%)
	$>2 \leq 5\text{mm}$	6(75%)	6(75%)	3(37,5%)	2(25%)
	$>5\text{mm}$	1(12,5%)	1(12,5%)	3(37,5%)	5(62,5%)
outubro	$\leq 1\text{mm}$	8(100%)	8(100%)	8(100%)	8(100%)
	$>1 \leq 2\text{mm}$	5(62,5%)	2(25%)	3(37,5%)	2(25%)
	$>2 \leq 5\text{mm}$	6(75%)	2(25%)	2(25%)	1(12,5%)
	$>5\text{mm}$	1(12,5%)	1(12,5%)	0(0%)	0(0%)

O conhecimento do valor absoluto exposto na tabela é necessário para a realização das análises, nas comparações dos períodos e locais de amostragem. Com isso, devem-se utilizar os valores absolutos para o método estatístico (dados categorizados) a ser utilizado.

Houve uma diminuição na quantidade dos valores encontrados nas classes de maior diâmetro independente do período de coleta, havendo uma grande variabilidade nos valores das classes com diâmetros $> 2\text{ mm}$, ou seja, de forma geral, as raízes das duas classes de diâmetro menores $\leq 1\text{mm}$ e $> 1 \text{ a } \leq 2\text{mm}$ (raízes muito finas e finas)

ocorreram com maior frequência nos locais de amostragem. De acordo com Leão (2010) as raízes com diâmetro ≤ 2 mm são as principais responsáveis pela absorção de água.

As porcentagens na concentração da biomassa de raízes pouco se diferem em relação aos locais de amostragem, porém outros estudos mostram que há um decréscimo na quantidade de biomassa de raízes de palma de óleo em relação a distância da planta: de acordo com os resultados de Monteiro (2014), obtidos em cultivos de palma de óleo (4 anos de idade) em sistemas agroflorestais com baixa diversidade de espécies, usando o mesmo método de coleta desta pesquisa (tradagem), houve um decréscimo no estoque de raízes finas com o aumento da distância da base da planta.

Sousa et al., (2010), analisaram a variabilidade espacial do estoque de raízes finas em cultivo de palma de óleo (6 anos de idade) em sistemas agroflorestais na Amazônia Oriental, sendo três cultivos (dois em sistemas Agroflorestais e um monocultivo) também comprovaram um decréscimo na biomassa de raízes em todos os sistemas e locais com o aumento da distância da planta.

Sousa et al., (2013), analisaram o estoque de raízes finas em cultivos de Palma de óleo (*Elaeis guineensis*) cinco anos de idade, em dois sistemas Agroflorestais (biodiverso e adubadeiras) e em um monocultivo em Tomé-açu, Pará, concluindo que o estoque total de raízes finas $\leq 2,0$ mm (0-30 cm) foi significativamente maior no plantio convencional do que nos sistemas adubadeira e capoeira. Sendo que o maior estoque de raízes nos 5 cm de profundidade pode estar relacionado com a quantidade e qualidade de matéria vegetal depositado sob o solo.

Yahya et al., (2010) afirma que as práticas de mecanização podem contribuir para a deterioração gradual das condições físicas do solo, essenciais ao crescimento e função das raízes.

Na Tabela 10, foram unidas as frequências dos diâmetros > 2 a ≤ 5 mm e > 5 mm da Tabela 9 em virtude dos baixos valores de frequências de distribuição das raízes observados de acordos com os diâmetros e locais de amostragem nos quatro meses de coleta.

Nesta tabela são apresentados apenas os valores absolutos encontrados na biomassa das raízes muito finas, finas e maiores (≤ 1 mm, > 1 a ≤ 2 mm e > 2 mm) para a obtenção de resultados estatísticos.

Tabela 10. Frequência absoluta de distribuição dos diâmetros das raízes muito finas ($\leq 1\text{mm}$), finas (> 1 a $\leq 2\text{mm}$) e maiores ($> 2\text{mm}$)

Período	Diâmetros	Local de amostragem			
		Base	Carreador	Empilhamento	Terço Médio
janeiro	$\leq 1\text{mm}$	8	8	8	8
	$> 1 \leq 2\text{mm}$	7	7	7	6
	$> 2\text{mm}$	7	4	2	4
abril	$\leq 1\text{mm}$	8	8	8	8
	$> 1 \leq 2\text{mm}$	6	6	5	6
	$> 2\text{mm}$	5	6	3	1
julho	$\leq 1\text{mm}$	8	8	8	7
	$> 1 \leq 2\text{mm}$	8	8	5	5
	$> 2\text{mm}$	7	7	6	7
outubro	$\leq 1\text{mm}$	8	8	8	8
	$> 1 \leq 2\text{mm}$	5	2	3	2
	$> 2\text{mm}$	7	3	2	1

Para as raízes muito finas e finas ($\leq 1\text{mm}$ e > 1 a $\leq 2\text{mm}$) (dados retirados da Tabela 10) os resultados da aplicação do modelo de dados categorizados aplicados aos dados de frequência absoluta são mostrados nas Tabelas 11 e 12.

Não houve diferenças significativas entre os períodos ($\chi^2 = 6.01$, $p < 0.1113$) e locais de amostragem ($\chi^2 = 0.79$, $p < 0.8523$) (Tabela 11), ou seja, para a amostra em estudo, as frequências das distribuições das raízes muito finas e finas não diferem estatisticamente nem para o período e nem para o local de amostragem. Os resíduos não significativos ($\chi^2 = 1.27$, $p < 0.9985$) indicam que o modelo se ajustou adequadamente aos dados.

Tabela 11. Análise de variância para as raízes muito finas e finas ($\leq 1\text{mm}$ e > 1 a $\leq 2\text{mm}$)

Fonte de variação	GL	Qui-quadrado (χ^2)	Pr $> \chi^2$
Intercepto	1	146,77	<.0001
Período	3	6,01	0,1113
Local	3	0,79	0,8523
Residual	9	1,27	0,9985

GL: Grau de Liberdade

A Tabela 12 apresenta as estimativas dos parâmetros do modelo.

Neste método estatístico, para realização das comparações entre os níveis dos fatores (Período e local de amostragem), deve-se definir um valor de referência. Em geral, na ausência de um fator definido como controle, escolhe-se como referência o

fator com menores valores observados. Neste caso, para todo período de estudo, o mês de outubro é considerado como referência.

Confirmando os resultados da Tabela 11 não houve diferença dos outros meses (janeiro, abril e julho) em relação a outubro. Para o local de amostragem, o terço médio é a referência e, do mesmo modo, não houve diferença significativa dos locais de amostragem (base, carreador e empilhamento) em relação ao terço médio.

Tabela 12. Estimativas dos parâmetros do modelo para raízes muito finas e finas ($\leq 1\text{mm}$ e >1 a $\leq 2\text{mm}$)

Estimativas de mínimos quadrados ponderados					
Parâmetro		Estimativa	Erro padrão	χ^2	Pr > χ^2
Intercepto		0,3971	0,0328	146,77	<.0001
Período	janeiro	0,0600	0,0563	1,13	0,2867
	abril	0,0206	0,0573	0,13	0,7190
	julho	0,0553	0,0569	0,95	0,3306
Local	Base	0,0466	0,0565	0,68	0,4093
	Carreador	0,00172	0,0559	0,00	0,9755
	Empilhamento	-0,0192	0,0574	0,11	0,7382

Tais conclusões são baseadas nos elevados níveis descritivos ($\text{Pr} > \chi^2$) da estatística de teste (χ^2) utilizada, que indicam a probabilidade da hipótese de igualdade entre os níveis dos fatores (Período e Local) ser verdadeira.

Foi utilizado outro modelo denominado de análise de correspondência (AC), para avaliar possíveis relações entre as variáveis (diâmetros de raízes e locais de amostragem para o período total e para o período de cada coleta). Para aplicação, foram considerados os dados da Tabela 10 sendo realizada uma análise para cada mês.

Para o mês de janeiro, os resultados obtidos são apresentados na Tabela 13. Observa-se que as duas primeiras dimensões explicam cerca de 100% da variabilidade dos dados. O *scree plot* é equivalente a um histograma que mostra a amplitude da variabilidade explicada de cada dimensão.

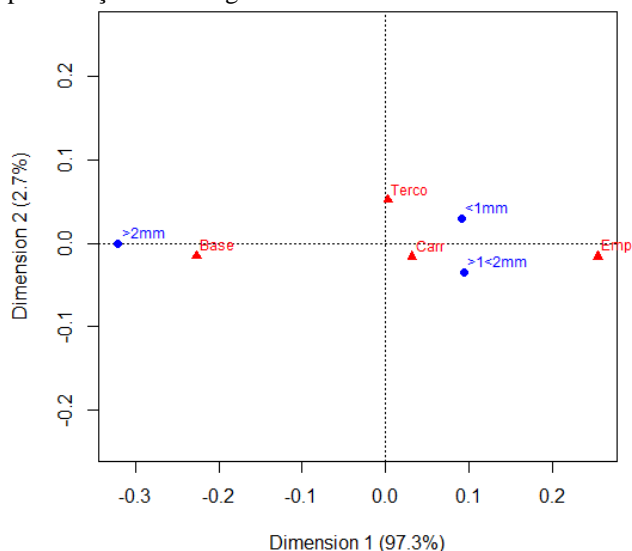
Tabela 13. Proporção da variabilidade explicada pela AC (janeiro).

Dimensão	valor	%	% acum	scree plot
1	0,029623	97,3	97,3	*****
2	0,000823	2,7	100,0	*
Total:	0,030446	100,0		

A Figura 12 apresenta o gráfico final obtido pela aplicação da AC na Tabela 13 para o mês de janeiro. A proximidade dos dois pontos representando as localizações do

Terço-médio e Carreador comparado com a distância da localização da Base indica que os eixos refletem um contraste entre essas categorias. Em outras palavras, existe uma heterogeneidade entre as categorias de Locais de coleta, sendo que Terço-médio e Carreador são relativamente homogêneos.

Figura 12. Representação das categorias locais de coleta e diâmetro de raízes (janeiro).



Fazendo-se uma análise visual, observa-se que as Raízes com diâmetros $\leq 1\text{mm}$ e entre >1 a $\leq 2\text{mm}$ parecem estar mais associadas às localizações Terço-médio e Carreador, respectivamente. A ocorrência de raízes $> 2\text{mm}$ mostra maior associação com a localização Base. Para confirmar se essas associações são significativas, deve-se analisar a tabela de resíduos.

A Tabela 14 mostra a análise de resíduos do contingenciamento das duas variáveis em estudo, analisados apenas os resíduos positivos, ou seja, o teste é unilateral. Os valores da variável padronizada, Z_{res} , para um nível de significância 5% e 1% são, respectivamente, 1,96 e 2,58. Para a amostra analisada, os resultados não mostram nenhuma associação significativa nesses níveis (5% e 1%). O valor mais significativo observado foi para a localização Base e raízes com diâmetro $> 2\text{ mm}$ ($Z = 1.262$, $p < 0.21$), neste caso, para essa amostra, nenhuma conclusão definitiva pode ser tomada.

Tabela 14. Análise de resíduos da tabela de contingência usada AC (janeiro).

Diâmetros	Base	Carreador	Empilhamento	Terço Médio
$\leq 1\text{mm}$	-0,647	0,000	0,470	0,230
$>1 \leq 2\text{mm}$	-0,431	0,138	0,553	-0,223
$>2\text{mm}$	1,262	-0,159	-1,191	-0,017

As mesmas análises foram feitas para os meses de abril, julho, outubro e para o total (soma dos 4 meses). Os resultados são apresentados a seguir. Nas Tabelas 15, 16, 17 e 18 são mostradas as variações explicadas pelos dois primeiros componentes para os respectivos meses de abril, julho e outubro.

Tabela 15. Proporção da variabilidade explicada pela AC (abril).

Dimensão	valor	%	% acum	scree plot
1	0,045040	97,5	97,5	*****
2	0,001143	2,5	100,0	*
Total	0,046184	100,0		

Tabela 16. Proporção da variabilidade explicada pela AC (julho).

Dimensão	valor	%	% acum	scree plot
1	0,008315	82,0	82,0	*****
2	0,001822	18,0	100,0	****
Total	0,010137	100,0		

Tabela 17. Proporção da variabilidade explicada pela AC (outubro).

Dimensão	valor	%	% acum	scree plot
1	0,074087	93,0	93,0	*****
2	0,005604	7,0	100,0	**
Total	0,079691	100,0		

Tabela 18. Proporção da variabilidade explicada pela AC (Total).

Dimensão	valor	%	% acum	scree plot
1	0,013492	99,8	99,8	*****
2	2,1e-050	0,2	100,0	
Total	0,013513	100,0		

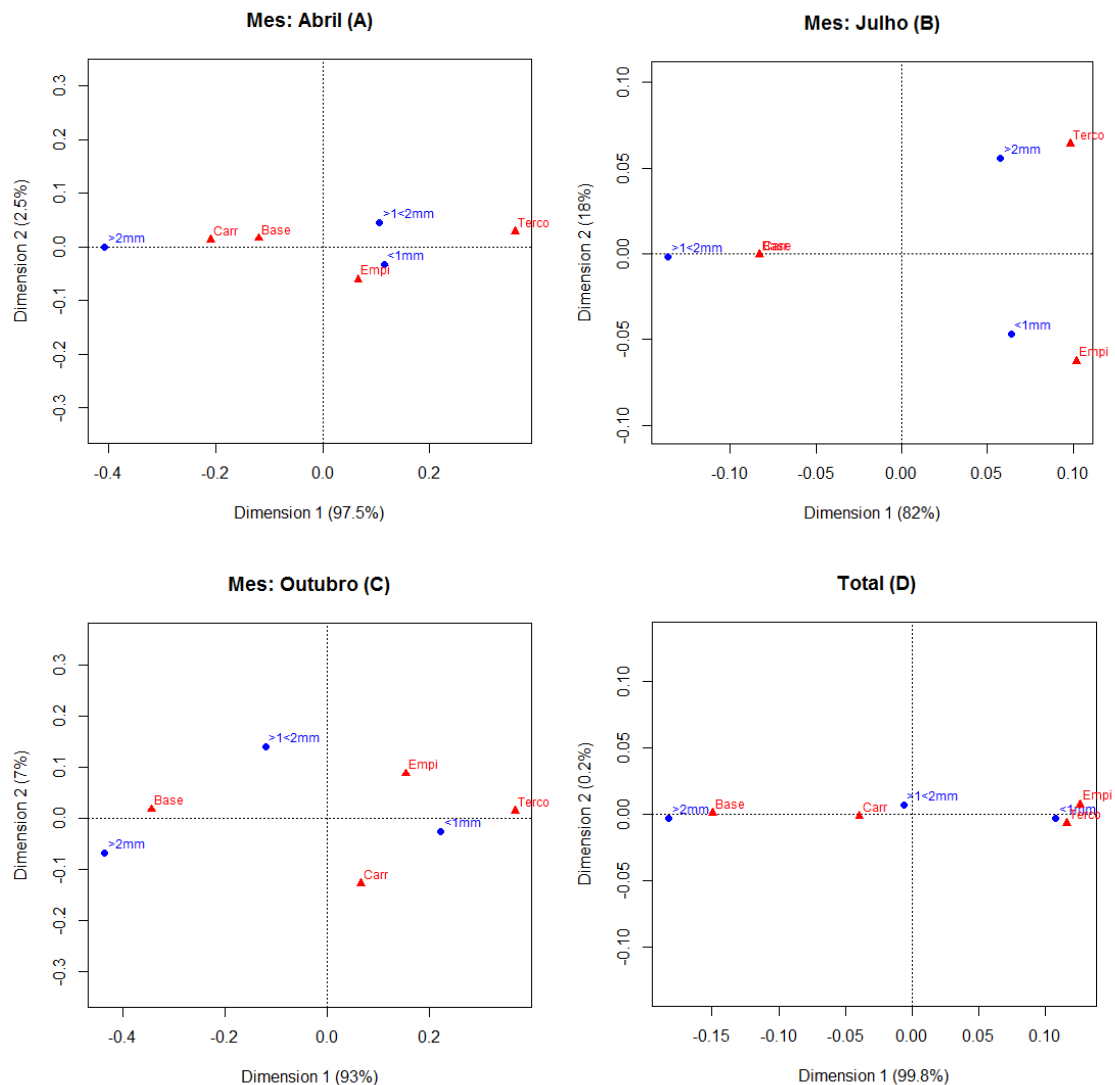
As possíveis associações entre os diâmetros das raízes e locais de coleta para os meses em estudo são apresentados na Figura 13.

