



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA**  
**MESTRADO E DOUTORADO EM AGRONOMIA**

**VALDIR MARIO DIAS MONTEIRO**

**ESTOQUE DE RAÍZES FINAS EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS COM PALMA  
DE OLÉO NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

**Belém-PA**  
**2014**



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA**  
**MESTRADO E DOUTORADO EM AGRONOMIA**

**VALDIR MARIO DIAS MONTEIRO**

**ESTOQUE DE RAÍZES FINAS EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS COM PALMA  
DE OLÉO NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Linha de Pesquisa Manejo e Conservação dos Recursos Ambientais.

**Orientador:** Steel Silva Vasconcelos

**Belém-PA**  
**2014**

---

Monteiro, Valdir Mario Dias

Estoque de raízes finas em sistemas agroflorestais com palma de óleo na Amazônia Oriental / Valdir Mario Dias Monteiro. - Belém, 2014.

68 f.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, 2014.

1. Sistemas agroflorestais 2. Amazônia – ciclagem de nutrientes 3. Palma de óleo 4. Raízes finas I. Título.

CDD – 634.99089115

---



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA**  
**MESTRADO E DOUTORADO EM AGRONOMIA**

**VALDIR MARIO DIAS MONTEIRO**

**ESTOQUE DE RAÍZES FINAS EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS COM PALMA  
DE OLÉO NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Linha de Pesquisa Manejo e Conservação dos Recursos Ambientais.

Aprovado em fevereiro 21 de 2014.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Engenheiro Agrônomo, Pesquisador Dr<sup>o</sup>. Steel Silva Vasconcelos (Orientador)  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA

---

Engenheiro Agrônomo, Pesquisador Dr<sup>o</sup>. Osvaldo Ryohei Kato  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA

---

Engenheiro Florestal, Pesquisador Dr<sup>o</sup> Francisco de Assis Oliveira  
Universidade Federal Rural da Amazônia-UFRA

---

Geóloga, Pesquisadora Dr<sup>a</sup>. Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo  
Museu Paraense Emílio Goeldi- MPEG

*À minha mãe Maria de Fatima, meu maior exemplo de mulher guerreira, amorosa, caridosa e serva de Deus. Ao meu Pai Valdino Diniz que sempre me apoiou em tudo que fiz. A minha querida vizinha Nazira Diniz. Aos meus irmãos que amo infinitamente. Aos meus sobrinhos (são tantos), a minha afilhada Monize, ao meu compadre Luiz Ferreira e irmã Nora. Aos meus grandes amigos Michael Reynolds, Gerson Albuquerque, Anselmo Renato, Luiz Carlos, Welton e Walaci Moraes, Marcos Paulo, Everton Lima, Saime Rodrigues, e ao meu anjo Mary Machado, que são a alegria da minha vida. Dedico.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por sua infinita misericórdia, amor e por sempre iluminar minha caminhada;

Aos meus pais, em especial a minha mãe que sempre prezou pela educação e sempre me deu suporte para completar mais essa etapa;

Aos meus irmãos Francivaldo, Amilton, Fabio, Keila e Nora, pela amizade e cumplicidade;

A Universidade Federal Rural da Amazônia, pela formação;

Ao programa de Pós Graduação em Agronomia, pela oportunidade e formação concedida;

Ao meu orientador, Prof. Dr<sup>o</sup> Steel Silva Vasconcelos, pela dedicação, amizade, atenção, conselhos, paciência, estímulo constante e fonte de conhecimentos que me disponibilizou durante todo o trabalho;

Aos membros da banca examinadora, por aceitarem meu convite e pelas orientações e conselhos;

Aos amigos que sempre acreditaram que eu seria capaz: Eng<sup>o</sup>. Agrônomos Gerson Albuquerque, Saime Rodrigues, Núbia Vasconcelos, Cleyson Danilo, Giselle Nerino, Jociney Andrade, Olivar Ribeiro, Lorena Lira, Sergio Heitor, Deyvison Medrado Jhonathas Nunes, Ellison Oliveira, Adam Matos, Possidônio Rodrigues, Otiniel Nunes, Walmir Ribeiro, Rodolfo Santos, Mary Machado, Douglas Castilho, Felipe Cruz e Adriane Rocha, que em todos os momentos estiveram presentes me dando forças para seguir em frente;

Ao CNPq, pelo apoio financeiro ao projeto de pesquisa;

Aos colegas do Programa de Pós Graduação, pela excelente convivência;

Aos funcionários do Laboratório de Ecofisiologia e Propagação de Plantas, que me ajudaram na execução e análise desse trabalho: Cléo Marcelo de Araújo Souza, Neusa Maria da Silva Ferreira, Everson Rocha Lima e Ivanildo Alves Trindade e Seu Zé Silva.

“A tempestade vai passar, pois, sobre as ondas, confiante andarei, tribulações vencerei, as aflições superarei. Deus provê. Eu sei que proverá” .

## SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS .....	8
<b>RESUMO .....</b>	<b>9</b>
<b>1. CONTEXTUALIZAÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>2. PROBLEMA DE PESQUISA.....</b>	<b>13</b>
3. HIPÓTESES .....	13
4. OBJETIVOS.....	14
4.1. OBJETIVO GERAL .....	14
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	14
5. REVISÃO DE LITERATURA.....	14
5.1. PALMA DE ÓLEO .....	14
5.2. SISTEMAS AGROFLORESTAIS (SAF) .....	17
5.3. AGRICULTURA FAMILIAR .....	18
5.4 SISTEMA DE CORTE E TRITURAÇÃO DA FLORESTA SECUNDÁRIA NA AMAZÔNIA.....	19
5.5 RAÍZES FINAS .....	20
5.6 ESTOQUES DE RAÍZES FINAS .....	23
5.7 AMOSTRAGEM DE RAÍZES .....	23
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	25
<b>7. ESTOQUE DE RAÍZES FINAS EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS COM PALMA DE OLÉO NA AMAZÔNIA ORIENTAL .....</b>	<b>35</b>
7.1 INTRODUÇÃO.....	35
7.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	36
7.2.1. Área de estudo.....	36
<b>7.2.2 Histórico da área .....</b>	<b>38</b>
<b>7.2.3 Descrição do experimento .....</b>	<b>42</b>
7.2.4. Amostragem Experimental .....	44
8. ESTOQUE DE RAÍZES .....	46
8.1 MÉTODO MONÓLITO .....	46
8.2 MÉTODO DO TRADO.....	47
9. DENSIDADE DO SOLO .....	48
10. PROCESSAMENTO DAS AMOSTRAS DE RAÍZES .....	49
11. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	50

12. RESULTADOS.....	51
12.1 DENSIDADE DO SOLO.....	51
12.2 ESTOQUE DE RAÍZES UTILIZANDO A TÉCNICA DO MONÓLITO. ....	52
12.3 ESTOQUE DE RAÍZES FINAS UTILIZANDO A TÉCNICA TRADO. ....	54
13. DISCUSSÃO .....	57
13.1 ESTOQUE DE RAÍZES DETERMINADO PELA TÉCNICA DO MONÓLITO.....	57
13.2.....	61
ESTOQUE DE RAÍZES DETERMINADO PELO MÉTODO DE TRADAGEM.....	61
14. CONCLUSÕES .....	62
REFERÊNCIAS .....	63
ANEXOS.....	66

## LISTA DE ABREVIATURAS

**SAF:** Sistemas Agroflorestais.

**EP:** Entre Plantas.

**EC:** Entre Carreador.

**ES:** Entre Sistemas Agroflorestais (SAF's).

## ESTOQUE DE RAÍZES FINAS EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS COM PALMA DE ÓLEO NA AMAZÔNIA ORIENTAL

### RESUMO

Raízes finas (diâmetro  $\leq 2$  mm) desempenham papel fundamental na absorção de água e nutrientes no solo em ecossistemas terrestres. A variabilidade espacial do estoque de raízes finas é determinada por diversos fatores bióticos e abióticos, incluindo a arquitetura do sistema radicular e o manejo em agroecossistemas. O conhecimento da variabilidade espacial do estoque de raízes finas é fundamental para entender o impacto de cultivos agrícolas sobre processos biogeoquímicos que ocorrem no solo. Neste estudo, avaliamos a variabilidade espacial do estoque de raízes finas de plantios de palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.) em monocultivo e em sistemas agroflorestais. No Estado do Pará, o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel tem incentivado a expansão da palma óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.) em áreas de agricultura familiar, o que pode afetar de forma significativa processos biogeoquímicos. O estoque de raízes finas foi avaliado em dois cultivos de palma de óleo em sistemas agroflorestais, com 4 anos de idade, no município de Tomé Açu, Pará, denominados de adubadeira e biodiverso, caracterizados por baixa e alta diversidade de espécies plantadas, respectivamente. Os cultivos de palma de óleo foram comparados com um fragmento de floresta secundária de 13 anos de idade localizado próximo aos plantios. Em agosto de 2012, o estoque de raízes finas foi avaliado por meio dos métodos de (a) monólito, nas profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm, e (b) tradagem, na profundidade de 0-10 cm. As amostras coletadas com trado foram retiradas em locais resultantes da combinação de diferentes direções (entre plantas, planta-carreador, planta-sistema agroflorestal) e distâncias (0,6 m, 1,2 m, 2 m e 4m) a partir de um dado indivíduo de palma de óleo. O processamento das amostras de solo consistiu em lavagem e separação manual de raízes finas, que foram secas em estufa e pesadas. O estoque de raízes finas determinado pelo método monólito foi maior no sistema adubadeira do que nos demais sistemas e diminuiu com a profundidade; não houve diferença significativa entre o sistema biodiverso e a floresta secundária. Com o método de tradagem, o estoque de raízes finas variou significativamente em relação às distâncias de amostragem em todos os sistemas, sendo que os maiores estoques ocorreram na distância próxima ao estipe, diminuindo quanto mais distante do estipe o local de amostragem. No sistema adubadeira, o estoque de raízes finas foi maior no carreador e entre plantas de palma de óleo. Conclui-se que diferentes usos da terra podem influenciar o estoque de raízes finas, o qual também varia espacialmente.

**Palavras chaves.** Amazônia oriental, dendê, floresta secundária, solo, raízes finas, variabilidade espacial.

## STOCK AND FINE ROOTS IN AGROFORESTRY SYSTEMS WITH PALM OIL IN EASTERN AMAZON

### ABSTRACT

Fine roots ( $\leq 2$  mm diameter) play a fundamental role in the absorption of water and nutrients in the soil in terrestrial ecosystems. The spatial variability of the stock of fine roots is determined by several biotic and abiotic factors, including the architecture of the root system and management in agroecosystems. The knowledge of the spatial variability of the stock of fine roots is critical to understand the impact of agricultural activities on biogeochemical processes occurring in the soil. In this study, we evaluated the spatial variability of the stock of fine roots in plantations of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) in monoculture and agroforestry. In Pará, the National Program for Production and Use of Biodiesel has encouraged the expansion of palm oil (*Elaeis guineensis* Jacq.) in communal areas, which may significantly affect biogeochemical processes. The stock of fine roots was evaluated in two cultivation of oil palm in agroforestry systems, with 4 year-old in the city of Tome Acu, Para, called adubadeira, biodiverse, characterized by low and high diversity of planted species, respectively. The fields of palm oil were compared with a fragment of secondary forest 13 years old located near the plantations. In August 2012, the stock of fine roots was assessed using the methods of (a) monolith at depths of 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm and 20-30 cm, and (b) borehole at a depth of 0-10 cm. The samples were taken with auger in places resulting from the combination of different directions (between plants, plant-carrier, agroforestry plant-system) and distances (0.6 m, 1.2 m, 2 m and 4 m) from a given individual palm oil. Processing of soil samples consisted of washing and manual separation of fine roots, which were dried in an oven and weighed. The stock of fine roots determined by the monolith method was higher in adubadeira system than in other systems and decreased with depth; no significant difference between biodiverse system and secondary forest. By using the borehole, the stock of fine roots varied significantly in relation to distance sampling on all systems, and the largest stocks occurred in the distance near the stipe, decreasing farther from the stipe the sampling site. In Spreaders system, the stock of fine roots was higher in the carrier between plants and palm oil. We conclude that different land uses can influence the stock of fine roots, which also varies spatially.