Para o mês de abril (Figura 13A) mostra maior homogeneidade entre os locais Base e Carreador e as raízes com diâmetro ≤ 1 mm parecem estar mais associadas ao Local de coleta Empilhamento.

Para o mês de julho (Figura 13B), raízes com diâmetro ≤ 1 mm parecem associadas com Empilhamento; Base e Carreador, por apresentarem mesmos valores, aparecem coincidentes e mostram estarem mais associadas com raízes de diâmetro > 1 a ≤ 2 mm; e raízes com diâmetro > 2 mm parecem estar associadas ao Terço-médio.

No mês de outubro (Figura 13C) os locais de coleta não aparecem mostrar homogeneidade entre si e o Terço-médio parece mais associado com raízes de diâmetro ≤ 1 mm e Base parece mais associada a raízes com diâmetro > 2 mm.

Figura 13. Representação das categorias locais de coleta e diâmetro de raízes. abril (A); julho (B); outubro (C) e total (D)



No caso da soma dos diâmetros para os 4 meses (Figura 13D), observa-se maior associação entre Terço-médio e Empilhamento com raízes com diâmetro ≤ 1 mm e Base e raízes com diâmetro > 2 mm.

A confirmação das significâncias dessas associações deve ser feita na análise residual mostrada na Tabela 19. Essa tabela apresenta todos os valores da variável padronizada Z, cujos níveis de significância são conhecidos. Deste modo, podem-se saber todas as significâncias dos níveis dos fatores analisados. A análise dos resíduos não mostrou nenhuma associação significativa ao nível de 5%, ou seja, nenhum valor de Z foi maior do que 1,96.

Tabela 19. Análise de resíduos da tabela de contingência usada AC.

Mês	Diâmetros	Base	Carreador	Empilhamento	Terço Médio
abril	≤1mm	-0,37	-0,607	0,3918	0,6683
	>1 ≤ 2mm	-0,139	-0,3219	-0,1558	0,6645
	>2mm	0,6082	1,1054	-0,2973	-1,5719
julho	≤1mm	-0,2475	-0,2475	0,534	-0,0064
	>1 ≤ 2mm	0,4663	0,4663	-0,497	-0,497
	>2mm	-0,2058	-0,2058	-0,0598	0,4986
outubro	≤1mm	-1,8055	0,4464	0,4464	1,2341
	>1 ≤ 2mm	0,5374	-0,5705	0,2038	-0,26
	>2mm	1,613	0,0264	-0,7259	-1,2069
Total	≤1mm	-1,3506	-0,3214	0,9191	0,8964
	>1 ≤ 2mm	0,0686	0,001	0,0213	-0,0981
	>2mm	1,4744	0,3671	-1,0757	-0,9227

Os valores de Z com maior significância estão em negrito.

No mês de abril, a associação com maior significância foi para o Carreador e raízes com diâmetro > 2mm ($Z= 1.1054$, $p < 0.27$). No mês de outubro maiores significâncias foram para as associações Base e raízes com diâmetro > 2mm ($Z= 1.613$, $p < 0.11$) e Terço-médio e raízes com diâmetro ≤ 1mm ($Z= 1.2341$, $p < 0.22$).

Para a soma dos diâmetros das raízes (total), a maior significância ocorreu para Base e raízes com diâmetro > 2mm ($Z= 1.4744$, $p < 0.14$). Neste sentido, para as amostras em estudo, pode-se dizer que nenhuma conclusão definitiva acerca de possíveis associações entre os locais de coleta e diâmetros das raízes pode ser tirada.

Em sistemas agroflorestais com palma de óleo (*Elaeis guineensis*), três anos de idade, na Amazônia Oriental Silva (2014) avaliando a densidade de raízes finas em dois períodos (chuvoso e menos chuvoso), observou que não houve diferença significativa nesses períodos, no presente estudo também não se observa diferença significativa, concluindo que no período menos chuvoso os valores foram próximos dos que foram obtidos no período chuvoso.

Diante da confirmação dos dados obtidos nesta pesquisa, os resultados levam a rejeição da hipótese 3 para os dados do estoque de raízes do solo, onde sugere que há variação espacial do estoque de raízes do solo em diferentes locais de tratamentos no plantio de palma de óleo. Sendo, portanto, negada para os dados analisados já que os resultados mostram que não há variação espacial do estoque de raízes do solo em diferentes locais de tratamentos no plantio de palma de óleo para os dados coletados.

Os valores de estoque de raízes em mg/cm^3 , encontrados no presente trabalho variou entre 0,8 e 1,2 mg/cm^3 .

7.2 Efluxo de CO₂

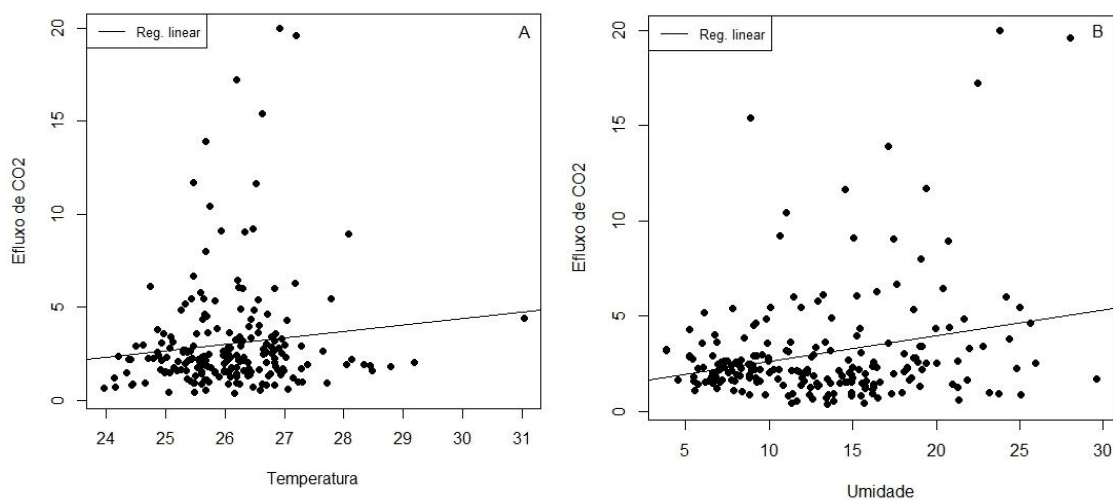
Para representação do efluxo de CO₂, observou-se os dados obtidos em cada local de amostragem nos meses de junho, julho, agosto, setembro 1, setembro 2, outubro e dezembro.

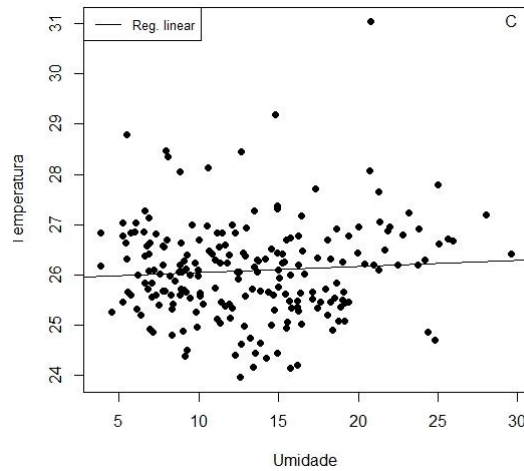
Inicialmente, foi avaliada a relação entre o efluxo de CO₂ e as variáveis temperatura e umidade. Para a amostra analisada, o coeficiente de correlação de Pearson calculado para o CO₂ e a temperatura foi de $r = 0,11$ ($p < 0,1102$), ou seja, não significativa ao nível de 5%. Para o CO₂ e a umidade obteve-se $r = 0,25$ ($p < 0,003$), isto é, significativo ao nível de menos de 1% e para a temperatura e umidade obteve-se $r = 0,07$ ($p < 0,3285$), não significativo.

Um valor significativo ao nível de 1% pode-se utilizar, isto é, com probabilidade abaixo de 1% também o é para um nível de 5%, ou seja, probabilidade abaixo de 5% também é abaixo de 1% logicamente. No primeiro caso, foi dito não significativo ao nível de 5% ou seja, maior que 5% (11,2%), isso significa que não há correlação (ausência de correlação).

Os gráficos da Figura 14 confirmam a ausência de correlação entre a temperatura com o efluxo de CO₂; assim como presença de correlação entre a umidade com o efluxo de CO₂ e a ausência de correlação entre temperatura e a umidade. Deste modo, foi realizada a análise separadamente do efluxo de CO₂ e a temperatura em relação aos locais de amostragem e período.

Figura 14. Gráfico de dispersão entre efluxo de CO₂ e temperatura (A), efluxo de CO₂ e umidade (B) e Temperatura e umidade (C).





Para a comparação do efluxo de CO_2 entre os locais de amostragem e o período foi utilizado o seguinte modelo:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \begin{cases} i = 1, 2, \dots, a \\ j = 1, 2, \dots, b \end{cases} \quad (2)$$

onde μ é a média geral, τ_i é o efeito do i -ésimo tratamento (local de amostragem), β_j é o efeito do j -ésimo bloco (período) e ε_{ij} é o termo de erro aleatório NID $(0, \sigma^2)$. Os tratamentos são considerados fatores fixos. Consequentemente, os efeitos de tratamentos e blocos são considerados como desvios da média geral, de modo que,

$$\sum_{i=1}^a \tau_i = 0 \quad \sum_{j=1}^b \beta_j = 0 \quad (3)$$

Para avaliar a interação entre os tratamentos o seguinte modelo é utilizado

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \tau_i * \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad (4)$$

Os resultados obtidos são apresentados a seguir.

As Tabelas 20 e 21 apresentam as estatísticas descritivas para os locais de amostragem e período, respectivamente. Valores de média e mediana próximos indicam distribuições aproximadamente simétricas. Neste caso, observa-se que, o local

empilhamento parece apresentar maior assimetria e variação entre os valores mínimo e máximo, ou seja, seus valores de média e mediana distanciam entre si (Tabela 20).

Tabela 20. Estatísticas descritivas do CO₂ em relação aos locais de amostragem.

Local	Min.	Q1	Mediana	Media	Q3	Max.
Base	1,14	2,375	2,92	3,349	4,155	8,94
Carreador	0,46	0,99	1,63	1,617	2,06	3,59
Empilhamento	0,61	2,6	3,62	5,54	6,24	19,97
Terço Médio	0,36	1,115	1,565	1,505	1,865	2,52

Q1 e Q3 são os quartis das distribuições.

Distribuições simétricas podem ser adequadamente representadas pelas médias. Por outro lado, distribuições fortemente assimétricas quando representadas pelas médias podem levar a conclusões tendenciosas ou enviesadas. Entretanto, este não parece ser o caso, pois a assimetria para o empilhamento não parece ser fortemente acentuada. Sabe-se que 50% dos valores da distribuição estão entre essas duas medidas.

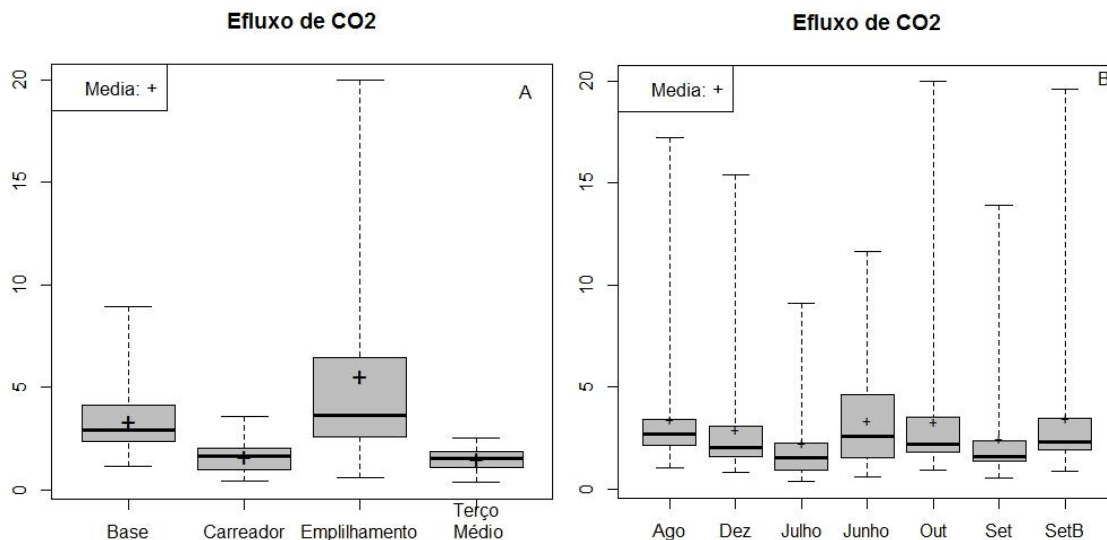
A Tabela 21 apresenta as estatísticas descritivas para os períodos de amostragem. Valores de média e mediana próximos indicam distribuições aproximadamente simétricas. Neste caso, observa-se que, os meses de setembro 2 e outubro foram os que apresentaram maior assimetria e variação entre os valores mínimo e máximo, ou seja, seus valores de média e mediana distanciam entre si.