**Keywords.** Eastern Amazon, palm oil, secondary forest, soil, fine roots, spatial variability.

## 1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Agricultores familiares utilizam a técnica de derrubada e queimada da vegetação natural como forma de preparo de área. Essa técnica tem a vantagem de ser uma forma econômica de preparo da terra pelo efeito fertilizante da queimada e alcalinizante das cinzas (BREARLEY *et al.*, 2004). Embora sustentável sob baixa densidade demográfica e longos períodos de pousio, termo que designa o descanso ou repouso proporcionado às terras cultiváveis visando principalmente a recuperação da fertilidade do solo, a agricultura de derruba e queima entrou em uma fase de crise ambiental e socioeconômica em muitas regiões tropicais, particularmente no Estado do Pará, devido aos efeitos negativos da queima na sustentabilidade de agroecossistemas (MATOS *et al.*, 2012).

O uso do fogo, considerado como uma das mais antigas tecnologias incorporadas aos sistemas de produção agrícola é rápido, barato e eficaz, fazendo parte, inclusive, da cultura tradicional do agricultor. No entanto, atualmente o uso do fogo representa um risco à sustentabilidade dos sistemas de produção, causando geralmente efeitos negativos ao meio ambiente. As atividades antrópicas envolvendo a supressão da vegetação, retirada dos substratos e períodos curtos de pousio degradam os ecossistemas, com consequências irreversíveis para a sociedade. (GEHRING, 2006).

A procura por alternativas à agricultura de derruba e queima tem sido um foco da pesquisa científica e de ações governamentais no Brasil. Recentemente, o Governo Federal lançou, em alguns municípios do Estado do Pará, o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), cujos principais objetivos são garantir a fixação do agricultor no campo, diminuir os impactos ambientais promovidos pela derruba e queima das florestas e aumentar a produção de biocombustível no país (PNPB, 2008).

Lançado em janeiro de 2005, o PNPB estabeleceu, como um dos pilares básicos, o desenvolvimento dos municípios por meio da geração de emprego e renda, especialmente no campo, com a produção de matéria prima oleaginosa, como fator da diminuição das disparidades regionais. A palma de óleo (*Elaeis guineensis jacq*) é uma das oleaginosas mais plantadas no mundo. Sua produção anual mundial está em torno de 45,09 milhões de toneladas (KRUG *et al.*, 2013) e o Brasil participa com 0,6% desta produção, ou seja aproximadamente 260 mil toneladas (ABIOVE, 2013). Este óleo é amplamente utilizado como matéria prima nas indústrias alimentícias, de sabões, detergentes, medicamento e cosméticos (TRINDADE *et al.*, 2005).

O PNPB pretende aumentar a área plantada, com foco no cultivo de palma de óleo em áreas alteradas. A perspectiva da participação do óleo de palma no quadro do programa brasileiro de biodiesel abre possibilidades para a implantação de programas de agricultura familiar voltados para a produção do óleo de palma na Amazônia, conservação do meio ambiente e promoção do desenvolvimento regional, além de contribuir para a diversificação da matéria prima base da produção do biodiesel no Brasil (RAMALHO FILHO *et al.*, 2010).

O Estado do Pará concentra 90% da produção nacional do óleo de palma no Brasil (OLIVEIRA, 2011). A produção advém de uma área plantada com cerca de 140 mil hectares, tendo o Estado disponíveis 13,1 milhões de hectares para o plantio da palma de óleo (SAGRI.2013) Em sua grande maioria, o plantio de palma de óleo é realizado em monocultivo, utilizando as técnicas dos sistemas de produção convencionais.

O sistema convencional de produção de palma de óleo, normalmente, é incompatível com a realidade socioeconômica do produtor rural familiar da região amazônica, havendo necessidade de se investigar alternativas condizentes com a realidade regional. (MULLER *et al.* 2006, BERTHA K. BECKER, 2011). Os sistemas agrofloretais representam uma opção interessante e viável para pequenos produtores, principalmente por associarem culturas de ciclos diferentes (OLIVEIRA, 2009). Além disso, os sistemas agrofloretais apresentam um papel muito importante na fixação de carbono em sua biomassa (CASTANHO FILHO, 2008).

A introdução da palma de óleo como componente de sistemas agrofloretais pode representar uma forma viável para amenizar alguns problemas socioeconômicos nos municípios priorizados pelo Programa de Biodiesel a partir do óleo de palma. Essa proposta inovadora de se investigar sistemas agrofloretais os SAF's (sistemas agrofloretais) como alternativa ao monocultivo de palma de óleo é resultado da ação conjunta da Empresa Natura Inovação e Tecnologia de Produtos, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e Cooperativa Agrícola Mista de Tomé-Açu (CAMTA). Tal parceria resultou na implantação do "Projeto dendê: sistemas agrofloretais na agricultura familiar" (Projeto dendê) no município de Tomé-Açu (PA), que é um dos maiores pólos produtores de palma de óleo da região Norte do Brasil. (KATO, *et al* 2009).

A palma de óleo está sendo difundida como um componente na paisagem agrícola do município de Tomé-Açu. Diante disso é importante entender como o cultivo desta cultura perene afetará a dinâmica do carbono orgânico do solo, a longo prazo. O carbono orgânico do solo varia espacialmente e temporalmente em plantios de palma de óleo na Malásia (Law *et al.*, 2009). No Pará, Frazão (2012) também demonstrou que o estoque de carbono do solo varia em função do tempo de plantio, assim como em função do local dentro do plantio; o

estoque na área sob o empilhamento é maior do que no carreador e o estoque diminui com o aumento da distância em relação ao estipe da palma de óleo. Em ambos os estudos, os autores associaram a variabilidade espacial do estoque de carbono do solo à variabilidade espacial de raízes finas.

As raízes finas, aquelas com diâmetro menor ou igual a 2 mm, são estruturas das plantas que também contribuem para o aporte de carbono no solo (BLOCK *et al.*, 2006). Além disso, a dinâmica de raízes finas pode contribuir significativamente para a ciclagem biogeoquímica em ecossistemas florestais, incluindo a produção e a emissão de gases do efeito estufa (SILVER *et al.*, 2005). As raízes finas e os pêlos radiculares podem representar mais de 90 % da área superficial e do comprimento radicular total de uma planta (BRASIL, 2001). Outra característica importante das raízes finas é que são responsáveis por processos de absorção de água e exsudação de substâncias orgânicas que atuam na formação e estabilidade dos agregados no solo (WOHLENBERG *et al.*, 2004). O equilíbrio ecológico e a sustentabilidade das florestas são fatores influenciados pelo bom manejo dos sistemas radiculares das plantas (SANTOS *et al.* 2005).

## 2. PROBLEMA DE PESQUISA

Uma questão de pesquisa associada a expansão da palma de óleo é entender os impactos sobre a dinâmica do carbono do solo. Tendo em vista que o carbono orgânico do solo varia espacialmente em função do manejo e, provavelmente, da arquitetura do sistema radicular em plantios de palma de óleo, um melhor entendimento da dinâmica de carbono do solo deve considerar um sistema de amostragem que capture tal variação espacial. No entanto, há pouco conhecimento sobre a variabilidade espacial dos estoques de raízes finas em plantios de palma de óleo, especialmente em sistemas agroflorestais.

## 3. HIPÓTESES

**Hipótese 1:** A variabilidade espacial do estoque de raízes finas é influenciada pelo manejo e pela composição de espécies em cultivos de palma de óleo em sistemas agroflorestais.

**Hipótese 2:** O estoque de raízes finas diminui com a profundidade do solo em cultivos de palma de óleo em sistemas agroflorestais.

## 4. OBJETIVOS

### 4.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar o efeito de cultivos de palma de óleo em sistemas agroflorestais sobre a variabilidade espacial dos estoques de raízes finas.

### 4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

▶ Avaliar a variabilidade espacial no estoque de raízes finas em diferentes locais de cultivos de palma de óleo em sistemas agroflorestais.

▶ Avaliar a distribuição vertical da biomassa de raízes finas em cultivos de palma de óleo em sistemas agroflorestais e em uma floresta secundária.

## 5. REVISÃO DE LITERATURA

### 5.1. PALMA DE ÓLEO

Palmácea originária da África Ocidental, o dendê ou palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.), da família Arecaceae, chegou ao Brasil por meio do tráfico de escravos e conseguiu uma boa adaptação ao clima tropical úmido do litoral do Estado da Bahia (BASTOS, 2001).

A produção mundial de óleo de palma é cerca de 45,09 milhões de toneladas anuais (KRUG *et al.*, 2013). Três países (Malásia, Indonésia e Nigéria), para os quais a palma de óleo é importante tanto economicamente quanto socialmente, são responsáveis por cerca de 80% da área cultivada. O Brasil ocupa o 10º lugar no *ranking* mundial (FAO, 2012). A produção nacional comercial de palma de óleo anual é cerca de 260 mil toneladas de óleo de palma (ABIOVE, 2013). Os estados produtores são Amazonas, Bahia e Pará (SOUZA JÚNIOR, 2011), sendo que o último é responsável por 90% da produção nacional (OLIVEIRA, 2011), com 13,1 milhões de hectares aptos ao plantio de palma de óleo (SAGRI, 2013).

A importância econômica dessa cultura agrícola consiste principalmente na extração de óleo vegetal, seja do mesocarpo (óleo de palma ou óleo de dendê) ou da amêndoa (óleo de palmiste) (RODRIGUES *et al.*, 2014). Atualmente, o óleo da palma é utilizado em inúmeros produtos alimentícios e cosméticos da Europa, Japão e Estados Unidos, sendo um dos mais

consumidos do mundo. A utilização do óleo de palma tem diversas aplicações na indústria, desde frituras industriais, chocolates, massas, margarinas, cremes vegetais, biscoitos, sorvetes e cosméticos até detergentes, sabões e sabonetes (SUMATHI *et al.*, 2008).

O potencial de produção da palma de óleo é favorecido por condições de temperatura média entre 24 °C e 28 °C, com temperaturas máxima de 33 °C e mínima não inferior a 18 °C, luminosidade superior a 1.800 horas/ano em média de radiação solar e precipitação pluviométrica superior a 1.800 mm (BASTOS *et al.*, 2001).

A palma de óleo é uma cultura perene com produção contínua ao longo do ano e apresenta relativamente pouca sazonalidade de produção. Tem vida útil econômica superior a 25 anos e é a oleaginosa cultivada de maior produtividade mundial, com rendimentos superando 25 t /ha /ano de cachos (ROCHA, 2007).

A palma de óleo possui grande capacidade de fixação de carbono, alta eficiência na conversão energética e gera, também, subprodutos com uso energético (cascas, fibras e efluentes de usina de processamento de cachos) (LOPES *et al.*, 2008).

O estoque de carbono orgânico do solo pode variar significativamente espacial e temporalmente. Em plantios de palma de óleo na Malásia, Law *et al.* (2009) mostraram variabilidade espacial do carbono orgânico no solo associada ao manejo da cultura. No local de deposição das folhas podadas, o estoque de carbono foi maior, seguido da zona de capina próximo a planta e, por último, do local por onde transita o maquinário (carreador).

Estudos sobre emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) em pastagens e florestas de turfa mostraram que a substituição de áreas de pastagens degradadas por plantio convencional de palma de óleo pode promover a reabilitação do solo e diminuir as emissões de CO<sub>2</sub> devido a incorporação de matéria orgânica via decomposição do material de poda dessa cultura. Além disso, ocorre elevada fixação de carbono na biomassa da plantação, o que promove a conservação das florestas naturais e constitui uma alternativa de introdução de biodiesel na cadeia energética do país, gerando aumento de receita (SAUERBORN, *et al.*, 2008).

Recentemente, com base na modelagem de vários cenários de produção de óleo de palma no Pará em 30 anos, pode haver aumento nas emissões de CO<sub>2</sub> como resultado de mudança no uso da terra extrapolando áreas não desmatadas e da precária fiscalização da região (YUI *et al.*, 2013). Para promoção de políticas que encorajem o uso sustentável das terras desmatadas para produção do óleo de palma, o governo deve levar em consideração as emissões do óleo diesel causado pelo transporte da produção e aumentar a fiscalização em áreas próximas de florestas ambientalmente e ecologicamente sensíveis (YUI *et al.*, 2013).

O Brasil visa aumentar a produção de óleo de palma para atender a crescente demanda nacional e mundial por óleo comestível e biodiesel, preservando áreas importantes ambientalmente e culturalmente (PNPB, 2008). Diante disso, é necessário levar em consideração os problemas ambientais que essa cultura pode gerar com o manejo convencional de sua produção, que requer aplicações com altas concentrações de herbicidas, inseticidas, raticidas e adubações químicas. Todas essas práticas podem trazer contaminação aos rios, solos e aos próprios agricultores, além do desmatamento da floresta nativa para implantação dos plantios de palma de óleo.

A produção de óleo de palma em grandes escalas comerciais requer muitos investimentos e extensas áreas de plantios, além de estudos detalhados prévios sobre possíveis problemas sociais, econômicos e ambientais que podem surgir quando a produção de óleo de palma é mal manejada. O governo brasileiro, por meio do Programa de Biodiesel, tem incentivado agricultores familiares a produzir óleo de palma. No entanto, não é mostrada a gama de desafios que esses produtores terão de enfrentar para conseguir lucros com a produção; tais desafios vão desde a obtenção de certificação de produtos sustentáveis e créditos bancários extras para solucionar vários problemas que poderão surgir, como o aparecimento de pragas e doenças no plantio. Além disso, existem os riscos ambientais que possivelmente podem ocorrer, visto que não há garantias que serão utilizadas realmente áreas desmatadas, o que coloca em perigo as áreas de florestas nativas (BECKER, 2011).

No entanto, estudos recentes mostram que os impactos sociais, econômicos e ambientais para a produção de biocombustível na Amazônia variam entre as culturas, sendo que são mais elevados para a produção de etanol e biodiesel de soja (*Glycine max*) do que para a produção de biodiesel de óleo de palma (LAPOLA *et al.*, 2010).

A expansão da palma de óleo nas áreas desmatadas da Amazônia é uma alternativa para ampliação e diversificação da matriz energética brasileira, colocando o País em posição de destaque no cenário internacional. Visto que o Brasil é um dos maiores produtores mundiais e que as principais empresas produtoras de óleo de palma estão localizadas na Amazônia, deve-se levar em consideração que as preocupações ambientais tornam-se mais evidentes no sentido de proteção das florestas nativas amazônicas. Sendo assim, a implantação do agronegócio da palma de óleo deve ser visto com cautela, ainda que este país possua a maior área de produção sustentável de palma de óleo da América Latina, de acordo com a *Roundtable on Sustainable Palm Oil* (RSPO, 2011). Aproximadamente 10,5% da produção mundial de palma de óleo, cerca de um milhão de hectares, são certificados com selo de

produção sustentável (RSPO, 2011), sendo que essa produção é insuficiente para suprir a demanda do produto no mercado.

Diante de todo o cenário de expansão do cultivo da palma de óleo, há necessidades de alternativas para produção sustentável de palma de óleo, sendo os sistemas agroflorestais apontados como possíveis soluções para amenizar problemas econômicos e ambientais desse cultivo (BHAGWAT & WILLIS, 2008).

## 5.2. SISTEMAS AGROFLORESTAIS (SAF)

Os sistemas agroflorestais (SAF's) são uma combinação integrada de árvores, arbustos, cultivos agrícolas e/ou animais na mesma área, de maneira simultânea ou seqüencial, que buscam a otimização da agregação de valores socioeconômico-culturais e ambientais, com potencial para constituírem uma modalidade sustentável de uso e manejo dos recursos naturais (BERNARDES, 2008). Em sistemas agroflorestais, há um melhor aproveitamento dos diferentes estratos da vegetação, resultando geralmente em maior diversificação de produção, uso da terra, mão de obra, renda e provisão de serviços ambientais (SANTOS, 2000). Embora esses sistemas apresentem várias vantagens em relação ao monocultivo, poucos são os trabalhos que as comprovam, especialmente no campo (LUIZÃO *et al.*, 2006).

Sistemas agroflorestais são alternativas para amenizar diversos problemas ambientais, dentre os quais estão o desmatamento, a redução nos estoques de carbono do ecossistema, a redução na qualidade de água, a degradação do solo, e a redução da biodiversidade dos sistemas produtivos (RIBASKI & MONTROYA, 2000).

Nos SAF's, as árvores também têm o potencial de melhorar os solos por diferentes processos. Em síntese, elas podem influenciar na quantidade e disponibilidade de nutrientes dentro da zona de atuação do sistema radicular das culturas consorciadas, principalmente pela possibilidade de recuperar nutrientes abaixo do sistema radicular das culturas agrícolas e pastagens e reduzir as perdas por lixiviação e erosão. As raízes profundas das árvores podem interceptar os nutrientes que são lixiviados das camadas superficiais e disponibilizá-los novamente às culturas pela decomposição da serrapilheira. Dessa maneira, a ciclagem de nutrientes minerais, em termos de sustentabilidade, é maior nos sistemas agroflorestais (LUIZÃO, 2007).

Outra alteração causada pela presença das árvores nos SAF's diz respeito à temperatura do solo que, normalmente, é menor no interior da floresta (RIGHI, *et al.* 2005). A modificação do microclima, na presença do componente arbóreo, repercute sobre o balanço

hídrico do solo, contribuindo para a elevação da umidade disponível para as plantas sob a copa das árvores e diminuição de temperatura (PEZZOPANE *et al.*, 2005). O maior teor de umidade no solo favorece a atividade microbiana, resultando em aceleração da decomposição da matéria orgânica e possibilitando o aumento da sua mineralização (SANTIAGO, 2013).

Diversas espécies vegetais podem ser usadas em sistemas agroflorestais, desde que o manejo seja capaz de reduzir a competição entre as espécies por luz e outros recursos. Além disso, o manejo do solo deve evitar prejuízos ao sistema radicular das espécies plantadas. É o caso do consórcio da palma de óleo com culturas alimentares que preferencialmente deve ser realizada na fase jovem, ou seja, até o final da fase improdutiva da cultura do óleo de palma (CORDEIRO *et al* 2009).

Rocha (2007), avaliando diferentes sistemas intercalares com dendê no Amazonas, concluiu que, dentre os sistemas analisados, o dendê (*Elaeis guinensis.jacq*) x abacaxi (*Ananas comosus*) apresentou melhor desempenho, proporcionando amortização de 100% dos custos de implantação e manutenção do sistema no período de três anos, enquanto os sistemas dendê x banana (*Musa.sp.*) e dendê x macaxeira (*Manihot utilissima*) amortizaram 86,7% e 64,5%, respectivamente. De modo geral, as culturas intercalares contribuíram significativamente para melhoria da fertilidade do solo e do crescimento do dendezeiro.

Os sistemas agroflorestais têm boas perspectivas para atender a produção sustentável de dendê, além de ser uma oportunidade para integrar a produção com a conservação da biodiversidade. Desta forma, podem tornar-se uma importante alternativa econômica com benefícios ambientais e sociais.

### 5.3. AGRICULTURA FAMILIAR

Entende-se por agricultura familiar toda atividade econômica no meio rural e que atende a requisitos básicos, tais como não possuir propriedade rural maior que 4 módulos fiscais, sendo que módulos fiscais são uma área mínima necessária a uma propriedade rural para que sua exploração seja economicamente viável. Outro requisito é utilizar predominantemente mão de obra da própria família nas atividades econômicas da propriedade e possuir a maior parte da renda proveniente das atividades agropecuárias desenvolvidas no estabelecimento rural (ABREU, 2005).

No cenário brasileiro, segundo censo 2006, a agricultura familiar é responsável por grande parte da produção de alimento no país, gerando em média 38% da receita dos estabelecimentos agropecuários do país e empregando aproximadamente 74% dos

trabalhadores agropecuários do Brasil (IBGE, Censo Agropecuário 1995/2006). O principal programa de incentivo à agricultura familiar Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF), é responsável por financiar projetos ao pequeno produtor rural, com baixas taxas de juros.

O setor agropecuário da agricultura familiar é sempre lembrado por sua importância na absorção de emprego e na produção de alimentos, especialmente voltada para o autoconsumo, ou seja, focaliza-se mais nas funções de caráter sociais do que as econômicas, tendo em vista sua menor produtividade e incorporação tecnológica. (GUILHOTO *et al.*, 2006).

Há um confronto entre os interesses da agricultura familiar e os grandes latifundiários no que tange as políticas públicas, os recursos financeiros e naturais e as relações sociais de produção (SABOURIN, 2007). Considerando a importância da agricultura familiar e dos grandes latifundiários no contexto nacional e mundial, cabe ao Estado adotar modelos de desenvolvimento sustentáveis, para ambas as classes no sentido de ter o papel de regulador democrático e tentar minimizar esses conflitos.

No Estado do Pará, a principal atividade familiar é a fruticultura, seguida da produção de mandioca, arroz e feijão, sendo que os agricultores familiares em sua grande maioria utilizam a derruba e queima como forma de limpeza de área (SAGRI, 2013). A queima da vegetação pode disponibilizar por meio das cinzas os nutrientes acumulados na biomassa durante a etapa de regeneração da vegetação secundária, mantendo a fertilidade do solo adequada para cultivo, além de prover um rústico controle fitossanitário por meio da queima (BONFIM *et al.* 2003).

A derruba e a queima da floresta nativa é uma técnica economicamente viável para agricultores familiares, por não exigir alto investimento financeiro. No entanto, a maior preocupação está nos problemas ambientais causados por essa técnica, dentre eles o descontrole do fogo, que pode causar incêndios de grandes proporções em florestas (FIEDLER; *et al.* , 2006).

#### 5.4 SISTEMA DE CORTE E TRITURAÇÃO DA FLORESTA SECUNDÁRIA NA AMAZÔNIA

O sistema de corte e trituração da floresta secundária é uma técnica de preparo de área para o plantio alternativa ao sistema tradicional de derrubada e queimada. A trituração pode ser feita manualmente ou mecanicamente por tratores adaptados com máquinas de trituração

de florestas. O material triturado é depositado sobre o solo, formando uma cobertura morta (“mulch”).

A trituração reduz a infestação por plantas invasoras e influencia o microclima do solo, diminuindo a temperatura (KATO *et al.*, 2003). Além disso, diminui a emissão de carbono para atmosfera e melhora a qualidade do solo pelo aumento do estoque de carbono orgânico no solo (KATO *et al.*, 2006b). Promove a conservação da biodiversidade e diminui a lixiviação dos nutrientes do solo, além de melhorar a dinâmica das águas subterrâneas, promovendo a manutenção da qualidade de rios e igarapés (WICKEL, 2004).

A técnica de trituração da floresta secundária pode substituir a queima. No sistema de corte e trituração da vegetação secundária o balanço de nutrientes do solo é positivo promovendo a recuperação gradual do solo (SOMMER, *et al.*, 2004). O sistema de raízes da vegetação secundária também contribui de forma positiva, visto que desempenha um papel relevante no balanço de nutrientes, reciclando nutrientes das camadas mais profundas do solo para a superfície (WICKEL, 2002).

O sistema de corte e trituração permite que o trabalhador cultive em vários períodos do ano, favorecendo o uso mais adequado da terra e, conseqüentemente, diminuindo a pressão para a expansão agrícola sobre novas áreas de florestas. A desvantagem apresentada é o alto custo do maquinário visto que a máquina comercial é importada. No entanto, existem protótipos similares que podem ser viabilizados por cooperativas para uso coletivo entre os produtores (SAMPAIO *et al.*, 2008).