Tabela 21. Estatísticas descritivas do CO₂ em relação aos períodos de coleta

Mês	Min.	Q1	Mediana	Media	Q3	Max.
junho	0,61	1,635	2,595	3,343	4,572	11,63
julho	0,36	0,925	1,54	2,396	2,31	9,13
agosto	1,07	2,16	2,71	3,442	3,41	17,23
setembro_1	0,56	1,37	1,58	2,49	2,345	13,93
setembro_2	0,87	1,995	2,29	3,5	3,455	19,6
outubro	0,91	1,8	2,21	3,3	3,442	19,97
dezembro	0,83	1,582	2,02	2,931	3,032	15,4

A Figura 15 mostra a dispersão para o efluxo de CO₂ em relação aos locais de amostragem e aos períodos. A representação, neste caso, é feita pelo gráfico de *boxplot* em que a mediana é representada pela linha horizontal dentro da caixa cinza, cujos limites representam os quartis 25% e 75% e as observações máximas e mínimas são indicadas pelas linhas verticais.

Figura 15. Box plot do CO₂ para os locais de amostragem (A) e período de coleta (B).



O valor da média foi indicado pelo sinal de +.

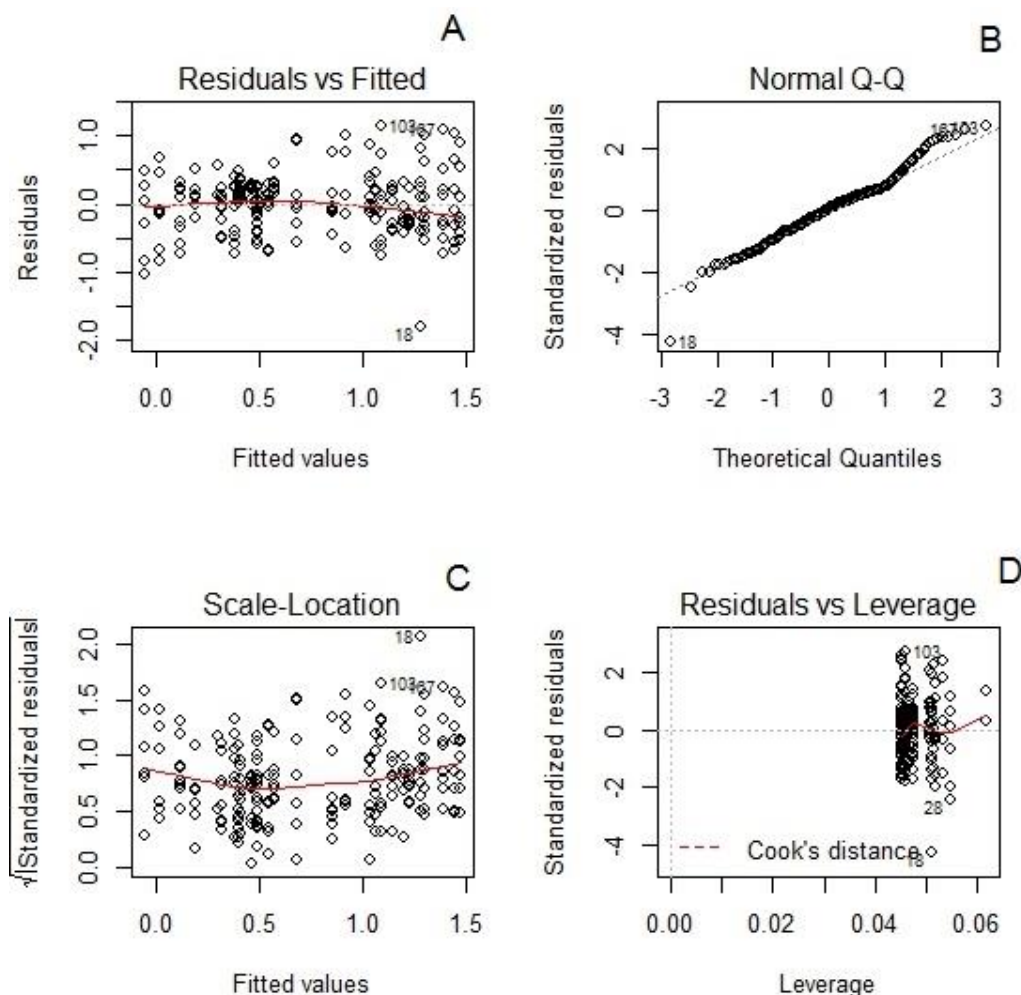
Observa-se que a área de empilhamento e o mês de junho apresentam maiores dispersão. Isso pode ser relacionado com os resultados da umidade gravimétrica do solo, onde a área de empilhamento apresentou diferenças significativas em relação aos outros locais de coleta, embora que nesta área houve a confirmação da significância de associações de raízes de diâmetro $\leq 1,0$ mm (raízes muito finas) nas coletas de abril e julho, que são as principais responsáveis pela absorção de água.

A umidade gravimétrica também se diferenciou no mês de junho em relação a todo o período analisado, apresentando os maiores valores.

A aplicação da ANOVA exige que as variâncias das amostras sejam iguais, ou seja, homogêneas. O teste de Bartlett serve para analisar a homogeneidade de variâncias sendo que o mesmo foi rejeitado para os locais ($t = 276.23$, $p < 0.00$), isto é, as variâncias dos locais não são homogêneas, e aceito para o período ($t = 8.93$, $p < 0.1772$). Deste modo, para estabilizar ou tornar as variâncias homogêneas, foi realizada uma transformação (Box-Cox) nos dados. Após os dados transformados, foi aplicado o modelo (2), que indicou a existência de regressão, ou seja, o efluxo de CO₂ depende do local de amostragem ou período ($F = 25.88$, $p < 0.00$), assim há diferenças entre os locais de amostragem ($F=66.02$, $p < 0.00$) e entre os períodos ($F=5.80$, $p < 0.00$).

A análise residual (Figura 16) mostra que as condições de homogeneidade das variâncias (A), normalidade (B) e independência (C) são satisfeitas.

Figura 16. Análise residual para o efluxo de carbono



O efluxo de CO_2 do solo diferiu entre todos os locais, com exceção do carreador e terço-médio, apresentando a seguinte ordem: empilhamento > base > carreador = terço-médio (Tabela 22). Como os valores de efluxo de CO_2 do solo foram maiores na área do empilhamento, além da grande umidade nesse local, sabe-se que as raízes podem influenciar a dinâmica do carbono no solo e as raízes encontradas nesse local foram na maior parte das coletas de diâmetro $\leq 1,0$ mm (raízes muito finas).

Tabela 22. Teste de Tukey em relação ao Efluxo de CO_2 ($\mu\text{mol. m}^{-2}. \text{s}^{-1}$) e o local

Grupos	Locais	Medias	Médias Originais	Erro-padrão
a	Empilhamento	1,28	5,54	2.31
b	Base	1,03	3,34	0.74
c	Carreador	0,37	1,61	0.31
c	Terço-médio	0,30	1,50	0.26

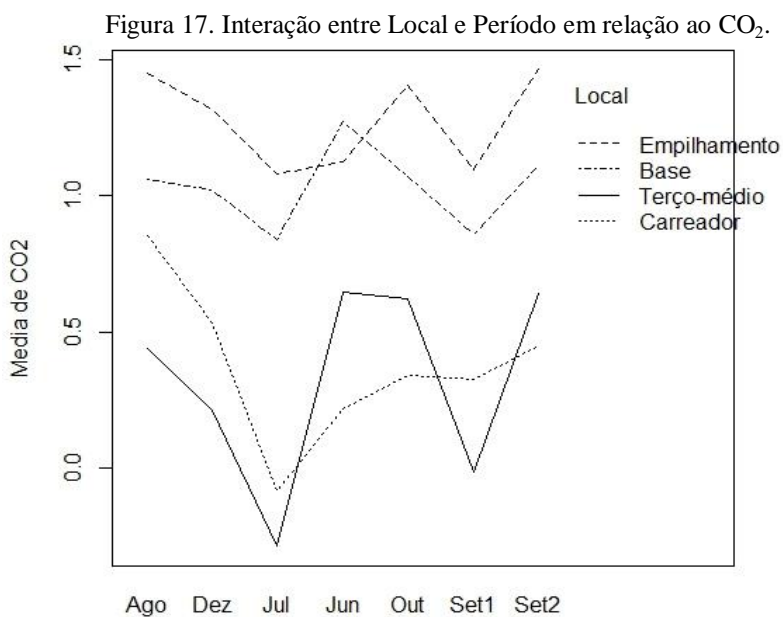
A Tabela 23 apresenta os dados (médias \pm desvio padrão) de todos os valores obtidos para o efluxo de CO_2 do solo durante o período de coleta (com duas coletas no

mês de setembro e sem dados para o mês de novembro). O efluxo de CO₂ do solo variou temporalmente, com valores mais altos em agosto e setembro 2 e mais baixos em julho.

Tabela 23. Teste de Tukey para o Efluxo de CO₂ ($\mu\text{mol. m}^{-2}. \text{s}^{-1}$) e os períodos

Grupos	Período 2014	Medias	Médias \pm desvio padrão	Erro-padrão
a	agosto	0,9523	3,44 \pm 0,55	1,17
a	setembro 2	0,9138	3,50 \pm 0,63	1,35
ab	outubro	0,8594	3,30 \pm 0,62	1,32
ab	junho	0,8528	3,34 \pm 0,51	0,97
ab	dezembro	0,7697	2,93 \pm 0,50	1,06
bc	setembro 1	0,5745	2,49 \pm 0,47	0,99
c	julho	0,4309	2,40 \pm 0,44	0,85
	Média		3,06 \pm 0,17	

A Figura 17 mostra os gráficos de interações entre Local de amostragem e período em relação ao efluxo de CO₂. Embora haja sinais de interação entre os locais Empilhamento e Base e entre os locais Terço-Médio e Carreador, devido à pequena interseção entre as curvas em relação ao período, no modelo two-way com interação (equação 4), o resultado da interação entre Local e período não foi significativo ($F=1,25$, $p < 0,2273$).



A Tabela 24 apresenta as datas em que ocorreram os valores mínimo ($0,36 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e máximo ($19,97 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) para os dados de efluxo de CO₂ do solo.

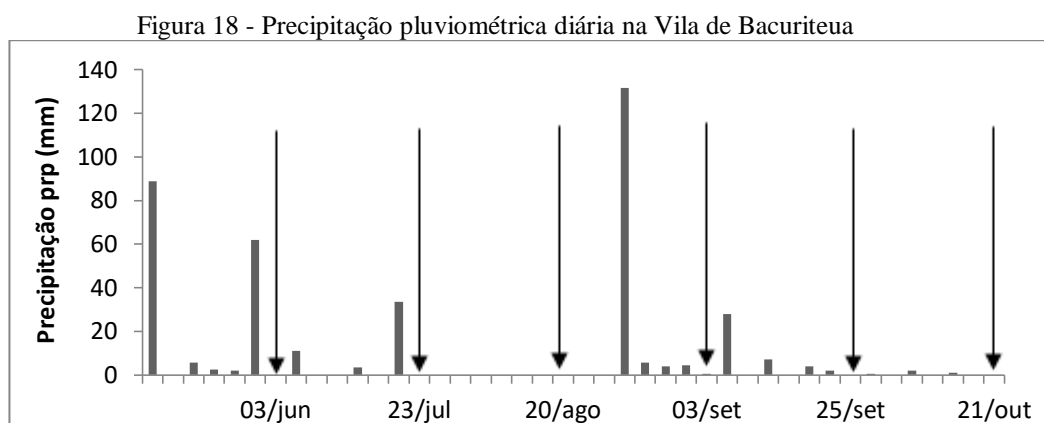
Tabela 24 – Valores Mínimo e máximo de emissão de efluxo de CO₂ do solo e as variáveis de Temperatura e umidade gravimétrica do solo em dois pontos de coleta.

Dia	Efluxo de CO ₂ do solo (μmol m ⁻² s ⁻¹)	Temperatura do solo (°C)	Umidade gravimétrica do solo (%)	Local de coleta
23/07/14	0,36	26,16	13,48	Terço médio
21/10/14	19,97	26,92	23,80	Empilhamento

Nessas duas coletas (julho e outubro) houve uma diferença de aproximadamente 10% nos valores de umidade gravimétrica do solo para esses pontos do local de estudo (Terço-médio e Empilhamento). Essas temperaturas mínimas e máximas foram registradas no período menos chuvoso que compreende os meses entre junho a novembro. Conforme Moraes et al., (2011) a climatologia térmica mostra que as temperaturas mais elevadas ocorrem nos meses de outubro e novembro em Cametá e Belém.

Observa-se que a variação da temperatura não se apresentou relevante, ou seja, apresentou variação menor de 1°C, possivelmente há um fator que atue com mais influência do que a temperatura em certos momentos, já que não houve diferença significativa na correlação do efluxo de CO₂ do solo com a temperatura em relação aos meses de coleta.

Na Figura 18 pode-se observar a precipitação pluviométrica que ocorreu nos dias que antecederam as medições em cada coleta e o dia da mesma em relação a precipitação pluviométrica coletadas no pluviômetro da Torre da Embrapa no período de maio a outubro de 2014 e analisar a relação da precipitação pluviométrica, umidade do solo e Efluxo de CO₂ do solo.



* setas indicam os dias das medições de efluxo de CO₂ do solo e coletas de solo

A precipitação pluviométrica ocorrida no início da manhã, entre 1:45 e 04:56h, do dia 2 de junho de 2014 (véspera da coleta) foi a de maior volume (61,98 ml) o que influenciou as medições do Efluxo de CO₂ do solo, principalmente devido os valores de Efluxo de CO₂ do solo obtidos nesse mês apresentarem maiores dispersão entre si. Onde a umidade gravimétrica também se diferenciou nesse mês em relação a todo o período analisado, apresentando os maiores valores.

Na coleta do dia 23 de julho de 2014 (início do período menos chuvoso), os valores encontrados do efluxo de CO₂ do solo foram os mais baixos (entre 0,36 e 9,13 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) em relação a todos os meses de coleta, embora também tenha ocorrido uma precipitação de chuva na noite anterior, porém menos milímetros (33,53 ml) no início da noite entre 19:02 e 19:43h.

O menor valor do efluxo de CO₂ do solo medido nesta coleta foi na área do terço-médio da folha que apresentou umidade gravimétrica de 13,48%, sendo que a influência dessa precipitação pluviométrica foi maior na área de empilhamento.

Conforme Bandeira Filho (2013), após a precipitação pluviométrica deve ocorrer um aumento no efluxo de CO₂ do solo.

O maior valor do efluxo de CO₂ do solo foi percebido no mês de outubro (período menos chuvoso), sendo que não houve precipitação pluviométrica no dia antes da coleta. Porém como esse valor foi medido na área do empilhamento, que apresentou umidade gravimétrica de 23,80%, o que se justifica devido todo o período das coletas deste estudo essa área apresentou os mais altos valores de umidade, sendo uma área que por si só contribui com a conservação da umidade do solo.

Alguns estudos mostram a estreita relação da variável precipitação pluviométrica com o efluxo de CO₂ do solo: Salimon (2003) mediu a respiração do solo em florestas e pastagens no Acre e Valentini (2004) mediu uma área de floresta de transição no Noroeste do Mato Grosso e ambos os autores encontraram os menores valores de efluxo de CO₂ no solo na estação seca.