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) apresentou resultados mostrando que o grande responsável pelo aumento acelerado do efeito estufa o aumento da emissão de gases, principalmente de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), liberado pela queima de combustíveis fósseis, como o petróleo e o carvão e por incêndios nas florestas (IPCC, 2012). Em busca de alternativas ao uso do fogo na agricultura visando a diminuir as emissões de gases, a trituração da floresta secundária pode ser uma alternativa a ser considerada.

## 5.5 RAÍZES FINAS

As radículas são as primeiras estruturas a surgir das sementes em germinação; tem como finalidade a fixação do vegetal no solo e a absorção de água. Essas estruturas se ramificam formando um complexo conjunto de raízes denominado de sistema radicular, ampliando, desta forma, a base de fixação e absorção de substâncias químicas indispensáveis ao metabolismo dos vegetais (BINKLEY *et al.*, 2004). As raízes promovem a interação entre

o solo e a parte aérea, absorvendo água e nutrientes essenciais ao crescimento do vegetal, auxiliam na retenção do solo contra a ação da erosão, aumentam a capacidade de infiltração de água no solo, fornecem exsudados para os microorganismos e participam ativamente do processo pedogenético (BERTONI; NETO, 2005). O entendimento da configuração do sistema radicular é imprescindível como fonte de subsídios para explicar os processos fisiológicos das plantas, sobretudo os relacionados a nutrição mineral e balanço hídrico dos vegetais. (GONCALVES; MELLO, 2005).

As raízes são classificadas segundo três classes de diâmetro, como descrito a seguir: raízes muito finas ( $\emptyset$  inferior a 0,5 mm), raízes finas ( $> 0,5 \emptyset < 2,0$  mm) e raízes grossas ( $\emptyset > 2,0$  mm). A definição destas classes foi baseada no critério de classificação de raízes proposto por BOHM (1979). No entanto não existe um consenso na literatura em relação aos diâmetros das raízes para considerá-las como finas ou muito finas. Segundo Tierney & Fahey (2001), raízes finas são aquelas de diâmetro inferior a 1 mm, enquanto, para Joslin *et al.* (2006), são consideradas finas as raízes com diâmetro inferior a 2 mm.

As raízes finas possuem características morfológicas não lenhosas e são as principais responsáveis pela absorção de água e nutrientes para as plantas (GRACE *et al.*, 2001). A dinâmica de raízes finas pode contribuir significativamente para a ciclagem biogeoquímica em ecossistemas florestais (SILVER *et al.*, 2005), além de representar uma grande proporção da produtividade primária líquida em florestas tropicais. (CUERVAS *et al.*, 1991). Entretanto, estudos sobre raízes finas, sobretudo nas regiões tropicais, não são muito freqüentes, mesmo sabendo-se a importância dessas classes de raízes para os processos biogeoquímicos das florestas.

Os estudos que ajudam a elucidar as características dos sistemas radiculares das plantas, principalmente as raízes finas, são de grande importância. O conhecimento sobre a quantidade, a distribuição e a interação com o solo dessas raízes pode fornecer informações para as tomadas de decisões sobre as práticas de manejo da planta e do solo, como adubação química e irrigação no local de maior incidência dessas raízes, aumentando a eficiência do manejo.

Segundo Magalhães e Blum (2000), os sistemas radiculares podem ser caracterizados sob dois aspectos. O primeiro se refere ao hábito radicular, à sua arquitetura, que está relacionada à forma, direção e distribuição das raízes maiores; o segundo, à quantidade de produção de raízes finas, que está relacionada a absorção de água e nutrientes. São vários os fatores que influenciam a produção de raízes finas; dentre eles estão a disponibilidade de nutrientes e água no solo (Ostertag, 2001), tipo de vegetação e composição de espécies,

histórico do tipo de uso da terra e condições físico-químicas do solo (CATTANIO *et al.*, 2004).

A distribuição das raízes no solo resulta de uma série de processos complexos e dinâmicos, que incluem as interações entre o ambiente, o solo e as plantas em pleno crescimento. Segundo Larcher (2000), o arranjo radicular das plantas dependem em primeiro lugar do tipo do sistema radicular e variam no decorrer do ano, devendo-se ressaltar que a proliferação ocorre na primavera ou na época de chuvas e a morte e diminuição, no final do período de crescimento.

A dinâmica das raízes finas pode ser influenciada pela textura do solo, que pode ser considerada um bom indicador de condições microambientais como quantidade de água no solo, nutrientes e aeração do solo. Além disso, a textura do solo está relacionada com processo de decomposição das raízes finas, visto que em solos argilosos a decomposição é maior do que em solos arenosos (SILVER, *et al.*, 2005).

Nas camadas mais superficiais dos solos, em que as condições físicas são mais favoráveis, especialmente pelo acúmulo de matéria orgânica e uma maior atividade microbiana, a densidade de raízes finas é maior. A densidade de raízes finas tende a diminuir com a profundidade no perfil do solo, mas o diâmetro radicular aumenta, visto que é necessário adquirir mais resistência para planta em função do aumento na densidade do solo em profundidade (TAPIA-CORAL, *et al.*, 2005).

A alta biomassa de raízes finas é um aspecto comum às florestas tropicais, geralmente ocorrendo como um emaranhado de raízes sobre a superfície do solo (raízes apogeotropicas) ou concentradas nos 20 cm iniciais dos solos minerais. As raízes finas constituem mais que 50% do total de carbono encontrado nos primeiros 10 cm de solos sob florestas na Amazônia Oriental (TELLES *et al.*, 2003).

Segundo Ferwerda (1975), as raízes da palma de óleo são cilíndricas, distribuídas subterraneamente e do tipo fasciculada. Podem ocorrer raízes aéreas ou secundárias. O sistema radicular é constituído de 8.000 a 100.000 raízes adventícias primárias, com 4 a 10 mm de diâmetro, emergindo principalmente da base do caule. A maioria das raízes é encontrada na faixa de 20 a 60 cm de profundidade, próximo à planta.

Mais da metade (52%) do comprimento total de raízes do dendê localiza-se nos primeiros 20 cm de solo. Aproximadamente 80% estão até 40 cm de profundidade, indicando a profundidade efetiva para controle de irrigação e camada de solo para instalação de tensiômetros. Entre 70 e 75% do comprimento de raízes localizam-se até 1,5 m a partir do tronco, indicando a faixa adequada de aplicação de adubações. (NUNES *et al.*, 2009).

## 5.6 ESTOQUES DE RAÍZES FINAS

Os estoques de carbono abaixo do solo estão diretamente ligados ao estoque e a dinâmica das raízes finas (SOMMER, *et al.*, 2000). A competição por nutrientes e água também influencia no estoque de raízes finas (SILVER, *et al.*, 2005). O bombeamento de nutrientes lixiviados para o subsolo é outro fator que pode induzir o aumento no estoque das raízes finas no perfil do solo (SOMMER *et al.*, 2004).

A composição da parte aérea dos vegetais já foi bastante estudada, porém estudos similares sobre sistemas radiculares são escassos. Essa discrepância se deve ao considerável custo de trabalho e por sérios problemas metodológicos envolvidos na quantificação de raízes (SOMMER *et al.*, 2000; LIMA, 2008).

Os estudos sobre estoques de raízes são muito importantes. A densidade de raízes finas no solo constitui um dos principais meios para avaliar se os recursos do solo como água e nutrientes estão em níveis satisfatórios para um bom desenvolvimento das plantas (FREITAS *et al.*, 2008).

No entanto, é necessária melhoria na precisão das estimativas da biomassa radicular, que geralmente é muito variável por razões metodológicas. Dentre as inúmeras contribuições que o conhecimento do estoque das raízes no solo pode gerar, cita-se a grande contribuição das raízes na respiração do solo, pois as raízes são responsáveis por pelo menos a metade do CO<sub>2</sub> que é liberado (GOWER, 2003).

A maior densidade de raízes finas no solo influencia no aumento da capacidade da planta em explorar o solo e aproveitar os nutrientes e a água disponíveis (MEDINA, *et al.*, 2002). Um maior estoque de raízes finas aumenta a superfície de contato das raízes com o solo, melhorando a absorção dos recursos do solo e favorecendo o crescimento da planta (FLOSS, 2004).

## 5.7 AMOSTRAGEM DE RAÍZES

Os métodos de amostragens destrutivas são indicados para as pesquisas sobre o desenvolvimento radicular, sendo os mais usados aqueles que empregam escavação ou tradagem. De todos os métodos utilizados, o melhor é aquele que atende os objetivos do trabalho, sendo importante não apenas a familiaridade com a técnica, mas o conhecimento do tempo necessário para se obterem os dados pretendidos. Portanto, avaliar a distribuição das raízes de uma cultura, independentemente do método utilizado, é atividade difícil e grandes

empecilhos são enfrentados, como o tempo gasto, pouca informação alcançada e a grande variabilidade dos resultados (BOHM, 1979).

O estudo das raízes não é uma tarefa fácil. Existe muita variabilidade decorrente de fatores físicos, químicos e biológicos do solo que proporcionam uma grande influência na distribuição das raízes, podendo levar a obtenção de resultados não condizentes com a realidade (VASCONCELOS *et al.*, 2003).

O método de escavação de monólitos é considerado, por muitos pesquisadores, como método padrão, sendo o mais exato nas estimativas da quantidade de raízes. No entanto, os problemas mais comuns observados com esse método são de natureza metodológica (SMIT *et al.*, 2000). O método do monólito é muito útil em estudos sobre morfologia e distribuição de raízes finas no perfil do solo, além de permitir a avaliação de raízes por classe de diâmetro, mas demanda muita mão de obra, o que geralmente dificulta a pesquisa (BOHM, 1979).

O método de extração com trado tem ampla aceitação nas pesquisas, pois permite obter um elevado número de repetições com investimentos de trabalho e tempo menores do que nos outros métodos. Dessa forma, o método com trado proporciona uma vantagem em termos estatísticos, bem como diminui a perturbação aos sistemas investigados, sobretudo quando a pesquisa requer várias repetições. No entanto, segundo Böhm (1979), este método apresenta alguns problemas, que estão relacionados ao diâmetro reduzido do trado (em geral 5,0 cm), resultando em amostragem de baixas quantidades de raízes, o que exige aumento do número de repetições. Além disso, esse método possui algumas limitações com relação ao tipo de solo, como os solos argilosos e pedregosos, a coleta de amostras em grandes profundidades (BOHM, 1979).

Trabalhando com trado de diferentes tamanhos para a extração de massa de solo para verificar a densidade de raízes da palmeira ruderal babaçu (*Attalea speciosa* mart.) (SOUZA *et al.*, 2010) concluíram que o trado pequeno de 10 cm de altura e 5 cm de diâmetro superestimaram o estoque de raízes finas.

O princípio de separação das raízes por lavagem é a base de todos os métodos de avaliação da biomassa de raízes em condição de campo (BÖHM, 1979). No entanto, é praticamente impossível em condições de campo ou mesmo em laboratório evitar perdas de raízes na etapa de lavagem, principalmente as muito finas, o que pode gerar algumas fontes de erros (OLIVEIRA *et al.* 2000). No entanto, a melhor solução possível para a minimização dos erros associados a recuperação, limpeza e classificação de raízes consiste na rigorosa padronização de todas as fases e o emprego de uma mesma equipe de operadores treinados no uso dos mesmos critérios de trabalho. (OLIVEIRA *et al.* 2000).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIOVE, Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais. Informativo digital sobre tema da cadeia produtiva de oleaginosas. Óleo de palma e derivados, no Pará, gera inclusão social, 2103.

ABREU, L. S. A Construção da Relação Social com o Meio Ambiente entre Agricultores Familiares da Mata Atlântica Brasileira, **EMBRAPA**, 176 p. 2005.

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

BASTOS, T. X.; MULLER, A.A. PACHECO, N.A; SAMPAIO,N.M; ASSAD,E.D.; MARQUES, A.F.S . Zoneamento de riscos climáticos para a cultura do dendezeiro no estado do Pará. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, V..9, n.3, P.564-570, 2001.