Bandeira Filho (2013) verificou as variações de efluxo de CO₂ no solo numa área de Cerrado em Alter-do-Chão e seus resultados confirmaram a elevação do efluxo de CO₂ do solo após a chuva.

A Tabela 25 apresenta os dois pontos da área de empilhamento (subparcela 1 anel 6 e subparcela 3 anel 22) que apresentaram os maiores valores de efluxo de CO₂ no solo durante os sete meses de coleta.

Tabela 25 – Valores máximos de emissão de efluxo de CO₂ do solo a) anel 6* b) anel 22

2014	Efluxo de CO ₂ (μmol. m ⁻² . s ⁻¹)	
	Subparcela 1 anel 6 Efluxo (μmol. m ⁻² . s ⁻¹)	Subparcela 3 anel 22 Efluxo (μmol. m ⁻² . s ⁻¹)
junho	-	11,63
julho	-	9,13
agosto	17,23	10,43
setembro 1	13,93	8,00
setembro 2	19,60	11,70
outubro	19,97	9,05
dezembro	15,40	9,23

*As variações nos valores do anel 6 medidos durante as coletas podem ter ocorridos a influência da presença de formigas na área ao redor do ponto, embora que após essa observação o anel teve que ser removido.

Alguns outros estudos realizados em área de florestas mostram variações nas medições de efluxo de CO₂ no solo (Tabela 26 adaptada de NUNES, 2003).

Tabela 26. Medidas de efluxo de CO₂ do solo no Leste Amazônico.

Autor	Local	Efluxo de CO ₂	Equipamento
Kepler et al., 1980	Manaus, Amazonas	4,7 μmol. m ⁻² . s ⁻¹	IRGA
Meir et al., 1996	Reserva do Jarú, Rondônia	5,8 μmol. m ⁻² . s ⁻¹	IRGA
Sotta et al., 1998	Manaus, Amazonas	6,86 μmol. m ⁻² . s ⁻¹	IRGA
Nunes 2003	Juruena, Mato Grosso	4,25 μmol. m ⁻² . s ⁻¹	IRGA
Pinto-Júnior 2009	Floresta de transição MT	5,45 μmol. m ⁻² . s ⁻¹	EGM-1
Oliveira 2014	Flona de Caxiuanã	4,86 μmol. m ⁻² . s ⁻¹	IRGA
Silva Júnior et al., 2013	Flona de Caxiuanã	3,46 μmol. m ⁻² . s ⁻¹	IRGA

O efluxo de CO₂ do solo médio dos meses analisados foi de **3,06 ± 0,17** μmol m⁻² s⁻¹.

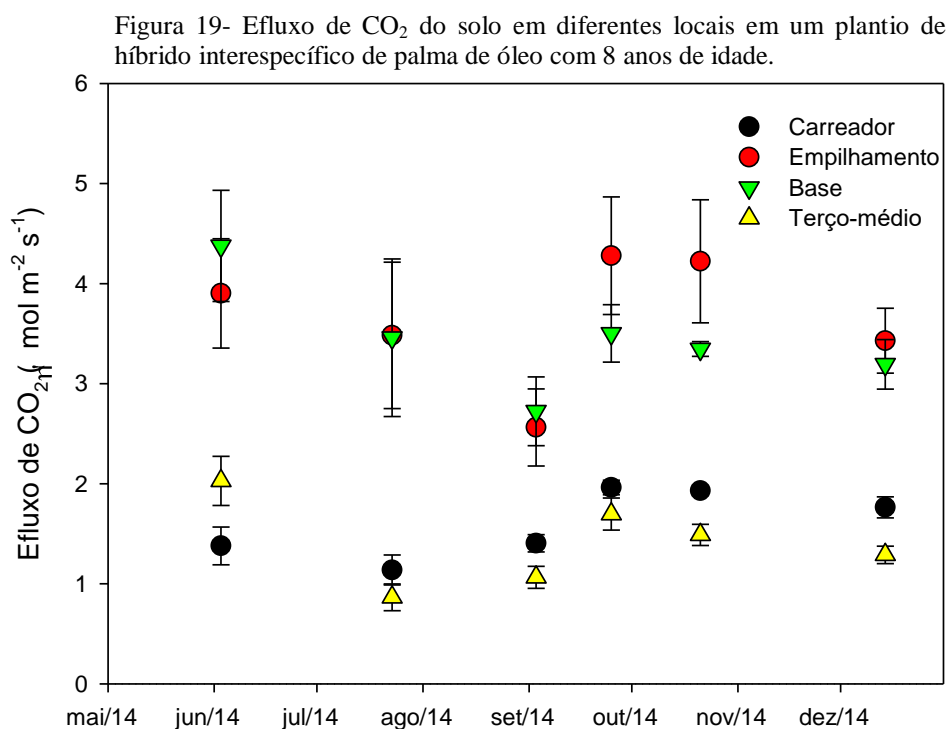
As explicações para as variações nos valores de efluxo de CO₂ no solo, geralmente, são devido ao equipamento utilizado. Alguns trabalhos mostram essa diferença de valores em relação ao aparelho de medição (PINTO-JÚNIOR et al., 2009; LE DANTEC et al., 1999) concluindo que as medidas realizadas por um analisador de gás por infravermelho - IRGA (equipamento portátil de circuito fechado) acoplado a uma câmara de respiração do solo (marca LI-COR) geralmente são menores em relação ao aparelho de marca EGM (Environment Gás Monitor).

Flutuação elétrica também pode gerar medidas superestimadas do parâmetro no sensor que mede a concentração de efluxo de CO₂ no solo (IRGA) (BANDEIRA FILHO, 2013).

Drewitt et al., (2002) ressaltam que é difícil definir se as causas das variações são devido o tipo de câmara usada ou se é devido a variação espacial natural.

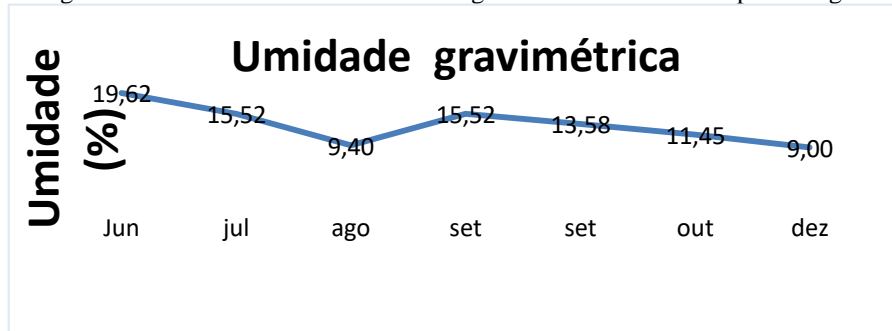
A maioria dos métodos de câmaras e todas as técnicas micrometeorológicas só são úteis para obter o efluxo total de CO_2 no solo sem diferenciação de suas fontes (KUZYAKOV, 2006).

A Figura 19 apresenta os resultados do efluxo de CO_2 no solo em relação aos locais de coleta. De acordo com as medições os valores foram próximos e mais baixos para as áreas do terço-médio e carreador, sendo mais altos na área do empilhamento e base da planta. De forma geral, o erro padrão em relação a média foi sempre alto no empilhamento e em alguns meses alto na área da base.



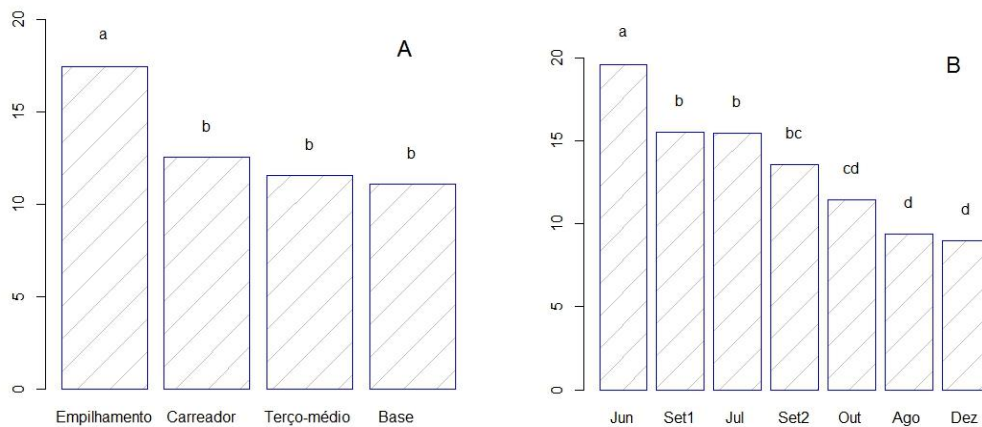
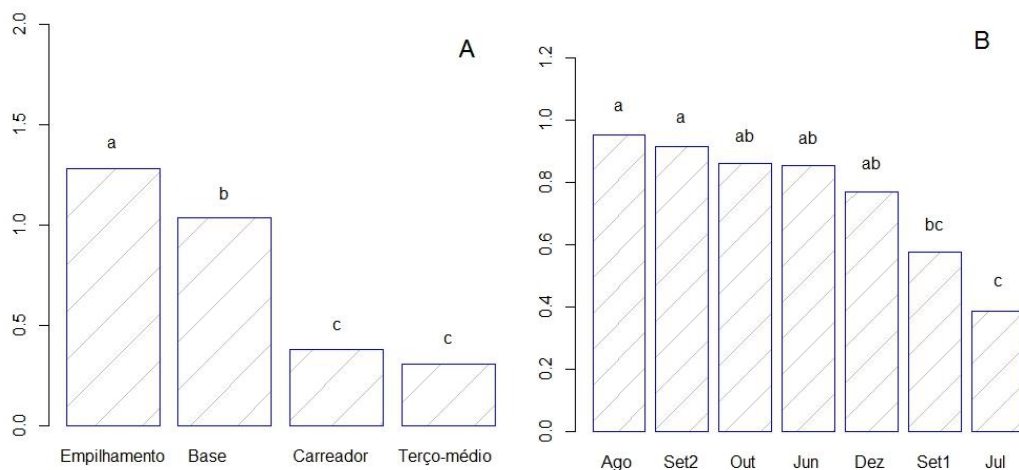
A figura 20 apresenta os valores médios da umidade gravimétrica do solo em porcentagem, sendo possível observar que no período das coletas ocorreu uma tendência nas variações da umidade gravimétrica do solo e um mesmo padrão de variação aproximado do efluxo de CO_2 no solo ao longo do período de coleta pode ser anteriormente observado (figura 19).

Figura 20 – Valores médios da umidade gravimétrica do solo em porcentagem



Observa-se que na área de empilhamento há uma maior quantidade de umidade no solo (Figura 21A), fator que mais influenciou o Efluxo de CO₂ no solo (Figura 22A), sendo uma variável que contribui para a degradação da matéria orgânica do solo depositada na área, ou seja, o aumento da atividade biológica na área do empilhamento contribui com a emissão do Efluxo de CO₂, como observado em outros estudos.

Figura 21. Teste de Tukey para a umidade para os locais de amostragem (A) e período (B).

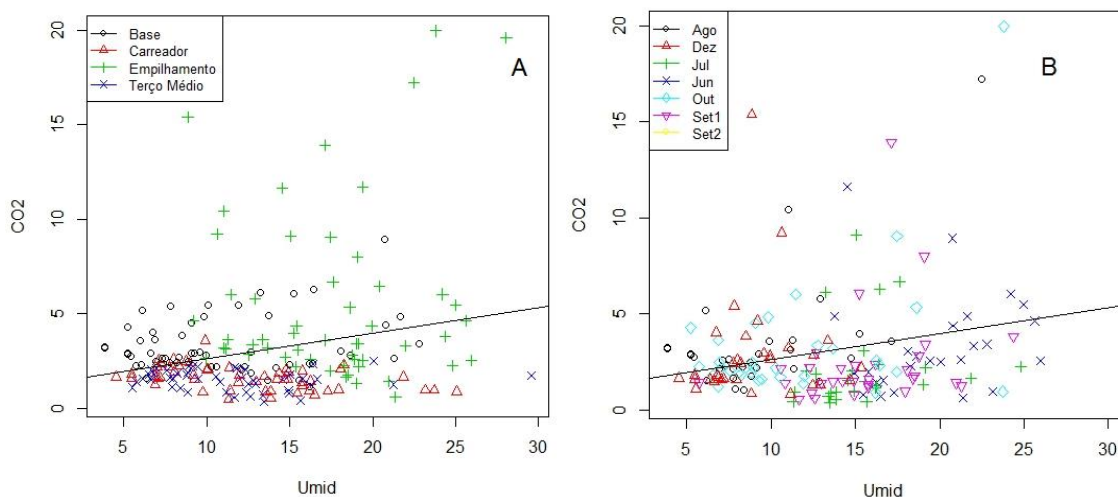
Figura 22. Teste de Tukey em relação ao CO₂, para os locais de amostragem (A) e período (B).

Em relação aos dados obtidos na área próxima a base da planta onde a umidade foi menor (Figura 29), e onde as médias mensais de temperatura foram maiores (Figura 27), a emissão de efluxo de CO₂ do solo pode estar relacionada mais com a respiração das raízes, já que na base se encontra o maior estoque de raízes.

Os dados dos trabalhos científicos confirmam que as taxas de efluxo de CO₂ do solo são direta ou indiretamente, controladas pela temperatura e/ou umidade do solo. O efluxo de CO₂ aumenta exponencialmente ou linearmente com a temperatura (PINTO JÚNIOR et al., 2009). Embora durante esse trabalho os valores medidos da temperatura do solo não apresentaram uma grande amplitude, a relação das figuras apresentadas sobre efluxo de CO₂, temperatura e umidade do solo, mostra uma tendência visível de uma mesma variação nos períodos das coletas.

A relação entre o efluxo de CO₂ do solo e umidade do solo para os locais e períodos estudados está apresentada na Figura 23.

Figura 23. Gráfico de dispersão entre efluxo de CO₂ e a umidade para os locais (A) e período (B).



Na Tabela 27 são apresentados os resultados da ANCOVA. Foram significativos os valores de umidade tanto para os locais de amostragem ($F = 25.24$, $p < 0.00$) quanto para o período ($F = 34.80$, $p < 0.00$). A análise de covariância eliminou das comparações a influência significativa do CO₂ ($F = 4.63$, $p < 0.032$).

Tabela 27. Análise de covariância para a umidade gravimétrica do solo

	SQ	GL	F	Pr(>F)
Intercepto	693,98	1	59,0443	6,879e-13***
Local	890,05	3	25,2419	6,984e-14***
Período	2454,19	6	34,8006	< 2,2e-16***
CO₂	54,51	1	4,6379	0,03248*
Resíduos	2338,97	199		

Códigos para a Significância: '****' 0.001 '***' 0.01 '**' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

SQ : Soma de Quadrados

GL : Grau de Liberdade F : Estatística de Teste (F de Snedecor)

Pr(>F): probabilidade da hipótese H_0 (parâmetro estimado = 0) ser verdadeira

Diante da confirmação dos dados obtidos nesta pesquisa, os resultados levam a rejeição da hipótese 1 para os dados do efluxo de CO_2 do solo e variação espacial, onde sugere que há variação espacial do efluxo de CO_2 do solo em diferentes locais de tratamentos no plantio de palma de óleo. Sendo por tanto negada para os dados analisados já que os resultados mostram que não há variação espacial.