BERNARDES, M. S.. Sistemas Agroflorestais. In: XXXIII SECITAP. Jaboticabal: UNESP, 2008.

BERTHA K. BECKER, Recuperação de áreas desflorestadas da Amazônia: será pertinente o cultivo da palma de óleo (Dendê), 2011.

BERTONI, J.; NETO, F.L. Conservação do Solo. 5. ed. Sao Paulo: Icone, 2005.355 p.

BHAGWAT, S. A.; WILLIS, K. Agroforestry as a solution to the oil-palm debate **Conservation Biology**, v. 22, p. 1368–1370, 2008.

BINKLEY, D.; STAPE, J.L.; RYAN, M.G.T. Thinking about efficiency of resource use in forests. **Forest Ecology and Management**, v. 193,p. 5-16, 2004.

BLOCK, R. M. A.; VAN REES, K. C. J.; KNIGHT, J. D. A review of fine root dynamics in *Populus* plantations. **Agroforestry Systems**, v. 67, p. 73- 84, 2006.

BONFIM, V. R. et al. Diagnóstico do uso do fogo no entorno do Parque Estadual da Serra do Brigadeiro (PESB), MG. **Revista Árvore**. v.27, n.1, p.87-94, 2003.

BRASIL, F.C. Estudos de características radiculares de uma pastagem de *Brachiaria humidicola* com auxílio de análise digital de imagens. 2001, 106f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2001.

CARVALHO, W. R. Estoque de carbono e fracionamento físico da matéria orgânica do solo de cultivo de palma de óleo em sistemas agroflorestais na Amazônia Oriental. 2011. 75 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2011.

CASTANHO FILHO, E. P. Floresta e bioenergia. *Informações Econômicas*, **IEA** v. 38, n.2: p.52-67. 2008.

CATTANIO, J.H.; ANDERSON, A. B.; ROMBOLD, J. S.; NEPSTAD, D. C. Phenology, litterfall, growth, and root biomass in a tidal floodplain forest in the Amazon estuary. **Revista Brasileira de Botânica**. V.27, (4), p.703-712, 2004.

COSTA, J. R.; MITJA, D. Uso dos recursos vegetais por agricultores familiares de Manacapuru (AM). **Acta Amazonica**, v. 40, p. 49 – 58, 2010.

CORDEIRO, A. C. C.; MACIEL, F.C.S.;ALVES.A.B. Informações Técnicas para a Implantação de Lavoura de Dendê em Roraima. **Embrapa Roraima Documentos** 25. 15p. Boa Vista. 2009.

CUEVAS, E.; BROWN, S. & LUGO, A.E.. Aboveand belowground organic matter storage and production in a tropical pine plantation and a paired broadleaf secondary forest. **Plant and Soil**, v. 135, p. 257-268, 1991.

EMBRAPA. (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 212 p. 1997.

FERWERDA, J.D. Ecophysiology of the african oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). In: ALVIM, P. de T. Ecophysiology of tropical crops. **CEPLAC**, Vol. 11, n. p. 1975.

FIEDLER, N. C.; RODRIGUES, T. O.; MEDEIROS, M. B. de; Avaliação das condições de trabalho, treinamento, saúde e segurança de brigadistas de combate a incêndios florestais em Unidades de Conservação do Distrito Federal – estudo de caso. **Revista Árvore**. v. 30, n.1, p.55-63, 2006.

FLOSS, E.L. Fisiologia das plantas cultivadas: o estudo que está por trás do que se vê. **UPF**. 536p. 2004.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. FAOSTAT Online Statistical Service. Disponível em: <<http://faostat.fao.org>>. Acesso em 01 de abril de 2012.

FRAZÃO, Leidivan Almeida. Greenhouse gas emissions and soil carbon dynamics in the Brazilian oil palm production / Leidivan Almeida Frazão. -Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2012.

FREITAS, T.A.S.; BARROSO, D.G.; CARNEIRO, J.G. de. A Dinâmica de raízes de espécies arbóreas: visão da literatura. **Ciência Florestal**, v.18, n.1, p.133-142, 2008.

GEHRING, C. O ambiente do trópico úmido e o manejo sustentável dos agroecossistemas. IN: MOURA, E.G. & AGUIAR, A.C.F. (Ed.). O desenvolvimento rural como forma ampliação dos direitos no campo: **Princípios e tecnologias**. 1º Ed. **Série Agroecologia-UEMA**. v. II, cap. 6. p. 101-129. 2006.

GONÇALVES, J. L. DE M.; MELLO, S. L. DE M. O sistema radicular das árvores. In: GONÇALVES, J. L. DE M ; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. p. 219-267. 2005.

GOWER, S.T.. Patterns and mechanisms of the forest carbon cycle. **Annual Review Of Environment and Resources**. v. 28. p.169-204.2003.

GRACE, J.; MALHI, Y.; HIGUCHI, N. & MEIR, P. Productivity of tropical rain forests. In: ROY, J.; SAUGIER, B. & MOONEY, H.A. (Eds.) **Terrestrial global productivity**, p.401-426. 2001.

GUILHOTO, J. J. M. SILVEIRA, F.G.; ICHIHARA, S.M.; AZZONI, C.R.. A importância do agronegócio familiar no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 44, n. 3, p. 355-382, 2006.

IPCC: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp. 2012.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>

JAMA, B.; PALM, C. A.; BURESH, R. J.; NIANG, A.; GASHENGO, C.; NZIGUHEBA, G.; AMADALO, B. *Tithonia diversifolia* as a green manure for soil fertility improvement in Western Kenya: a review. **Agroforestry Systems**, v. 49, p. 201-201, 2000.

JOSLIN, J. D.; GAUDINSKI, J. B.; TORN, M. S.; RILEY, W. J.; HANSON, P. J. Fine-root turnover patterns and their relationship to root diameter and soil depth in a <sup>14</sup>C-labeled hardwood forest. **New Phytologist**. V. 172, p. 523–535, 2006.

KATO, O. R.; KATO, M. S. A.; VIELHAUER, K.; BLOCK, A.; DE JESUS, C. C. Cultivo do milho em sistema de corte e trituração da capoeira na região nordeste do Pará: efeito da época do preparo de área. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, (**Boletim de Pesquisa** 19). 2003.

KATO, M.S.A.; SÁ, T.D.de A. & FIGUEIREDO, R. Plantio direto na capoeira. **Ciência e Ambiente**, v.29,p.99-111, 2006b.

KATO, O.R.; LUNZ, A.M.; BISPO, C.J.C.; CARVALHO, C.J.R.; MIRANDA, I.S.; TAKAMATSU, J.A.; MAUES, M.M.; GERHARD, P.; AZEVEDO, R.; VASCONCELOS, S.S.; HONHWALD, S.; LEMOS, W.P.. Projeto dendê: sistemas agroflorestais na agricultura familiar. In: Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais, 2009, Luziânia. VII Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais. Luziânia: Sociedade Brasileira de Sistemas Agroflorestais, 2009.

KRUG, C.; BITTENCOURT, D. M. C.; BARCELOS, E.; RODRIGUES, M. R. L.; ANGELO, P. C. S.; ROCHA, R. N. C.; CUNHA, R. N. V.; QUISEN, R. C.; LOPES, R.; RIOS, S. A.; LIMA, W. A. A. Plano estratégico da Embrapa Amazônia Ocidental para a cultura do dendezeiro. Embrapa Amazônia Ocidental. Documentos; 102. 1ª ed., 2013.

LARCHER, W. Ecofisiologia vegetal. **Rima Artes e Textos**. 531 p. 2000.

LAPOLA, D. M.; SCHALDACH.; ALCAMO J.; BONDEAU A.; KOCH J.; KOELKING, C.; and PRIESS, J. A. Indirect land-use changes can overcome carbon savings from biofuels in Brazil. **Proceedings Of The National Academy of Sciences**. . V.107 3388–93, 2010.

LAW, M. C.; BALASUDRAM, S. K.; HUSNI, M. H. H.; AHMED, O. H.; HARUM, M. H. Spatial variability of soil organic carbon in oil palm. **Int. J. Soil**, 4(4):93-103, 2009.

LOPES, R.; CUNHA, R. N. V. DA; RESENDE, M. D. V. DE. Produção de cachos e parâmetros genéticos de híbridos de caiaué com dendezeiro. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.47, p.1496-1503, 2012.

LUIZÃO, F. J., TAPIA-CORAL, S., GALLARDO-ORDINOLA, J., SILVA, G. C., LUIZÃO, R. C., TRUJILLO-CABRERA, L., WANDELLI, E., & FERNANDES, E. C. M. Ciclos biogeoquímicos em agroflorestas da Amazônia. Pp. 87-100. in GAMA-RODRIGUES, A. C. D., BARROS, N. F. D., GAMARODRIGUES, E. F. D., FREITAS, M. S. M., VIANA, A. P., JASMIN, J. M., MARCIANO, C. R., & CARNEIRO, J. G. D. A. (ed.). Sistemas agroflorestais: bases científicas para o desenvolvimento sustentável. **Embrapa Informação Tecnológica**. 2006.

LUIZÃO, F. J. Ciclos de nutrientes na Amazônia: respostas às mudanças ambientais e climáticas. **Ciência e Cultura** V.59 p.31-36. 2007.

MAGALHÃES, L. M. S.; BLUM, W. E. H. distribuição radicular de espécies florestais plantadas na região de Manaus, Amazônia. *Floresta e Ambiente*, **Seropédica**, v. 7, n. 1, p. 93-103, 2000.

MATOS, F. O.; Castro, R. M. da S.; Ruivo, M. de L. P.; Moura, Q. L. de M. Teores de nutrientes do solo sob sistema agroflorestal manejado com e sem queima no estado do Pará. **Floresta e Ambiente**, v.19, p.257-266, 2012.

MEDINA, C. C.; NEVES, C.S.V.J.; FONSECA, I.C.B.; TORRETI, A.F. Crescimento radicular e produtividade de cana-de-açúcar em função de doses de vinhaça em fertirrigação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.23, n.2, p.179-184, 2002.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. Anuário estatístico da agroenergia 2010. Disponível em <[http://www.agricultura.gov.br/arq\\_editor/file/Desenvolvimento\\_Sustentavel/Agroenergia/anuario\\_agroenergia/index.html](http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Desenvolvimento_Sustentavel/Agroenergia/anuario_agroenergia/index.html)>. Acesso em 01 de abril de 2012 a.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO MAPA. Programa de Produção Sustentável de Óleo de Palma no Brasil. Disponível em <[www.agricultura.gov.br/arq.../file.../Palma\\_de\\_oleo.../Programa.pdf](http://www.agricultura.gov.br/arq.../file.../Palma_de_oleo.../Programa.pdf)>. Acessado em 01 de abril de 2012 b.

MULLER, A. A. A Embrapa Amazônia Oriental e o agronegócio do dendê no Pará / Antonio Agostinho Müller, José Furlan Júnior, Pedro Celestino Filho. Embrapa Amazônia Oriental, 2006.

OLIVEIRA, M.R.G.; VAN NOORDWIJK, M.; GAZE, S.R.; BROUWER, G.; BONA, S.; MOSCA, G.; HAIRIAH, K. Auger sampling, ingrowth cores and pinboard methods. In: SMIT, A.L.; BENGOUGH, A.G.; ENGELS, C.; VAN NOORDWIJK, M.; PELLERIN, S.; VAN DE GEIJN, S.C. (Eds) *Root methods: a handbook*. **Springer-Verlag**, p.176-206. 2000.

OLIVEIRA, T. K. Caracterização, Índices Técnicos e Indicadores de Viabilidade Financeira de Consórcios Agroflorestais. 2009. 82f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 2009.

OLIVEIRA, M. E. C. A agroindústria do dendê na Amazônia: Expansão acelerada e o dilema da modernização tecnológica. in: Durães, F. O. M. Palmas para o dendê. Agroenergia em Revista. **Embrapa Agroenergia**. v. 2; p. 18; 2011.