Os resultados também confirmam que os fatores bióticos e abióticos determinam a variação do efluxo de CO_2 do solo, aceitando assim a hipótese 2 para os dados do efluxo de CO_2 do solo.

A hipótese 4 é rejeitada devido os dados mostrarem que a variabilidade da temperatura pouco influenciou na emissão do efluxo de CO_2 do solo, bem como aceitando a hipótese 5 que mostra a relação da umidade com a do efluxo de CO_2 do solo.

A média mensal do efluxo de CO_2 na área de estudo variou entre $2,40 \pm 0,44 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ a $3,50 \pm 0,63 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

7.3 Temperatura do solo

As estatísticas descritivas para a temperatura são mostradas nas Tabelas 28 e 29 para os locais de amostragem e período, respectivamente. Observa-se que, tanto o local quanto o período apresentam médias e medianas próximas uma da outra, indicando distribuições aproximadamente simétricas. A Figura 24 confirma esse comportamento.

Neste caso, observa-se que a base da planta parece apresentar maior assimetria e variação entre os valores mínimo e máximo, ou seja, seus valores de média e mediana distanciam entre si (Tabela 28).

Tabela 28. Estatísticas descritivas da temperatura em relação aos locais de coleta

Local	Min.	Q1	Mediana	Media	Q3	Max.
Base	24,21	25,42	26,19	26,25	26,82	31,03
Carreador	24,14	25,49	26,11	26,12	26,7	29,18
Empilhamento	24,71	25,47	25,97	26,00	26,46	27,79
Terço-médio	23,96	25,53	26,00	25,97	26,41	28,47

Q1 e Q3 são os quartis das distribuições.

A Tabela 29 apresenta as estatísticas descritivas da temperatura para os períodos de amostragem. Valores de média e mediana próximos indicam distribuições aproximadamente simétricas. Neste caso, observa-se que, os meses de junho e julho foram os que apresentaram maior assimetria e variação entre os valores mínimo e máximo, ou seja, seus valores de média e mediana distanciam entre si.

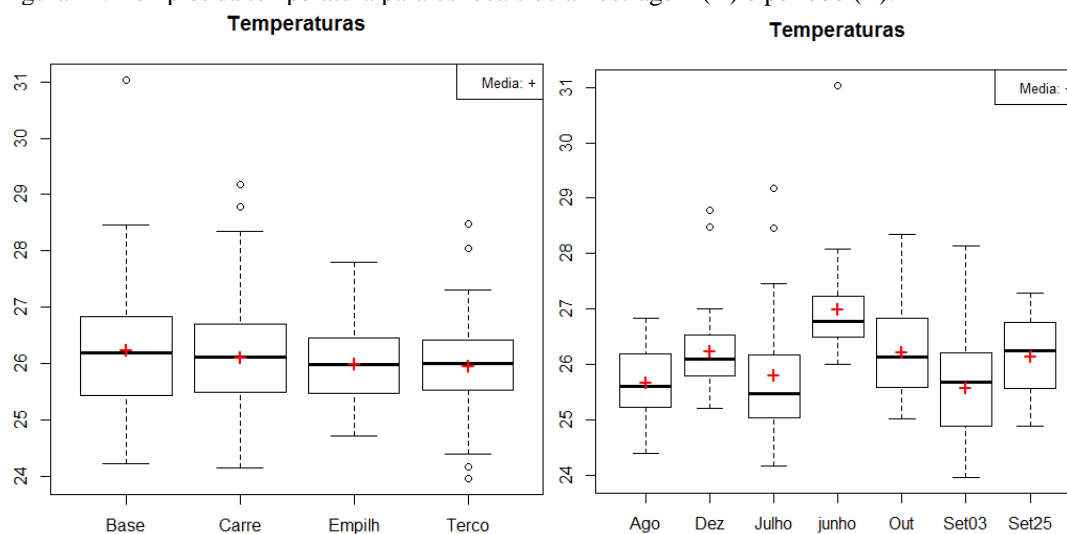
Tabela 29. Estatísticas descritivas da temperatura em cada período de amostragem.

Mês	Min.	Q1	Mediana	Média	Q3	Max.
junho	25,99	26,50	26,78	27,01	27,19	31,03
julho	24,16	25,02	25,47	25,81	26,18	29,18
agosto	24,38	25,22	25,60	25,68	26,20	26,84
setembro_1	23,96	24,88	25,67	25,59	26,21	28,13
setembro_2	24,89	25,57	26,24	26,17	26,73	27,28
outubro	25,02	25,60	26,14	26,23	26,83	28,34
dezembro	25,20	25,81	26,10	26,25	26,50	28,78

Q1 e Q3 são os quartis das distribuições.

A Figura 24 mostra a dispersão para a temperatura em relação aos locais de amostragem e aos períodos. A representação, neste caso, é feita pelo gráfico de *boxplot* em que a mediana é representada pela linha horizontal dentro da caixa branca, cujos limites representam os quartis 25% e 75% e as observações máximas e mínimas são indicadas pelas linhas verticais.

Figura 24. Box plot da temperatura para os locais de amostragem (A) e período (B).

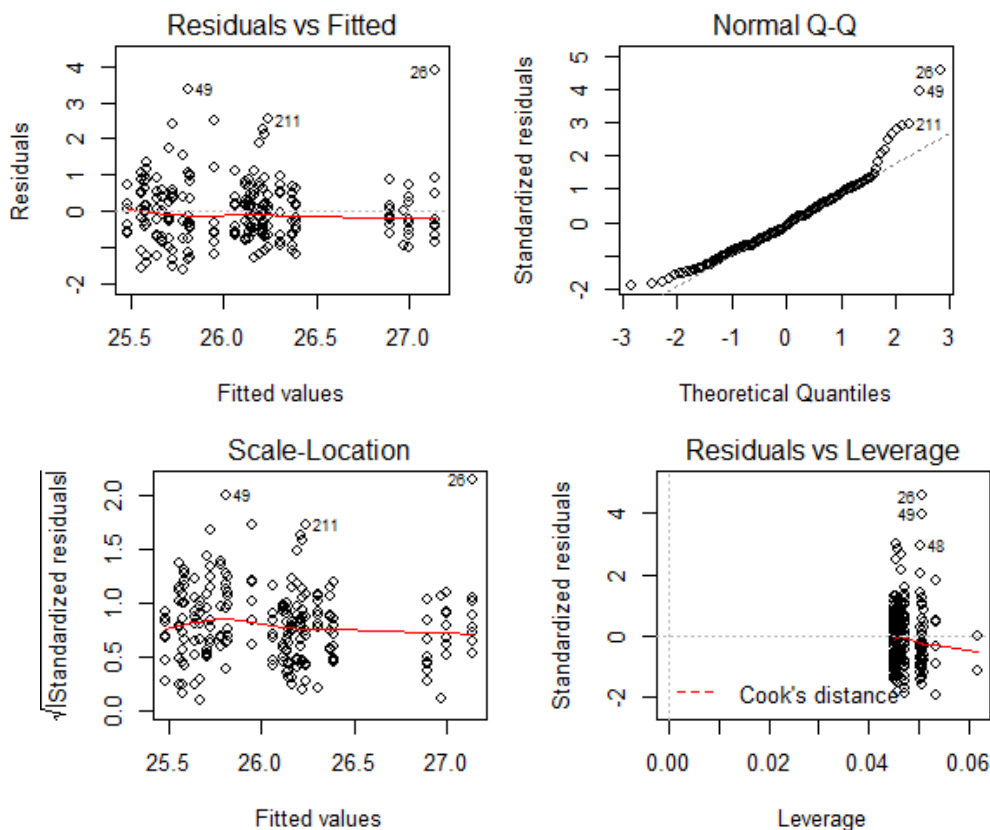


O valor da média foi indicado pelo sinal de +.

Observa-se que a área da base e o mês de julho apresentam maiores dispersão. Isso pode ser relacionado com a concentração de raízes nesse local, onde a área da base apresentou diferenças significativas em relação aos outros locais de amostragem.

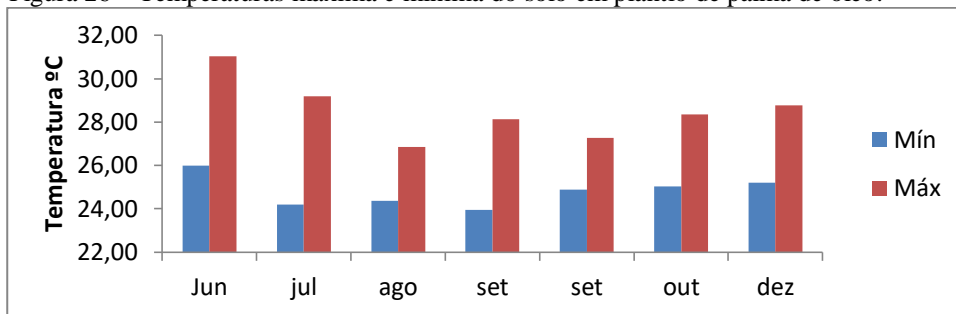
Foi aplicado o modelo (2), que indicou a existência de regressão, ou seja, a temperatura depende do local de amostragem ou período ($F = 5.92$, $p < 0.00$). Não houve diferenças entre os locais de amostragem ($F=1.33$, $p < 0.337$). Houve diferenças significativas entre os períodos ($F=8.313$, $p < 0.00$). Sendo os meses de junho e julho os de maior assimetria. A análise residual (Figura 25) mostra que as condições de homogeneidade das variâncias (A), normalidade (B) e independência (C) são satisfeitas. Para confirmar a homogeneidade das variâncias, o gráfico dos valores ajustados versus resíduos (A) mostra os valores em uma faixa constante. No gráfico (B) observa-se que os valores se ajustam aproximadamente a uma linha de 45° , indicando aproximação à normal e, no gráfico C, não se observa nenhum padrão evidente indicando a independência dos resíduos (NETER et al., 1996).

Figura 25. Análise residual para a temperatura



A temperatura do solo variou de 23,96 a 31,03 °C, durante os sete meses de coleta, sendo a média geral de 26 °C (Figura 26).

Figura 26 – Temperaturas máxima e mínima do solo em plantio de palma de óleo.



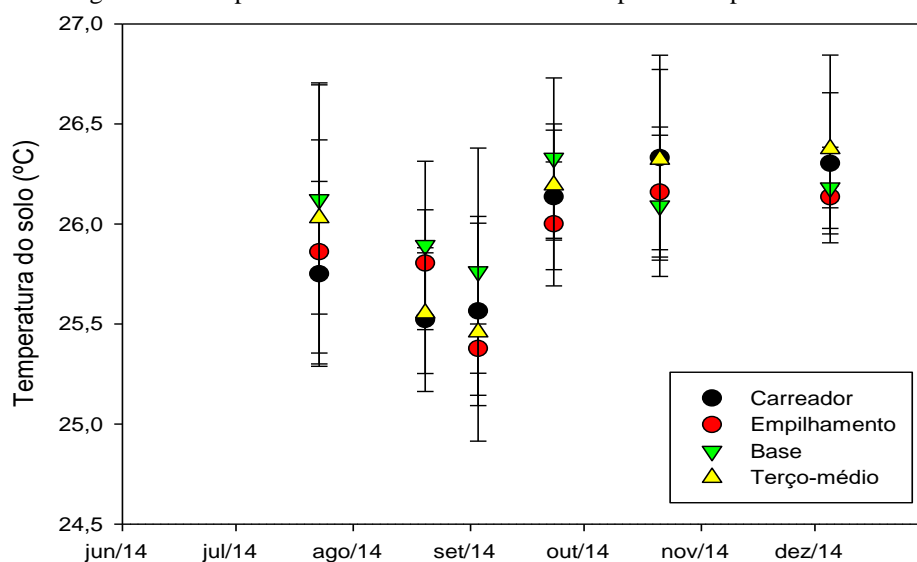
A temperatura do solo diferiu entre alguns períodos, como nos meses de junho, dezembro e setembro 1 e com características semelhantes nos meses de outubro, setembro 2, julho e agosto (Tabela 30).

Tabela 30. Médias para a variável temperatura em relação aos períodos

Grupos	Período 2014	Médias
a	junho	27,01
b	dezembro	26,25
bc	outubro	26,23
bc	setembro 2	26,17
bc	julho	25,81
bc	agosto	25,68
c	setembro 1	25,59

A amplitude de variação das médias das temperaturas entre os locais de tratamento foi baixa, diferenciam-se pouco menos de 1°C, assim os valores mostram que a temperatura não apresenta uma amplitude consideravelmente grande (Figura 27).

Figura 27- Temperaturas médias em °C no solo em plantio de palma de óleo

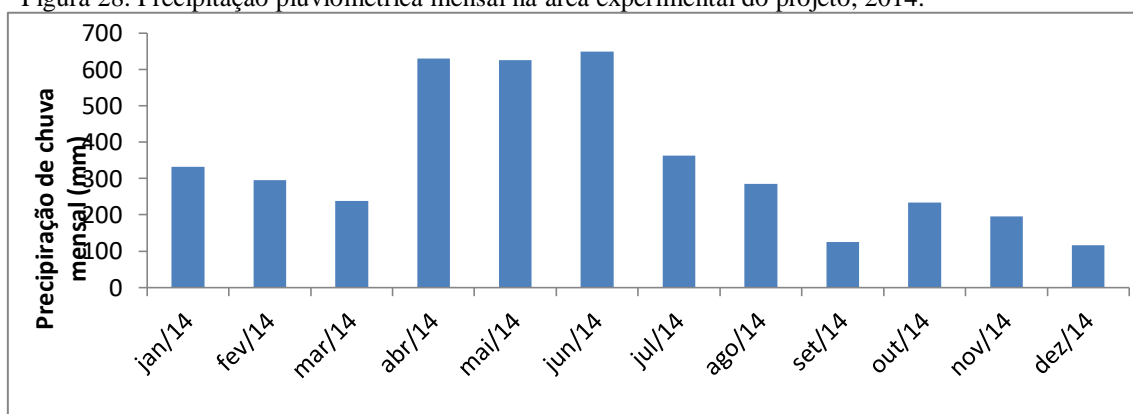


Os valores em cada ponto de coleta obtidos de temperatura no solo em cada tratamento mostra que na base foram observados os maiores números, porém a análise geral dos dados mostrou que a temperatura não variou significativamente em relação ao local.

7.4 Umidade gravimétrica no solo

De acordo com os dados diários de precipitação da chuva em 2014, obtidos na estação meteorológica da Embrapa a precipitação pluviométrica total mensal foi distribuída conforme a Figura 28.

Figura 28. Precipitação pluviométrica mensal na área experimental do projeto, 2014.



Fonte: Dados da torre da Embrapa (2014).

Nos dados obtidos no banco de dados da Embrapa observa-se que no período de junho para julho (período de transição do mais chuvoso para o menos chuvoso) houve uma diminuição do regime da chuva em quase 50%, observando a influencia na diminuição da umidade no solo bem como no efluxo de CO₂.

A umidade gravimétrica do solo se diferenciou apenas na área do empilhamento, apresentando a seguinte ordem: empilhamento \neq carreador = terço-médio = base (Tabela 31).

Tabela 31. Médias em relação a umidade gravimétrica do solo

Grupos	Locais	Medias
a	Empilhamento	17,48
b	Carreador	12,53
b	Terço-médio	11,59
b	Base	11,09

Os valores de umidade gravimétrica do solo foram maiores na área do empilhamento e diferentes dos demais locais de amostragem. O local Empilhamento apresentou diferenças de umidade em relação aos outros locais, devido a alguns fatores como a permanência de material vegetal mantido no local, esse local mantém uma textura mais úmida.

A Tabela 32 apresenta os dados das médias de todos os valores obtidos para a umidade gravimétrica do solo no local de estudo durante o período de coleta (com duas coletas no mês de setembro e sem dados para o mês de novembro). A umidade gravimétrica do solo variou temporalmente, com valores mais altos em junho e mais baixos em agosto e dezembro.

Tabela 32. Médias em relação aos períodos da umidade gravimétrica do solo

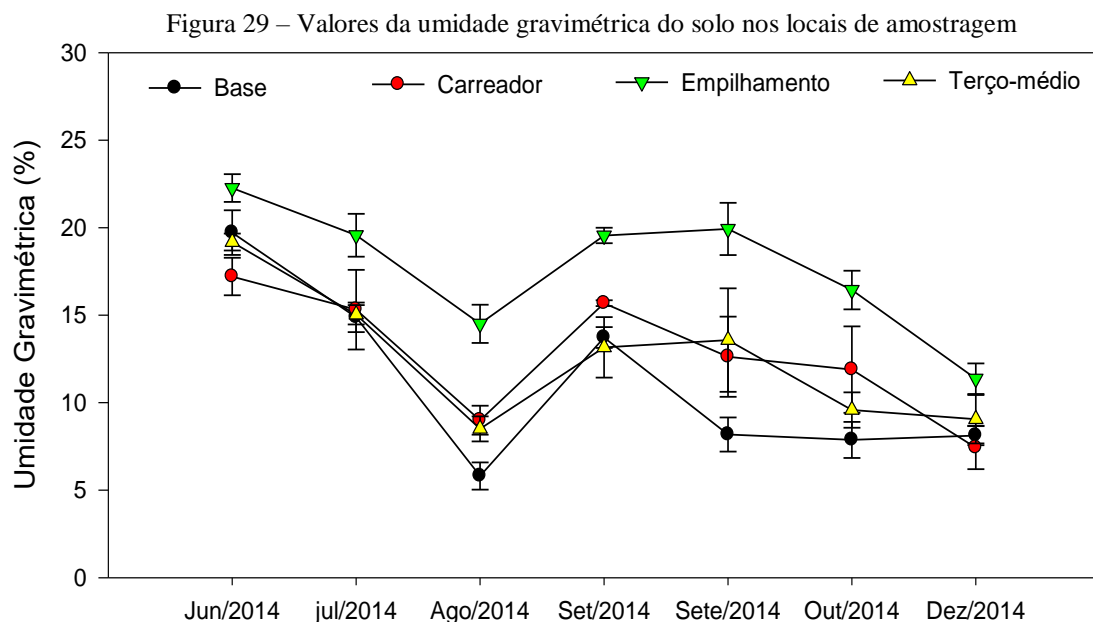
Grupos	Períodos	Médias
a	junho	19,63
b	setembro 1	15,52
b	julho	15,49
bc	setembro 2	13,58
cd	outubro	11,45
d	agosto	9,395
d	dezembro	8,999

Mesma letra indica não há diferença significativa

Em relação ao período, o mês de junho apresentou umidade diferente de todos os outros meses, aparência de solo molhado. Os meses de setembro 1, julho e setembro 2 não apresentaram diferenças nos dados de umidade.

A Figura 29 apresenta os valores da umidade gravimétrica dos locais de amostragem, observando-se que próximo da base da planta é o local onde há uma menor disponibilidade de água nos meses dos períodos das coletas, quando se diferencia fica próximo dos valores encontrado no carreador e no terço-médio.

Os resultados apresentaram diferença significativa para a área do empilhamento que sempre manteve índice de umidade acima dos outros locais de tratamento durante o decorrer de todos os meses das coletas. A umidade do solo na área de empilhamento foi maior do que nas demais áreas em todas as datas, porque é um local que se conserva a água após a precipitação, devido material do próprio vegetal depositado através da poda.



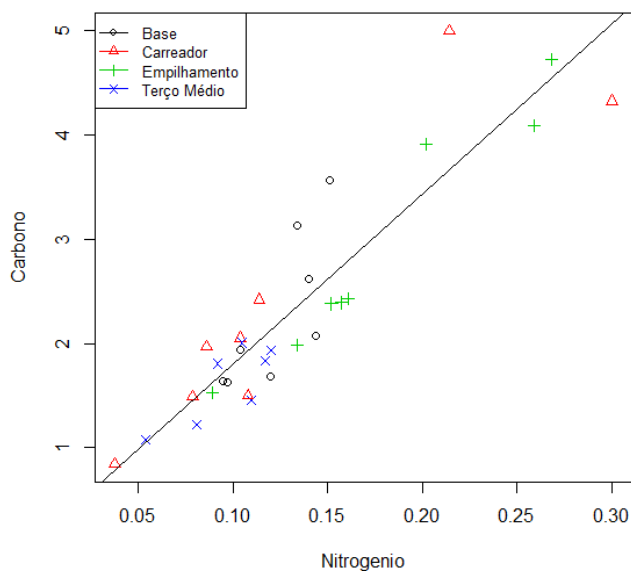
A observação da menor quantidade de água na área da base da planta ocorre devido ao consumo de água por parte do vegetal, há também que se pensar na retenção da água em seu estipe mesmo que por pouco tempo devido as estruturas físicas da planta. De acordo com Oliveira (2014) a parte da precipitação que não atinge o solo fica retida em obstáculos, sobretudo em partes das plantas e retorna para a atmosfera por evaporação direta.

7.5 Carbono orgânico e Nitrogênio do solo

O Carbono e o Nitrogênio foram obtidos apenas uma vez durante o período de coleta, o que não foi possível fazer comparação temporal, embora tenha sido realizada no período de transição entre o menos chuvoso e o chuvoso (julho de 2014).

A Figura 30 mostra o gráfico de dispersão onde se pode observar a correlação entre o carbono e o nitrogênio para os locais de amostragem.

Figura 30. Gráfico de dispersão entre o carbono e o nitrogênio, com a linha de regressão, para os locais de amostragem



Carbono

Na Tabela 33 são apresentados os resultados da ANCOVA para o carbono. Foram significativos os valores de Carbono para os locais de amostragem ($F = 0,8907$, $p < 0,00$). A análise de covariância obteve valor para o Nitrogênio ($F = 109,93$, $p < 7,83600$).

Tabela 33. Análise de covariância para o carbono do solo

	SQ	GL	F	Pr (>F)	
Intercepto	0,1766	1	0,8372	0,3686	
Local	0,5637	3	0,8907	0,4590	
Nitrogênio	23,1923	1	109,9355	7,836e-11	***
Resíduos	5,4850	26			

Códigos para a Significância: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

SQ : Soma de Quadrados

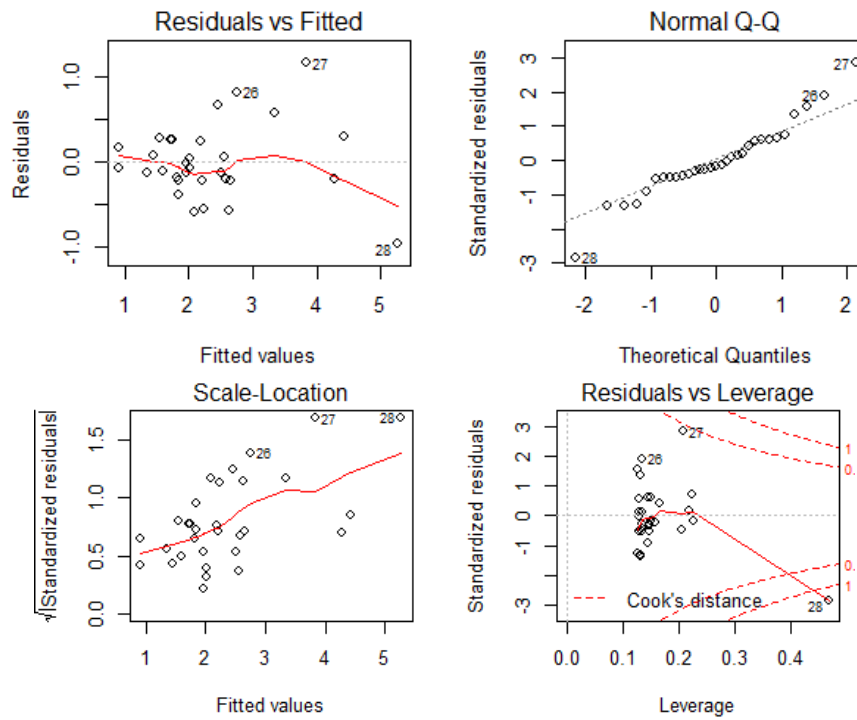
GL : Grau de Liberdade

F : Estatística de Teste (F de Snedecor)

Pr (>F): probabilidade da hipótese H_0 (parâmetro estimado = 0) ser verdadeira

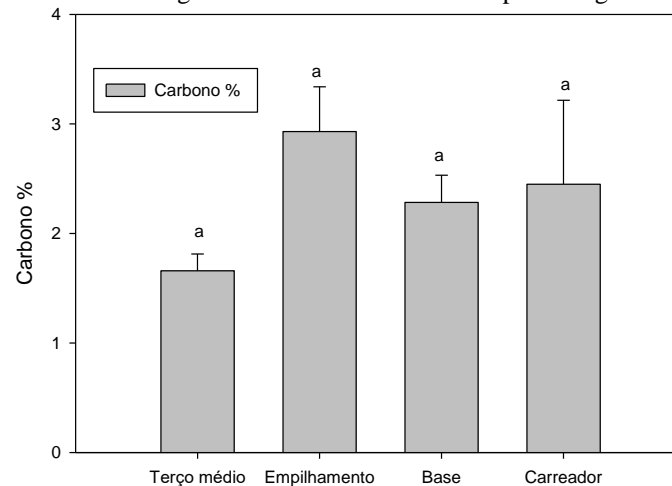
A análise residual (Figura 31) mostra que as condições de homogeneidade das variâncias (A), normalidade (B) e independência (C) são satisfeitas.

Figura 31. Análise residual para o carbono do solo



Os dados de Carbono obteve-se o p valor $p=0.317$ mostrando que o carbono não apresentou diferença significativa entre os locais de tratamento na data da coleta. Embora não tenha ocorrido uma diferença significativa em termos de quantificação a concentração do Carbono tendeu a ser maior na área de empilhamento (Figura 32).

Figura 32 - Carbono do solo em porcentagem



Os valores de Carbono encontrados não apresentaram diferença significativa entre os locais, porém os menores valores em porcentagem de carbono foram quantificados

na área do terço-médio da planta, onde no período da coleta estava ocorrendo uma mudança no manejo da área (julho de 2014).

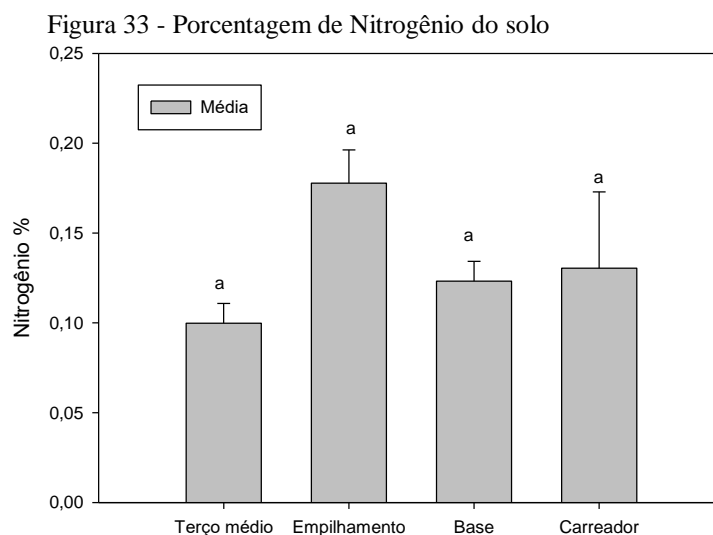
A alternância do tráfego do maquinário na área de estudo ocorre a cada seis meses entre os locais do carreador e terço-médio da planta o que pode aumentar a compactação, reduzindo a drenagem e isso venha a influenciar nesses resultados, pois há uma alteração nas propriedades do solo, ou seja, uma perturbação no meio.

As perdas de carbono orgânico do solo decorrem do tipo de manejo a que é submetido o solo (BUSO; KLIEMANN, 2003).

Nitrogênio

Quando os dados de nitrogênio foram submetidos a ANOVA os resultados gerais foram transformados para Logaritmo neperiano (Ln), e não houve diferença significativa para a concentração do nitrogênio nas áreas de tratamento.

Os valores de Nitrogênio não apresentaram diferença significativa entre os locais na data da coleta, porém os maiores valores foram encontrados na área do empilhamento o que provavelmente esteja associado ao aporte de matéria orgânica nessa área associado a ação dos microrganismos (Figura 33).



Os valores de Nitrogênio não apresentaram diferença significativa entre os locais, porém os menores valores em porcentagem de Nitrogênio foram quantificados na área do terço-médio da planta, onde no período da coleta estava ocorrendo uma mudança no manejo da área (julho de 2014).

8 CONCLUSÃO

Nas duas análises das raízes (muito finas e finas) e (muito finas, finas e maiores que estas) não houve diferenças entre os períodos e locais de amostragem. Embora houvesse uma boa relação entre a base e as raízes de diâmetro $> 2\text{mm}$, não se pode obter uma conclusão definitiva através dos dados coletados.

O maior estoque de raízes finas foi obtido no empilhamento e na base, podendo estar relacionado com as propriedades físicas e químicas do solo além da deposição de material vegetal feito através da poda da própria Palma de óleo depositado no solo havendo menor impacto na dinâmica da produtividade de raízes.

Essa conclusão com base na literatura também mostra que o estoque de raízes na base da planta é maior diminuindo com o afastamento da palma de óleo independente da classe de diâmetro e que houve uma redução na quantidade de biomassa de raízes quanto ao aumento das classes de diâmetro.