OSTERTAG, R. Effects of nitrogen and phosphorus availability on fine-root dynamics in Hawaiian montane forests. **Ecology**. V. 82 (2), p. 485–499, 2001.

PEZZOPANE JRM, Pedro Junior MJ & Gallo PB) Radiação solar e saldo de radiação em cultivo de café a pleno sol e consorciado com banana . **Bragantia**, V.64: P.485-497. 2005.

PNPB - Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel: Governo do Brasil. Objetivos e Diretrizes. in: Biodiesel: O novo Combustível do Brasil. Brasília/DF. Disponível em: <http://www.biodiesel.gov.br/programa.html#seccaoObjetivos> . Acesso em 20/09/2008.

RAMALHO FILHO, A.; MOTTA, P. E. F.; NAIME, U. E. et al. Zoneamento agroecológico do dendezeiro para as áreas desmatadas da Amazônia Legal. **Embrapa Solos**, p.57-68. 2010.

RIBASKI, J., MONTOYA, L. J., RODIGHIERI, H. R. Sistemas Agroflorestais: aspectos ambientais e sócio-econômicos **EMBRAPA-FLORESTA**, P.10, 2002.

RIGHI, C. A.; BERNARDES, M.S.; LUNZ, A.M.P.; MORAES, S.O; LIER, Q.J. V.Variação Diária da Temperatura do Solo em um Sistema Agroflorestal de Cafeeiro (*Coffea arabica* L.) COM SERINGUEIRAS (*Hevea brasiliensis* MÜELL. ARG.).Simpósio de pesquisa dos cafés do Brasil. Embrapa Café,2005.

ROCHA, R. N. C. Culturas Intercalares para Sustentabilidade da Produção de Dendê na Agricultura Familiar. Viçosa, MG. Universidade Federal de Viçosa. 75p. 2007. (Tese de Doutorado).

RODRIGUES, T. O.; CALDEIRA-PIRES, A.; LUZ S.; FRATE, C.A. GHG balance of crude palm oil for biodiesel production in the northern region of Brazil. **Renewable Energy**, v. 62,p. 516–521, 2014.

ROUNDTABLE ON SUSTAINABLE PALM OIL - RSPO. Certified Growers. Disponível em: <<http://www.rspo.org/?q=page/520>>. Acesso em 17 de novembro de 2011.

SABOURIN, Eric. Que política pública para a agricultura familiar no segundo governo Lula? **Sociedade e Estado** v. 22, n. 3, p. 715-751. set./dez. 2007.

SAGRI, PROGRAMA DE PALMA DE ÓLEO ESTADO DO PARÁ. Disponível em:<<http://palmadeoleo.cpatu.embrapa.br/menu>. 2013.

SAMPAIO, C. A.; KATO, O. R.; NASCIMENTO-E-SILVA, D. SISTEMA DE CORTE E TRITURAÇÃO DA CAPOEIRA SEM QUEIMA COMO ALTERNATIVA DE USO DA TERRA, RUMO À SUSTENTABILIDADE FLORESTALNO NORDESTE PARAENSE. **Revista de Gestão Social e Ambiental Jan. - Abr. V. 2, Nº. 1, pp. 41-53.2008.**

SANTIAGO, W.R.; VASCONCELOS, S.S; KATO, O.R; BISPO, C.J.C.; VASCONCELOS, L.G.T.R; CASTELLANI, D.C. Nitrogênio mineral e microbiano do solo em sistemas agroflorestais com palma de óleo na Amazônia oriental. **Acta Amazônica**. vol.43 no.4, 2013.

SANTOS, M. J. C. Avaliação econômica de quatro modelos agroflorestais em áreas degradadas por pastagens na Amazônia ocidental. (Dissertação de mestrado).Piracicaba: ESALQ-USP, 75p. 2000.

SANTOS, D. B. DOS; COELHO, E. F. AZEVEDO, C. A. V. DE. Absorção de água pelas raízes do limoeiro sob distintas frequências de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.9, n.3, p.327-333,2005.

SAUERBORN, J.; GERMER, J. Estimation of the impact of oil palm plantation establishment on greenhouse gas balance. **Environment Development and Sustainability** V.10:697–716, 2008.

SILVER, W.L.; THOMPSON, A.W.; MCGRODDY, M.E.; VARNER, R.K.; DIAS, J.D.; SILVA, H.; CRILL, P.M. & KELLER, M. Fine root dynamics and trace gas fluxes in two lowland tropical forest soils. **Global Change Biology**, 11(2):290-306. 2005.

SMIT, A.L.; BENGOUGH, A.G.; ENGELS, C.; VAN NOORDWIJK, M.; PELLERIN, S.; VAN DE GEIJN, S.C. (Eds) Root methods: a handbook. **Springer-Verlag**, 587 p. 2000.

SOMMER, R.; DENICH, M.; VLEK, P.L.G. Carbon storage and root penetration in deep soils under small-farmer land-use systems in the Eastern Amazon region. **Plant and Soil**, v. 219, p. 231-241, 2000.

SOMMER, R.; VLEK, P.L.G.; SÁ, T.D.A.; VIELHAUER, K.; COELHO, R.F.R.; FÖLSTER, H. Nutrient balance of shifting cultivation by burning or mulching in the Eastern Amazon - evidence for subsoil nutrient accumulation. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 68, p. 257-271, 2004.

SOUZA JUNIOR, Manoel Teixeira. PD&I em suporte ao melhoramento genético de Palma de Óleo na Embrapa. **Agroenergia em Revista**. (Palma para o dendê). Ano II, nº 2, pp. 10-11. 2011.

SUMATHI, S., Chai, S. P., and Mohamed, A. R). "Utilization of oil palm as a source of renewable energy in Malaysia," **Renew Sust Energ Rev.** 12, 2404-2421, 2008.

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

TELLES, E.D.C.; CAMARGO, P.B.; MARTINELLI, L.A. Influence of soil texture on carbon dynamics and storage potential in tropical forest soils of Amazonia. **Global Biogeochemical Cycles**, n. 1040, v. 17, 2003.

TIERNEY, G. L.; FAHEY, T. J. Evaluating minirhizotron estimates of fine root longevity and production in the forest floor of a temperate broadleaf forest. **Plant and Soil**. V. 229, p. 167-176, 2001.

TRINDADE, D. R.; POLTRONIERI, L. S.; FURLAN JÚNIOR, J. Abordagem sobre o estado atual das pesquisas para a identificação do agente causal do amarelecimento fatal do dendezeiro. In: POLTRONIERI, L. S.; TRINDADE, D. R.; SANTOS, I. P. (Ed.). Pragas e doenças de cultivos amazônicos. Embrapa Amazônia Oriental, p. 439-450, 2005.

VASCONCELOS, A.C.M.; CASAGRANDE, A.A.; PERECIN, D.; JORGE, L.A.C.; LANDELL, M.G.A. Avaliação do sistema radicular da cana-de-açúcar por diferentes métodos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p. 849-858, 2003.

WICKEL, A.J., VAN de G. N.C., SÁ, T. D.A, VLEK, P.L.G., VIELHAUER, K., DENICH, M. Water and nutrient dynamics at various spatial scales of a tropical agricultural watershed in Eastern Amazônia, Brazil: First results. AGU **Spring Meeting**, 2002.

WICKEL, B. Water and nutrient dynamics of a humid tropical watershed in Eastern Amazon. Center of Development Research, University of Bonn, Thesis of Doctor. **Ecology and Development** Series, n.21, p.135, 2004.

WOHLENBERG, E. V.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação em rotação e em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.891-900, 2004.

YUI, S.; YEH S. Land use change emissions from oil palm expansion in Para, Brazil depend on proper policy enforcement on deforested lands. **Environmental . Research. Letters**. **8**, 044031 (9pp), 2013.

## 7. ESTOQUE DE RAÍZES FINAS EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS COM PALMA DE OLÉO NA AMAZÔNIA ORIENTAL

### 7.1 INTRODUÇÃO

O óleo extraído do fruto e da semente da palma (*Elaeis guineensis*), atualmente, é um dos mais comercializados no mundo devido a sua versatilidade de uso (LOPES, *et al* 2012). O Brasil é o 10º maior produtor mundial de óleo de palma no mundo (FAO, 2012). Seus maiores pólos produtores estão localizados na região amazônica (OLIVEIRA, 2011), porém a produção brasileira é insuficiente para suprir seu mercado interno, recorrendo-se à importação de óleo de palma (MAPA, 2012a). Um dos objetivos do Programa Nacional de Produção e uso do Biodiesel, lançado em 2005, é transformar o Brasil em exportador do óleo de palma por meio da expansão sustentável da área cultivada com essa oleaginosa, sendo que a inclusão da agricultura familiar é um dos alicerces desse programa (MAPA, 2012b). (PNPB, 2008).

A produção convencional de palma de óleo é incompatível com a realidade socioeconômica e cultural da agricultura familiar na Amazônia, devido aos altos custos de implantação do cultivo, além das áreas apresentarem um tamanho maior que a realidade da propriedade familiar. Com isso, há necessidade de modelos alternativos de produção que sejam mais condizentes com a realidade regional. Dentro desse contexto, os sistemas agrofloretais (SAFs), caracterizados pelo cultivo integrado de espécies agrícolas e silviculturais na mesma área simultânea ou em sequencialmente, são uma alternativa a ser estudada. Alguns estudos tem demonstrado a viabilidade da produção agroflorestal em escala familiar (COSTA & MITJA, 2010), inclusive de palma de óleo (BHAGWAT & WILLIS, 2008).

Estudos de avaliação de cultivos de palma de óleo em sistemas agrofloretais são muitos raros (SANTIAGO, *et al* 2013). O entendimento do funcionamento desses sistemas é fundamental para aperfeiçoar o manejo e para quantificar serviços ambientais. O sistema radicular exerce um papel fundamental em ampla maioria dos processos funcionais dos ecossistemas. A biomassa e a distribuição das raízes no solo refletem a qualidade química, física e biológica dos solos cultivados. (Doran & Parkin, 1994).

Várias questões sobre como os vegetais se comportam no subsolo podem ser respondidas quando se estuda o estoque de raízes, a dinâmica das raízes finas e o estoque de carbono no solo (SOMMER *et al.*, 2000). Esse conhecimento ajuda a entender os processos de competição por água e nutrientes (SILVER *et al.*, 2005) e as estratégias adaptativas das

plantas para bombear nutrientes lixiviados para o subsolo (SOMMER *et al.*, 2004), dentre outros. Porém, observa-se que, ao contrário da parte aérea das plantas, já bastante estudada, existe uma limitação sobre o conhecimento das raízes, especialmente na vegetação lenhosa heterogênea espontânea (floresta secundária). Esta discrepância se deve ao considerável custo de trabalho e por sérios problemas metodológicos envolvidos na quantificação radicular em relação à parte aérea.

As extrações com o trado e monólito continuam a ser os métodos mais usados em estudos de raízes (BÖHM, 1979). As raízes finas (diâmetro  $\leq 2$  mm) apresentam massa pequena, porém são as principais responsáveis pela absorção de nutrientes, além de contribuir de forma significativa para a produtividade primária líquida, ciclagem do carbono no solo e aumento do teor de matéria orgânica do solo. (SILVER *et al.*, 2005). O conhecimento do estoque e comportamento do crescimento das raízes finas é de fundamental importância para os estudos dos inúmeros processos que ocorrem nos solos e sua relação com o desenvolvimento das plantas, contribuindo assim para a melhoria na qualidade dos sistemas solo-planta-atmosfera.

O objetivo do presente estudo foi avaliar o estoque de raízes finas em dois sistemas agrossilviculturais com palma de óleo sob diferentes arranjos e técnicas de preparo de área, e uma floresta secundária no município de Tomé-Açu (PA). Neste trabalho, foram utilizadas as técnicas de tradagem e de monólitos para amostragem de raízes. A utilização do método de tradagem para analisar a variabilidade espacial horizontal no estoque de raízes finas foi escolhida, neste trabalho, para avaliar a camada superficial do solo (10 cm), que é bastante importante processos biogeoquímicos do solo. O método do monólito foi selecionado para avaliar a variabilidade vertical.