Assim a conclusão geral é que para a amostra utilizada de biomassa de raízes, não houve diferenças significativas entre o Período e o Local de amostragem.

O efluxo de CO_2 do solo através dos valores encontrados durante a pesquisa foi na média de $3,06 \pm 0,17 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Foi observada uma dependência entre a umidade e o efluxo de CO_2 do solo, com uma pequena significância de 1%. A interação entre os locais de amostragem e o período não foi significativo através da modelagem estatística do programa two-way.

A umidade gravimétrica do solo variou temporalmente, ou seja, no período das coletas a umidade gravimétrica do solo teve pequenas mudanças o que provavelmente contribuiu com a emissão do efluxo de CO_2 . Através da Análise de Covariância os valores de umidade tanto para os locais de amostragem quanto para o período foram significativos.

É comprovado que a temperatura depende do local de amostragem ou período, porém nessa pesquisa não houve diferenças significativas entre os locais de amostragem, e sim uma pequena diferença entre os períodos quando aplicado o modelo (2), que indicou a existência de regressão.

Concluindo que no período das coletas, essas pequenas mudanças de temperatura no solo, provavelmente não teve grande influência no efluxo de CO₂, com isso a temperatura no solo não foi um fator controlador da emissão de CO₂.

A análise estatística confirmou que não houve resposta satisfatória na correlação entre o efluxo de CO₂ e a temperatura, apenas uma correlação entre o efluxo de CO₂ e umidade. A média mensal do efluxo de CO₂ na área de estudo variou entre 2,40±0,44 μmol m⁻² s⁻¹ a 3,50±0,63 μmol m⁻² s⁻¹.

O Carbono e Nitrogênio possuem uma forte correlação, porém não houve variação espacial nos teores de C e N na profundidade avaliada, nem significância nos locais de tratamento.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As variáveis temperatura e umidade no solo são importantes fatores abióticos que contribuem para a variação do efluxo de CO₂ do solo, com isso sugere-se que se façam algumas medições de 24 horas do efluxo de CO₂ do solo para verificar se a temperatura diária apresenta melhores resultados quanto a variação das primeiras 12 horas do dia.

Também é válida a inclusão de outras variáveis que completem os dados e o aumento no tempo da pesquisa para verificar melhor o efeito da sazonalidade. Buscando uma confirmação mais precisa de que as futuras medições confirmem se a pouca variação da temperatura não pode explicar a grande variação do efluxo de CO₂, já que a umidade apresentou maior relação com o efluxo de CO₂ principalmente após a precipitação de chuva, contribuindo com as maiores variações do efluxo de CO₂ do solo.

Embora a área seja homogênea com características climatológicas semelhantes é necessário incluir outros dados como a qualidade da matéria orgânica. Sugere-se também que seja feita uma análise da textura, densidade e topografia das parcelas, variáveis que também contribuem para a produção e emissão efluxo de CO₂ do solo.

REFERÊNCIAS

- ALFAIA, S. S. Caracterização e distribuição das formas do nitrogênio orgânico em três solos da Amazônia Central. *Acta Amazonica*. Vol. 36(2) 2006: 135-140.
- AMARAL, A. P. M. **Distribuição espacial e temporal do amarelecimento fatal em plantio orgânico de Palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.) na Amazônia Oriental**. Dissertação (Mestrado em agronomia) Universidade Rural da Amazônia, Belém, 2016.
- BANDEIRA FILHO, J. DOS R. **Variações no fluxo de CO₂ do solo numa área de cerrado em alter-do-chão**. Dissertação (Mestrado em recursos naturais da Amazônia) Universidade Federal do Oeste do Pará - UFOPA, Santarém, 2013.
- BARCELOS, E.; CUNHA, R. N. V.; NOUY, B. Recursos genéticos de dendê (*Elaeis guineensis* Jacq. e *Elaeis oleifera* (Kunth) Cortés) disponíveis na Embrapa e sua utilização. In: Müller, A. A. **Agronegócio do Dendê: uma alternativa social, econômica e ambiental para o desenvolvimento sustentável da Amazônia**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2001, p. 131-143.
- BASTOS, T. X. Aspecto agroclimáticos do dendezeiro na Amazônia Oriental, In VIÉGAS, I. de J. MÜLLER, A. A. **A cultura do dendezeiro na Amazônia Brasileira**. Belém: EMBRAPA Amazônia Oriental/Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2000. Pp.48-60.
- BECKER, B. K. **Recuperação de áreas desflorestadas da Amazônia: será pertinente o cultivo da palma de óleo (Dendê)?** II Encontro Latino-Americano da *Round table on Sustainable Palm Oil* (RSPO) - Mesa redonda para óleo de Palma Sustentável, Belém, Pará. 2010.
- BOARI, A. J. Zoneamento Agroecológico, produção e manejo para a cultura da palma de óleo na Amazônia. Parte II Produção e manejo sustentáveis para a cultura da palma de óleo (dendezeiro) na Amazônia. **O desafio das pesquisas com a etiologia do Amarelecimento Fatal (AF) para a cultura da palma de óleo**. Embrapa Solos, Rio de Janeiro RJ. 2010.
- BRASIL, Ministério de Minas e Energia - MME. **Biodiesel. O novo combustível do Brasil**. Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel, 2004.
- BRASIL, Ministério de Minas e Energia - MME. **Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/programas/biodiesel>>. Acesso em: 10 mar. 2014.
- BRASIL, Ministério do Desenvolvimento Agrário - MDA. **Programas**. Disponível em: <<http://portal.mda.gov.br/portal/saf/programas/>>. Acesso em: mar. 2014.
- BUSO, W. H. D.; KLIEMANN, H. J. Relações de carbono orgânico e de nitrogênio total e potencialmente mineralizável com o nitrogênio absorvido pelo milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 33 (2): 97-105, 2003 – 97.

CARDOSO, A. S. **Sustentabilidade e gestão ambiental no município de Moju/Pa: desafios para a produção do biodiesel.** Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) 87f. Universidade Federal do Pará, Belém, 2014.

CARVALHO, W. R. **Estoque de carbono e fracionamento físico da matéria orgânica do solo sob cultivo de palma de óleo (*Elaeis guineensis*) em sistemas agroflorestais na Amazônia Oriental.** Dissertação (Mestrado em agronomia) Universidade Rural da Amazônia, Belém, 2011.

CASSOL, H. L. G.; MELO, L. C.; MENDES, F. da S.; FONSECA, R.; SANQUETTA, C. R. Redução de emissões de CO₂ pela produção de biocombustíveis a partir de óleo de dendê na Amazônia Brasileira. **Revista Floresta**, Paraná vol. 46, nº1. 2016.

CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; VOLKOFF, B.; MORAES, J. L. **Dinâmica do carbono nos solos da Amazônia. O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado.** UFV: Viçosa, MG. 1996.

CHIA, G. S. **Repetibilidade da produção de cachos, anomalias florais e germinação de pólen de híbridos interespecíficos entre o caiaué e o dendezeiro.** Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Biologia e Recursos Naturais, Universidade Federal do Amazonas. Manaus, AM, 2008.

COELHO, M.M. **Estudo da respiração do solo em floresta de transição do sudoeste da Amazônia.** 46p. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) - Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2005.

CONCEIÇÃO, P. C. **Agregação e proteção física da matéria orgânica em dois solos do sul do Brasil.** Tese de doutorado do Programa de pós-graduação em ciência do solo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2006.

COSTA, E. M.; SILVA, H. F.; RIBEIRO, P. R. A. Matéria orgânica do solo e o seu papel na manutenção e produtividade dos sistemas agrícolas. **Enciclopédia biosfera**, Centro científico conhecer – Goiânia, v. 9, n. 17; p. 1842. 2013.

CUNHA, R. N. V.; LOPES, R.; BARCELOS, E.; RODRIGUES, M. R. L.; TEIXEIRA, P. C.; ROCHA, R. N. C. **Produção de híbridos interespecíficos entre o caiaué (*Elaeis oleifera* Kunt, Cortez) e o dendezeiro (*Elaeis guineenses* Jacq.).** II Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, óleos, Gorduras e Biodiesel. Universidade Federal de Lavras e Prefeitura Municipal de Varginha, 2005.

CUNHA, R. N. V.; LOPES, R. GOMES JÚNIOR, R. A.; RODRIGUES, M. R. L.; TEIXEIRA, P. C.; ROCHA, R. N. C.; LIMA, W. A. A. Zoneamento Agroecológico, produção e manejo para a cultura da palma de óleo na Amazônia. Parte II Produção e manejo sustentáveis para a cultura da palma de óleo (dendezeiro) na Amazônia. **Material genético para a produção sustentável da palma de óleo na Amazônia.** Embrapa Solos, Rio de Janeiro RJ. 2010.

DAVIDSON, E. A.; SAVAGE, K.; BOLSTAD, P.; CLARK, D. A.; CURTIS, P. S.; ELLSWORTH, D. S.; HANSON, P. J.; LAW, B. E.; LUO, Y.; PREGITZER, K. S.; RANDOLPH, J. C.; ZAK, D. Belowground carbon allocation in forests estimated from litterfall and IRGA-based soil respiration measurements. **Agricultural and Forest Meteorology**, San Andreans, v. 113, n. 1/4., p. 39-51, dec. 2002.

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, 190-199, 2006.

DIAS, J. D. **Fluxo de CO₂ proveniente da respiração do solo em áreas de floresta nativa da Amazônia**. Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ecologia de Agroecossistemas. Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.2006.

DIAS, A. T. C.; RUIJVEN, J. V.; BERENDSE. Plant species richness regulates soil respiration through changes in productivity. **O ecologia** (2010), 163: 805-813.

DREWITT, G. B.; BLACK, T. A.; NESIC, Z.; HUMPHREYS, E. R.; JORK, E. M.; SWANSON, R.; ETHIER, G. J.; GRIFFIS, T.; MORGENSTERN, K. Measuring forest floor CO₂ fluxes in a Douglas-fir forest. **Agricultural and Forest Meteorology**, 110 (2002) 299-317.

DROUVOT, H. DROUVOT, C. M. **O programa federal de produção sustentável de óleo de Palma: a questão da participação dos atores locais em favor do desenvolvimento territorial**. 2^{ème} Congrès Transformare 19-20 mar 2012, Paris.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro, RJ, 212p. 2^a ed. revisada 2011.

EMBRAPA. **Zoneamento agroecológico do dendezeiro para as áreas desmatadas da Amazônia Legal**. Rio de Janeiro, RJ, abr. 2010.

EPRON, D.; DANTEC, V.; DUFRENE, E.; GRANIER, A. Seasonal dynamics of soil carbon dioxide efflux and simulated rhizosphere respiration in a beech forest. **Tree Physiology** 21, 145-152. Victoria, Canada 2001.

EUSKIRCHEN, E. S.; CHEN, J.; GUSTAFSON, E. J.; MA, SIYAN. Soil respiration at dominant patch types within a managed Northern Wisconsin Landscape. **Ecosystems** (2003) 6: 595-607.

FARIA, G. E.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; SILVA, I. R.; NEVES, J. C. L. Carbono orgânico total e frações da matéria orgânica do solo em diferentes distâncias do tronco de eucalipto. **Scientia forestalis**, Piracicaba, v.36, n.80, p. 265-277, 2008a.

FARIA, G. E.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; SILVA, I. R.; NEVES, J. C. L. Carbono orgânico total e frações da matéria orgânica do solo em diferentes distâncias da cepa de eucalipto. **CERNE**, v.14, n.3, pp.259-266, Universidade Federal de Lavras 2008b.

FERREIRA, E. A. B.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. **Medidas do fluxo de CO₂ do solo pelos métodos da absorção alcalina e analisador de gás infravermelho em diferentes sistemas de manejo no Cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. 2005. p. 28. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 151).

FONSECA, S. M. **Avaliações diárias e sazonais das concentrações de CO₂ em um ecossistema de manguezal: dimensões micrometeorológicas e econômicas**. Tese de doutorado do Programa de Pós-graduação em Meteorologia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, PR, 2010.

FRAZÃO, L. A. **Greenhouse gas emissions and soil carbono dynamics in the Brazilian oil palm production**. Tese de doutorado do Programa de Pós-graduação em área nutrição do solo e plantas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Piracicaba, SP, 2012.

FURLAN JÚNIOR, J. F.; MULLER, A. A. **A agricultura familiar e a dendeicultura na Amazônia**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2004. 3p. (Comunicado técnico, 107).

HARON, K; BROOKES, P. C.; ANDERSON, J. M.; ZAKARIA, Z. Z. Microbial biomass and soil organic matter dynamics in oil palm (*Elaeis Guineensis* Jacq.) plantations, west Malaysia. **Soil Biol. Biochem.** Vol. 30, Nº 5, pp. 547-552, 1998.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO SOCIAL E AMBIENTAL DO PARÁ (IDESP). **Estatística municipal do Moju, 2014**. Disponível em: <<http://www.idesp.pa.gov.br/paginas/produtos/estatisticamunicipal/pdf/moju.pdf>>. Acesso em: abr de 2015.

JOBÁGY, E. G.; JACKSON, R. B. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. **Ecological Applications** 10 (2), 2000, pp. 423-436.

KEPLER, S.; VOLKOFF, B.; CERRI, C. C.; CHONE, T.; LUIZÃO, F.; EDUARDO, B. P. Respiração do solo: Comparação entre áreas com mata natural, mata recém queimada e pastagem, na Amazônia Central. **Geochemistry**. Brasil, v. 4, n. 2, p. 111-118, 1980.

KUZYAKOV, Y. Sources of CO₂ efflux from soil and review of partitioning methods. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 38, p. 425-448, 2006.

LAL, R.; KIMBLE, J. M. Conservation tillage for carbon sequestration. **Nutrition Cycling in Agrosystems**, Amsterdam, v. 49, p. 243-353, 1997.

LANGE, M. V. **A mudança do estoque de carbono por transformação da terra e seu uso no inventário de ciclo de vida de produtos de origem renovável: Estudo de caso da possível expansão da palma de óleo na Amazônia Legal Brasileira**. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, PR, 2012.

LEÃO, M. F. **Estoque e distribuição de raízes finas em clareiras naturais e clareiras formadas por exploração seletiva de madeira em uma floresta de terra firme no município de Moju, Pará.** Dissertação de mestrado em botânica da Universidade Federal Rural da Amazônia e Museu Paraense Emílio Goeldi, 2010. 49f.

LE DANTEC, V.; EPRON, D.; DUFRÊNE, E. Soil CO₂ efflux in a beech forest: comparison of two closed dynamic systems. **Plant and soil** 214: 125-132, 1999.

LIMA, V. C.; LIMA, M. R.; MELO, V. F. **O solo no meio ambiente.** Universidade Federal do Paraná. Departamento de solos e engenharia agrícola. Curitiba, PR, 2007.

LOPES, V. G. **Quantificação das raízes finas em um povoamento de *Pinus taeda* L. na região dos campos de cima da serra, RS.** Dissertação Programa de pós-graduação em engenharia florestal Universidade Federal de Santa Maria, 2009.