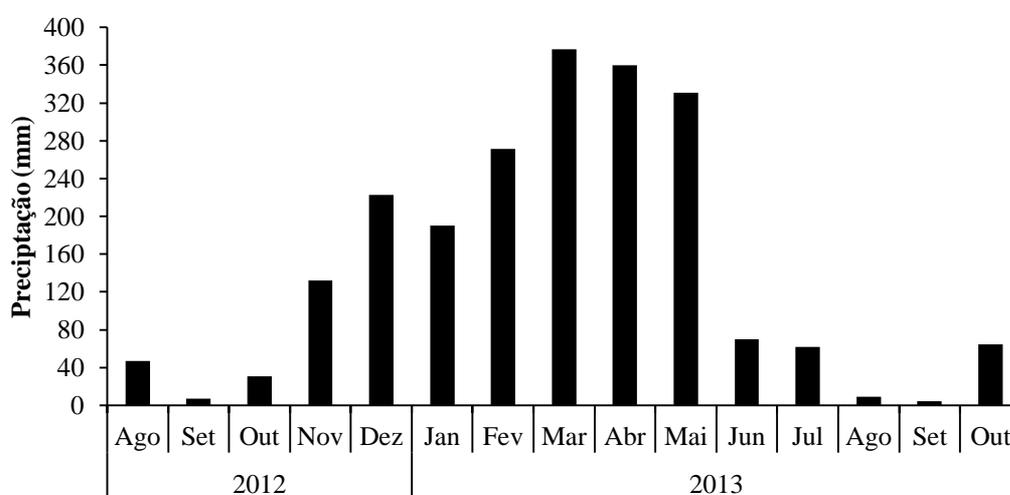
## 7.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 7.2.1. Área de estudo

A pesquisa foi realizada no município de Tomé-Açu ( $2^{\circ} 40' 54''$ S e  $48^{\circ} 16' 11''$  W), localizado na Mesorregião Nordeste do Estado do Pará, à margem esquerda do Rio Acará, a 200 km da capital Belém (Figura 2). A área de estudo está situada em propriedade de agricultor ( $02^{\circ} 20' 59''$  de latitude sul e  $48^{\circ} 15' 36''$  de longitude a oeste de Greenwich), que é uma das áreas experimentais do Projeto Dendê em Sistemas Agroflorestais na Agricultura

Familiar, resultado da parceria entre Natura Inovação, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), e Cooperativa Agrícola Mista de Tomé-Açu (CAMTA).

De acordo com dados de 2008 a 2013, provenientes de uma estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, 2º Distrito de Meteorologia, a temperatura média anual do município é 26,2 °C, e a precipitação média anual é 2524,2 mm, distribuída em uma estação chuvosa, normalmente, entre dezembro e junho, e uma menos chuvosa, de julho a novembro. O clima do município é tropical quente e úmido, do tipo Ami, conforme classificação de Köppen (Baena & Falesi, 1999). Durante o período experimental (agosto de 2012 a outubro de 2013), de janeiro a março a precipitação total foi de 1197,4 mm, enquanto que de junho a setembro a precipitação foi de apenas 211,6 mm (Figura 1).



**Figura 1.** Precipitação pluviométrica mensal no município de Tomé Açu entre agosto de 2012 e outubro de 2013

Os solos predominantes no município de Tomé Açu são os Latossolos Amarelos (Embrapa, 1999), com textura variando de média a argilosa (BAENA & FALESI, 1999).



**Figura 2.** Mapa do estado do Pará com destaque para a localização do município de Tomé-Açu.

### 7.2.2 Histórico da área

Em setembro e outubro de 2007, o experimento foi implantado em uma área (6 ha) de fragmento de vegetação secundária (capoeira) com cerca 10 anos de idade, formada após repetidos ciclos de derruba e queima para cultivo de *Oryza sativa* (arroz), *Manihot esculenta* (mandioca), *Zea mays* (milho) e *Vigna unguiculata* (feijão-caupi). Em 4 ha foi realizada trituração mecanizada da capoeira com equipamento triturador denominado fresador florestal AHWi FM600 acoplado a um trator de rodas com 170 cv. O material triturado foi mantido sobre o solo, formando uma cobertura morta (“mulch”).

Em fevereiro de 2008, foram instalados dois sistemas de cultivo de palma de óleo denominados de: Adubadeiras, com baixa densidade de plantas consorciadas e sistema agroflorestal biodiverso, com alta densidade de plantas consorciadas (Tabela 2). Nos dois sistemas, foram plantadas linhas duplas de palma de óleo – *Elaeis guineensis* (espaçamento 7,5 m x 9 m) intercaladas por faixas (15 m) com nove linhas de plantio compostas de espécies herbáceas, arbustivas e arbóreas (Tabela 2).

No sistema com baixa diversidade de espécies plantadas, a palma de óleo foi consorciada apenas com plantas com função de adubadeiras (Tabela 2). Plantas adubadeiras (Figura 2 do anexo) são espécies vegetais, normalmente rústicas, cuja função no sistema agrícola é a produção de biomassa (como fonte de nutrientes, matéria orgânica aplicada como cobertura do solo), tutoramento e/ou sombreamento das espécies de valor econômico. Embora nesse sistema haja apenas uma espécie de interesse econômico (palma de óleo), ainda assim pode ser classificado como SAF, pela presença de espécies arbóreas leguminosas, fixadoras

de nitrogênio, como *Inga edulis* (ingá) e *Gliricidia sepium* (gliricídia), cuja função principal era o aporte de nitrogênio ao solo. Nesse sistema a espécie adubadeira *Tithonia diversifolia* (margaridão), da família das Asteraceae, foi plantada por ser reconhecidamente uma grande produtora de biomassa em condições de solo e clima limitantes, e eficientes na ciclagem de nutrientes pouco disponíveis, como é o caso do fósforo (JAMA, 2000).

No sistema com alta diversidade de espécies plantadas (Figura 3 do anexo), a palma de óleo foi associada com diversas espécies vegetais cujo objetivo, além da incorporação da biomassa vegetal ao sistema, era de ordem econômica, como açaí, cacau e mandioca. Houve plantio de feijão de porco (*Canavalia ensiformis*), feijão guandu (*Caján cajanus*), crotalária (*Crotalaria juncea*), mucuna cinza (*Mucuna cinereum*), margaridão, mandioca (*Manihot esculenta*), banana (*Musa spp*), cacau (*Theobroma cacao*), açaí (*Euterpe oleracea*), gliricídia (*Gliricidia sepium*), ingá (*Inga edulis*), tachi branco (*Sclerolobium paniculatum*), guanandi (*Calophyllum brasiliensis*), ipê (*Tabebuia spp.*) e bacaba (*Oenocarpus bacaba*). Outras espécies: pataua (*Oenocarpus bataua*), castanheira (*Bertholletia excelsa*), cacau (*Theobroma cacao*), jatobá (*Hymenaea courbaril*), ipê (*Tabebuia sp.*), mogno (*Swietenia macrophylla*), falso paubrasil (*Adenantha pavonina*), andiroba (*Carapa guianensis*), feijão caupi (*Vigna unguiculata*), taperebá – *Spondias mombin L.*, bacaba (*Oenocarpus bacaba*), bacabi (*Oenocarpus mapora*) e fedegoso (*Cassia occidentalis*) com funções de adubação verde e atração de insetos predadores e polinizadores.

Os tratos culturais realizados neste experimento seguiram os seguintes procedimentos: após o preparo de área, houve correção da acidez do solo com aplicação manual sobre a superfície de 1,3 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico. Na adubação de cova da palma de óleo, foi utilizada uma combinação de fosfato natural (ARAD) no solo e moinha de carvão (10 kg planta<sup>-1</sup>); a adubação de manutenção foi feita em cobertura com 8 kg de composto orgânico por planta, constituído de resíduos orgânicos de agroindústria local de polpa de frutas (casca, sementes e resto de polpa). Na faixa de 15 m de largura, foram cultivadas as espécies consortes, com adubação de cova semelhante aquela da palma de óleo. Em 2008, a adubação de manutenção constou de 10 kg de cama de frango e 20 kg de composto orgânico por planta. Em 2009, na adubação de manutenção em cobertura, foram utilizados por planta: 40 kg de composto orgânico, 1,0 kg de farinha de osso e 1,0 kg de torta de mamona. Em 2010 e 2011, foram aplicados por planta: 0,3 kg de fosfato natural, 1 kg de farinha de osso e 100 kg de cachos vazios de palma de óleo, divididos em duas aplicações de 50 kg por planta. Em 2011, foram aplicados 1,5 kg por planta de fosfato natural, 0,5 kg por planta de farinha de osso, 4,0

kg por planta de torta de mamona, 0,2 kg por planta de FTE e 50 kg por planta de cachos vazios de óleo de palma.

Em 2012 foi realizada adubação com sulfato de potássio, sendo utilizados 200 g por planta uma vez ao ano. Houve também adição de fitomassa oriunda de cachos vazios de óleo de palma (200 kg por planta). Ainda com o objetivo de incorporação de biomassa vegetal nos sistemas, foram realizados diversos tipos de podas nos sistemas agroflorestais. No sistema adubadeiras, foi realizada a poda conhecida como “poda baixa”, que é o manejo das folhas da palma de óleo, cujo material é depositado, para decomposição, nas faixas próximos a linha de SAF's. Um outro tipo de poda envolveu as espécies adubadeiras, glirícidia, ingá e margaridão, cujo material foliar e lenhoso também foi depositado nas linhas laterais dos sistemas. Os mesmos procedimentos de poda foram realizados no sistema biodiverso, com uma diferença: além de buscar o aporte de biomassa vegetal para incorporação ao solo, a poda consistiu em manejar os galhos não produtivos das culturas de importância econômica, como o cacau (*Theobroma cacao*). Também foi realizada uma poda conhecida como fitossanitária com a função de eliminar pragas como cochonilhas e pulgões das espécies adubadeiras. Houve roçagem mensalmente na área para diminuir a competição por espécies indesejadas.

Em 2013, o manejo da palma de óleo envolveu coroamento de 3 a 5 vezes ao ano e poda de limpeza (folhas velhas e danificadas) uma vez ao ano. A adubação foi realizada através da incorporação de material vegetal sobre o solo oriundos da roçagem sendo distribuídos nas linhas de plantio, na coroa da palma de óleo e na projeção da copa das linhas dos SAFs. A adubação química aumentou para 800 g de sulfato de potássio por planta e a quantidade aplicada de cachos vazios de palma de óleo subiu para 240 kg por planta uma vez ao ano.

**Tabela 1.** Principais espécies vegetais cultivadas nos sistemas agroflorestais (SAF's) Adubadeira e Biodiverso, no município de Tomé-açu. Legenda: (Adu) Adubadeiras e (Bio) Biodiverso.

Adu	Bio	Nome científico	Nome popular	Método de propagação	Espaçamento (m)	Propágulos . ha <sup>-1</sup>
x	x	<i>Cajanus cajan</i>	Feijão Guandu	Sementes	0,25x1,50	50kg
	x	<i>Calophyllum brasiliensis</i>	Guanadim	Mudas	13x22,5	30
x	x	<i>Canavalia ensiformis</i>	Feijão de porco	Sementes	0,30x0,30	80kg
x	x	<i>Crotalaria juncea</i>	Crotalária	Sementes	0,25x0,25	5kg
x	x	<i>Elaeis guineensis</i>	Palma de óleo	Mudas	7,5x9,0x15	99
	x	<i>Euterpe oleraceae</i>	Açaí	Mudas	6,0x6,0	125
	x	<i>Gliricidia sepium</i>	Gliricidia	Estacas	3,0x12	280
x		<i>Gliricidia sepium</i>	Gliricidia	Estacas	2,0 (entre estacas)	540
	x	<i>Inga edulis</i>	Ingá	Mudas e sementes	3,0x3,5x6,0	515
x		<i>Inga edulis</i>	Ingá	Sementes	3x5x17,5	540
	x	<i>Manihot esculenta</i>	Mandioca	Manivas	1,0x1,0x3,0	600
x	x	<i>Mucuna cinereum</i>	Mucuna cinza	Sementes	0,5x1,0	20kg
	x	<i>Musa spp.</i>	Banana	Rizoma	3,0x3,0	595
	x	<i>Oenocarpus bacaba</i>	Bacaba	Mudas	4,5x22,5	85
	x	<i>Sclerolobium paniculatum</i>	Tachi Branco	Mudas e sementes	14,0x22,5	28
	x	<i>Tabebuia spp.</i>	Ipê	Mudas	14,0x22,5	28
	x	<i>Theobroma cacao</i>	Cacau	Mudas	3,0x3,5	300
x	x	<i>Tithonia diversifolia</i>	Magaridão	Estacas	2,0 (entres estacas)	331

### 7.2.3 Descrição do experimento

Em 2012, foi realizada análise química nas profundidades 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm (Tabela 2). Em 2010, foi realizada análise granulométrica do solo nas profundidades 0-10 cm e de 10-20 cm, cujos resultados são apresentados na Tabela 3.