LUO, Y.; ZHOU, X. Soil respiration and the environment. **Academic Press/Elsevier.** San Diego, CA, USA, pp 333. 2006

MACEDO, C. O. **Os impasses entre o agronegócio e a agricultura camponesa no nordeste Paraense.** 2012.

MACHADO, P. L. O. de A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. **Quim. Nova**, v. 28, n. 2, p. 329-334, 2005.

MALHI, Y.; BALDOCCHI D. D.; JARVIS, P. G. **The carbon balance of tropical, temperate and boreal forests.** **Plant, Cell and Environment**, v. 22, p. 715-740, 1999.

MAPA. **Anuário Estatístico da Agroenergia.** Brasília, DF. 2012.

MATOS, F. O.; CASTRO, R. M. S.; RUIVO, M. L. P.; MOURA, Q. L. Teores de Nutrientes do solo sob Sistema Agroflorestal manejado com e sem queima no estado do Pará. **Floresta e Ambiente**, 2012. 19(3): 257-266.

MEIR, P.; GRACE, J.; MIRANDA, A.; LLOYD, J. Soil Respiration in a Rainforest in Amazonia and in Cerrado in Central Brazil. In: Gash, J. H. C.; Nobre, C. A.; Roberts, J. M. & Victoria, R. L. (eds). **Amazonian Deforestation and Climate.** West Sussex: John Wiley & Sons Ltd. 1996, p.319-329.

MELLING, L.; HATANO, R. GOH, K. J. Soil CO₂ flux from three ecosystems in tropical peatland of Sarawak, Malaysia. **TELLUS**, (2005) 57B, 1-11.

MELO, S. L. M.; GONÇALVES, J. L. M.; OLIVEIRA, L. E. G. Characteristics of eucalypt root system propagated by seed and rooted cutting. Universidade de São Paulo IPEF-ESALQ. **Scientia Forestalis** n. 54, p. 17-28, 1998.

MENEZES, M. C. **Dinâmica de biomassa e nutrientes em raízes de ecossistemas de floresta nativa e plantio de *Eucalyptus* na Amazônia Oriental.** Dissertação Faculdade de Ciências Agrárias do Pará. Belém, PA, 2002.

MONTEIRO, V. M. D. **Estoque de raízes finas em sistemas agroflorestais com Palma de óleo na Amazônia oriental.** Mestrado em Agronomia Universidade Federal Rural da Amazônia. 2014.

MORAES, J. R. S. C.; MARTORANO, L. G.; BOARI, A. J.; MONTEIRO, D. C. A.; Condições térmicas e pluvias associadas às ocorrências do amarelamento fatal (AF) em palma de óleo em Moju, Pará. **15º Seminário de Iniciação Científica da EMBRAPA Amazônia Oriental**, Belém-Pará 2011.

MÜLLER A. A.; ANDRADE, E. B. Zoneamento Agroecológico, produção e manejo para a cultura da palma de óleo na Amazônia. Parte II Produção e manejo sustentáveis para a cultura da palma de óleo (dendezeiro) na Amazônia. **Aspectos gerais sobre a fenologia da cultura da palma de óleo.** Embrapa Solos, Rio de Janeiro RJ. 2010.

MÜLLER A. A.; FURLAN JÚNIOR, J.; CELESTINO FILHO, P. A **Embrapa Amazônia Oriental e o Agronegócio do Dendê no Pará.** Embrapa Amazônia Oriental, Belém Pará, 2006.

MUNIZ, R. S.; TEIXEIRA, W. G.; BUENO FILHO, S. S. S.; PÉREZ, D. V.; BOARI, A.; PINA, A. J. A. **Dinâmica do potencial redox em condições de alagamento em amostras de latossolo amarelo, textura média do nordeste paraense.** XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Uberlândia, Minas Gerais. 2012.

NETER, J.; KUTNER, M. H.; NACHTSHEIM, C. J.; WASSERMAN, W. **Applied linear statistical models.** 4th ed. Chicago, Illinois: Irwin. (1996).

NUNES, P. C. **Influência do efluxo de CO₂ do solo na produção de forragem numa pastagem extensiva e num sistema agrosilvopastoril.** Dissertação de mestrado Programa de Pós-graduação em Agricultura Tropical, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá - MT, 2003.

OLIVEIRA, A. A. R. DE. **Estudo de respiração do solo na floresta nacional de caxiuanã, projeto esecaflor/LBA.** Dissertação Universidade Federal do Oeste do Pará UFOPA. Santarém, PA, 2014.

PAIVA, A. O.; REZENDE, A. V.; PEREIRA, R. S. Estoque de carbono em cerrado sensu stricto do Distrito Federal. **Revista Árvore**, Viçosa-MG. v.35, n.3, 527-538, 2011.

PALMA, F. R. **Caracterização de genes análogos de resistência (RGAS) em *Elaeis guineensis* e *Elaeis oleifera* contrastantes em resistência a *Fusarium oxysporum* f. sp. *Elaeidis*.** Programa de pós-graduação em Fitopatologia, Universidade de Brasília, 2011

PESCE, C. **Oleaginosas da Amazônia.** Belém: Museu Paraense Emílio Goeld. Ministério do Desenvolvimento Agrário. 2ª Ed. P. 335. 2009.

PINA, A. J. A. Zoneamento Agroecológico, produção e manejo para a cultura da palma de óleo na Amazônia. Parte II Produção e manejo sustentáveis para a cultura da palma de óleo (dendezeiro) na Amazônia. **Esperiências na produção para a cultura de palma de óleo na Amazônia: relato de experiências da Marborges Agroindústria S. A. (Moju – Pará)**. Embrapa Solos, Rio de Janeiro RJ. 2010.

PINTO-JUNIOR, O. B.; SANCHES, L.; DALMOLIN, A. C.; NOGUEIRA, J. S. Efluxo de CO₂ do solo em floresta de transição Amazônia Cerrado e em área de pastagem. **Acta Amazonica**. Vol. 39 (4) 2009: 813 – 822.

PRODES, INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Programa de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite**. 2012. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/prodesmunicipal.php>> Acesso em jan de 2015.

RAMALHO FILHO, A.; MOTTA, P. E. F. Zoneamento Agroecológico, produção e manejo para a cultura da palma de óleo na Amazônia. Parte I Zoneamento Agroecológico para a cultura da palma de óleo (dendezeiro) nas áreas desmatadas da Amazônia Legal. **Contexto e objetivos do zoneamento agroecológico para a cultura da palma de óleo nas áreas desmatadas da Amazônia Legal**. Embrapa Solos, Rio de Janeiro RJ. 2010.

REIS, M. S.; FERNANDES, A. R.; GRIMALDI, C.; DESJARDINS, T. GRIMALDI, M. Características químicas dos solos de uma topossequência sob pastagem em uma frente pioneira da Amazônia Oriental. **Revista Ciências agrárias**, Belém, n. 52, p. 37-47, 2009.

REPÓRTER BRASIL. **Novo estudo analisa impactos socioambientais do DENDÊ no Pará**. 2012. Disponível em: <<http://reporterbrasil.org.br/agrocombustiveis/exibe.php?id=213>>. Acesso em: mai de 2015.

RESENDE, T. M. **Conversão de uso e potencial de estoque do carbono nos diferentes usos do solo e cobertura vegetal na bacia do ribeirão bom jardim no triângulo mineiro (MG)**. Dissertação de mestrado do Programa de pós-graduação em geografia da Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, MG, 2011.

LEVERMANN, R. A.; SOUZA, J. P. M. de. O crescimento da indústria global. **AgroANALYSIS**, v. 34, n. 02, p. 13-15, 2014.

REVISTA DINHEIRO RURAL. **Óleo de Palma e derivados, no Pará, geram inclusão social**. 2013. Disponível em: <revistadinheirorural.terra.com.br/noticia/agronegocios/>. Acesso em: abr de 2015.

RIOS, S. A.; CUNHA, R. N. V.; LOPES, R.; BARCELOS, E. **Recursos Genéticos de Palma de óleo (*Elaeis guineensis*) e Caiuá (*Elaeis oleifera* (H.B.K.) Coertés)**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2012. 39p. Documentos 96.

RODRIGUES, P. P. **Apostila sobre a relação solo-água-plantas**. Universidade Rural do Rio de Janeiro. 2008.

RYAN, M. G. LAW, B. E. Interpreting, measuring, and modeling soil respiration. **Biogeochemistry** (2005) 73: 3-27.

SALIMON, C. I. **Respiração do solo sob florestas e pastagens na Amazônia Sul-Ocidental, Acre**. Tese de doutorado do Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo, 2003.

SANTIAGO, W. R.; VASCONCELOS, S. S.; KATO, O. R.; BISPO, C. J. C.; RANGEL-VASCONCELOS, L. G. T.; CASTELLANI, D. C. ; Nitrogênio mineral e microbiano do solo em sistemas agroflorestais com palma de óleo na Amazônia oriental. **Acta Amazônica**. Vol. 43(4) 2013: 395-406.

SANTOS, A. M. **Análise do potencial do biodiesel de dendê para a geração elétrica em sistemas isolados da Amazônia**. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, 2008.

SANTOS, E. A. Dos. **Caracterização de dendezeiros subespontâneos com base na produção de frutos e cachos**. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, BA, 2010.

SELLE, G. L. VUADEN, E. MURARI, A. B. HACK, C. FARIAS, J. A. THOMAS, R. Biomassa radicular, densidade do solo e análise química do solo de um povoamento de Pinus sp. **Ambiência Guarapuava** (PR) v. 6 n. 1 p. 61-74, 2010.

SILVA JÚNIOR, J. A.; COSTA, A. C. L.; AZEVEDO, R. F. C.; METCALFE, D. B. GONÇALVES, P. H. L.; BRAGA, A. P.; MALHI, Y.; ARAGÃO, L. E. O. E. C.; MEIR, P. Fluxos de CO₂ do solo na Floresta Nacional de Caxiuanã, Pará, durante o experimento ESECAFLOR/LBA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 1 85-94, 2013.

SILVA, C. M.; VASCONCELOS, S. S.; MOURÃO JÚNIOR, M.; BISPO, C. J. C.; KATO, O. R.; SILVA JÚNIOR, A. C.; CASTELLANI, D. C.; Variação temporal do efluxo de CO₂ do solo em sistemas agroflorestais com palma de óleo na Amazônia Oriental. **Acta Amazonica**, v. 46(1), 1 - 12, 2016.

SILVA, C. M. **Variação temporal do efluxo de dióxido de carbono (CO₂) do solo em sistemas agroflorestais com palma de óleo (*Elaeis guineensis*) na Amazônia Oriental**. Dissertação de mestrado Programa de Pós-graduação de Ciências Ambientais, Universidade Federal do Pará, PA, 2014.

SILVA, E. E.; AZEVEDO, P. H. S. POLLI-DE, H. **Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO₂)**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007. 4 p. (Embrapa Agrobiologia. Comunicado Técnico, 99). Seropédica/RJ Ago. 2007.

SILVA, J. S. O. **Produtividade de óleo de Palma na cultura do Dendê na Amazônia Oriental: Influência do clima e do material genético**. Dissertação de

mestrado Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, MG, 2006.

SILVA-OLAYA, A. M. **Emissão de dióxido de carbono após diferentes sistemas de preparo do solo na cultura da cana-de-açúcar.** Dissertação de mestrado da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade Federal de São Paulo, Piracicaba, SP. 2010.

SILVER, W. L. THOMPSON, A. W.; MCGRODDY, M. E.; VARNER, R. K.; DIAS, J. D.; SILVA, H.; CRILL, P. M.; KELLERS, M. Fine root dynamics and trace gas fluxes in two lowland tropical forest soils. **Global Change Biology** (2005) 11, 2900-306.

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. **Fluxo de CO₂ entre solo e atmosfera em floresta tropical úmida da Amazônia Central**, 1998. 99p. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 1998.

SOTTA, E. D.; VELDKAMP, E.; GUIMARAES, B. R. PAIXAO, R. K. RUIVO, M. L. P. ALMEIDA, S. S. Landscape and climatic controls on spatial and temporal variation in soil efflux in na Eastern Amazonian Rainforest, Caxiuana, Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 237, n. 1-3, p. 57-64, 2006.

SOUSA, M. K. M.; MONTEIRO, V. M.; VASCONCELOS, S. S. PRODUÇÃO DE RAÍZES FINAS EM CULTIVOS DE PALMA DE ÓLEO (*Elaeis guineensis*) NO NORDESTE PARAENSE. **18º Seminário de Iniciação Científica e 2º Seminário de Pós-graduação da Embrapa Amazônia Oriental**. 2014.

SOUSA, M. K. M.; MONTEIRO, V. M.; VASCONCELOS, S. S. RODRIGUES, J. S. C. **Variabilidade espacial do estoque de raízes finas em cultivos de palma de óleo em sistemas agroflorestais na Amazônia oriental**. 2010.

SOUSA, M. K. M.; RODRIGUES, S. J. S. C.; VASCONCELOS, S. S.; MONTEIRO, V. M. Estoque de raízes finas em cultivos de palma de óleo (*Elaeis guineensis*) em sistemas agroflorestais em Tomé-Açú, Pará. **17º Seminário de Iniciação Científica e 1º Seminário de Pós-graduação da Embrapa Amazônia Oriental**. 2013.

SUFRAMA. **Potencialidades regionais estudo de viabilidade econômica**. Dendê. Sumário executivo, v. 5, p. 18, 2003.

TRINDADE, D. R. **Doenças do dendezeiro** (). In.: Manual de fitopatologia/editado por Hiroshi Kimari et al., 3ª edição. São Paulo: Agronômica Ceres. 1995 - 1997. 2v.

VALENTINI, C. M. A. **Efluxo de CO₂ do solo de uma área de floresta de transição no Noroeste de Mato Grosso**. Mestrado em Física e Meio Ambiente Universidade Federal do Mato Grosso 2004.

VAN DIEPEN, R. **Spatial variability of soil respiration in a micro-scale rainforest catchment in Central Amazonia, Brazil**. Department of Hydrology and geo environmental sciences faculty of Earth and Life Sciences Vrije Universiteit: Amsterdam, the Netherlands. p. 1-68, 2006.

VAREJÃO-SILVA, M. A. S. **Meteorologia e climatologia**. Brasília, DF: INMET. Gráfica e Editora Pax, 2001. 532p.

VENTURIERI, A.; FERNANDES, W. R.; BOARI, A. J.; VASCONCELOS, M. A. Relação entre ocorrência do amarelecimento fatal do dendezeiro (*Elaeis guineensis*) e variáveis ambientais no estado do Pará. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal, Brasil. **Anais...** Natal, Brasil: INPE, 2009. p. 523-530.

VIEIRA, S. **Análise de variância**. São Paulo: Ed. Atlas, 2006.

YAHYA, Z.; HUSIN, A.; TALIB, J.; OTHMAN, J.; AHMED, O. H.; JALLOH, M. B. Oil Palm (*Elaeis guineensis*) roots response to mechanization in Bernam series soil. **American Journal of Applied Sciences** v. 7, n. 3, p. 343-348, 2010.