**Tabela 2.** Características químicas do solo nos sistemas Adubadeiras, Biodiverso e Floresta Secundária, em agosto de 2012, no município de Tomé Açu (PA).

Tratamento	pH	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al
	água	-----mg/dm <sup>3</sup> -----	-----mg/dm <sup>3</sup> -----	-----mg/dm <sup>3</sup> -----	-----mg/dm <sup>3</sup> -----	-----cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> -----	-----cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> -----	-----cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> -----
<b>Prof. 0 - 5 cm</b>								
<b>Adubadeiras</b>	5,03	10,7	81,7	8,9	4,37	1,01	0,22	3,86
<b>Biodiverso</b>	5,19	12,25	57,7	6,4	4,96	1,24	0,16	3,54
<b>F.Secund.</b>	4,64	4,8	38,4	5,2	3,08	0,74	0,36	4,92
<b>Prof. 5 - 10 cm</b>								
<b>Adubadeiras</b>	5,24	8,25	64,4	8,25	3,52	0,76	0,16	3,25
<b>Biodiverso</b>	5,25	5,05	41,7	5,1	3,11	0,78	0,19	3,15
<b>F.Secund.</b>	5	4,6	26,8	5,6	2,08	0,58	0,32	3,83
<b>Prof. 10 - 20 cm</b>								
<b>Adubadeiras</b>	5,34	5,4	53,7	7,7	2,04	0,56	0,2	2,63
<b>Biodiverso</b>	5,15	3	33,25	24,35	1,69	0,51	0,32	2,67
<b>F.Secund.</b>	4,9	2,2	18,4	3,6	1,34	0,4	0,34	3,14
<b>Prof. 20 - 30 cm</b>								
<b>Adubadeiras</b>	5,27	1,5	44,6	6,8	1,08	0,41	0,36	2,72
<b>Biodiverso</b>	4,97	1,75	24,1	4,3	1,19	0,4	0,49	2,64
<b>F.Secund.</b>	4,8	1,6	9,8	2,8	0,92	0,36	0,56	3,04

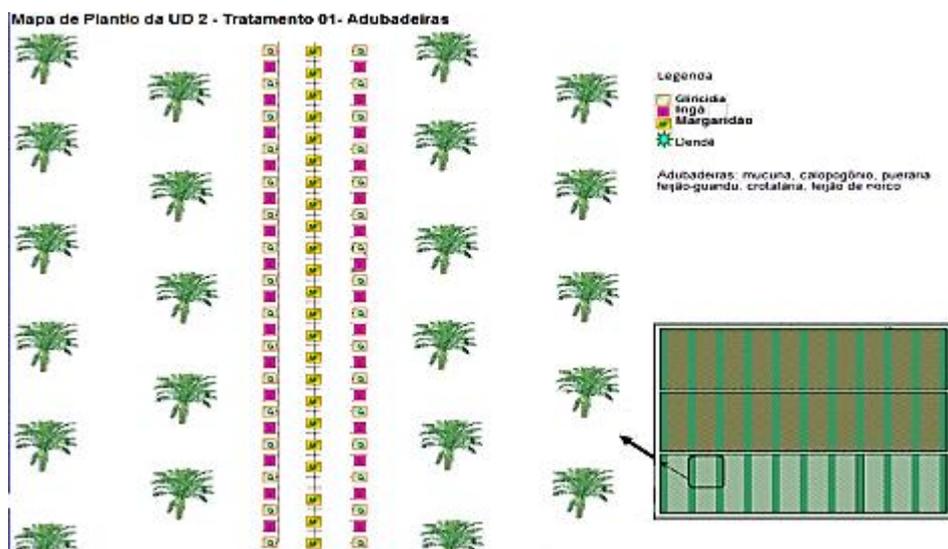
**Tabela 3.** Granulometria do solo nos sistemas Adubadeiras, Biodiverso e Floresta Secundária, em agosto de 2010, no município de Tomé-Açu (PA)

Tratamento	Areia	Silte	Argila
	g kg <sup>-1</sup>		
<b>0-10 cm</b>			
<b>Adubadeiras</b>	699	142	160
<b>Biodiverso</b>	699	132	170
<b>Floresta Secundária</b>	749	112	240
<b>10-20 cm</b>			
<b>Adubadeiras</b>	623	137	140
<b>Biodiverso</b>	573	148	280
<b>Floresta Secundária</b>	579	181	240

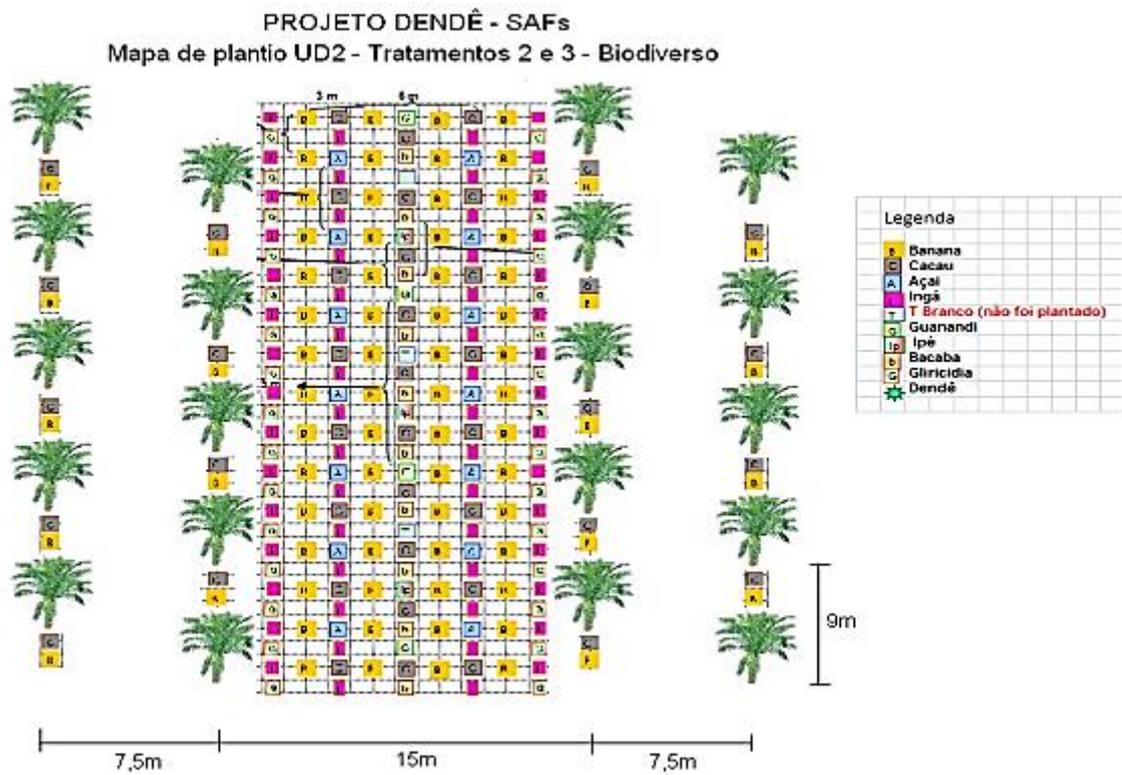
Foram avaliados dois sistemas agroflorestais (SAFs) de produção de palma de óleo, de dois hectares cada, e uma floresta secundária remanescente da cobertura vegetal antes da implantação dos SAFs.

Em outubro de 2012, foram selecionadas plantas de palma de óleo em dois sistemas agroflorestais, sendo um com baixa diversidade de espécies plantadas (adubadeira) (Figura 2) e outro com alta diversidade de espécies plantadas (biodiverso) (Figura 3). Foram delimitadas aleatoriamente 5 parcelas de 22,5 m x 18 m em cada sistema agroflorestal. Em cada parcela foi selecionado um indivíduo de palma de óleo de forma aleatória (CARVALHO, 2011).

Delimitaram-se também, como área de referência, 5 parcelas em um ecossistema de floresta sucessional (F.SEC) de aproximadamente 13 anos, com altura média do dossel de 15 m, densidade média de 520 árvores por hectare (árvores com diâmetro à altura do peito acima de 10 cm), predominando as espécies *Tapirira guianensis* Aubl., *Vismia guianensis* Aubl. Prers., *Inga alba* Willd. e *Apeiba burchelli* Sprague. Na floresta secundária estas parcelas foram estabelecidas de forma aleatória sendo que o tamanho de cada foi de 6 m<sup>2</sup>. Dessa forma, foram estabelecidos três tratamentos: (1) plantio de palma de óleo em sistema agroflorestal com baixa diversidade de espécies plantadas, (2) plantio palma de óleo em sistema agroflorestal com alta diversidade de espécies plantadas e (3) floresta secundária.



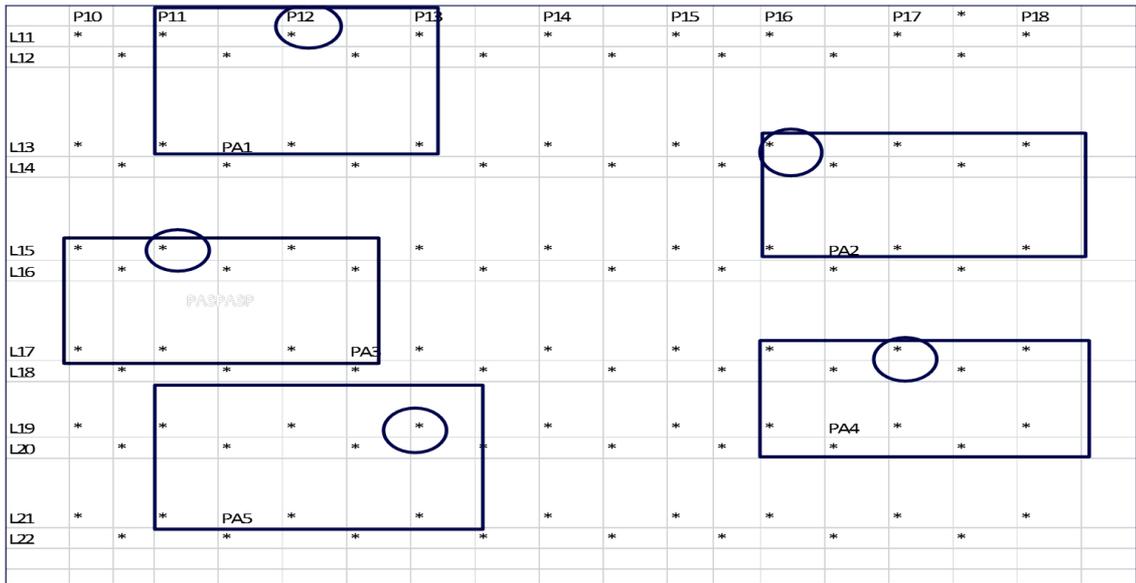
**Figura 3.** Croqui do sistema adubadeira. Na figura há um croqui do sistema e um croqui ampliado e detalhado de uma parte do sistema



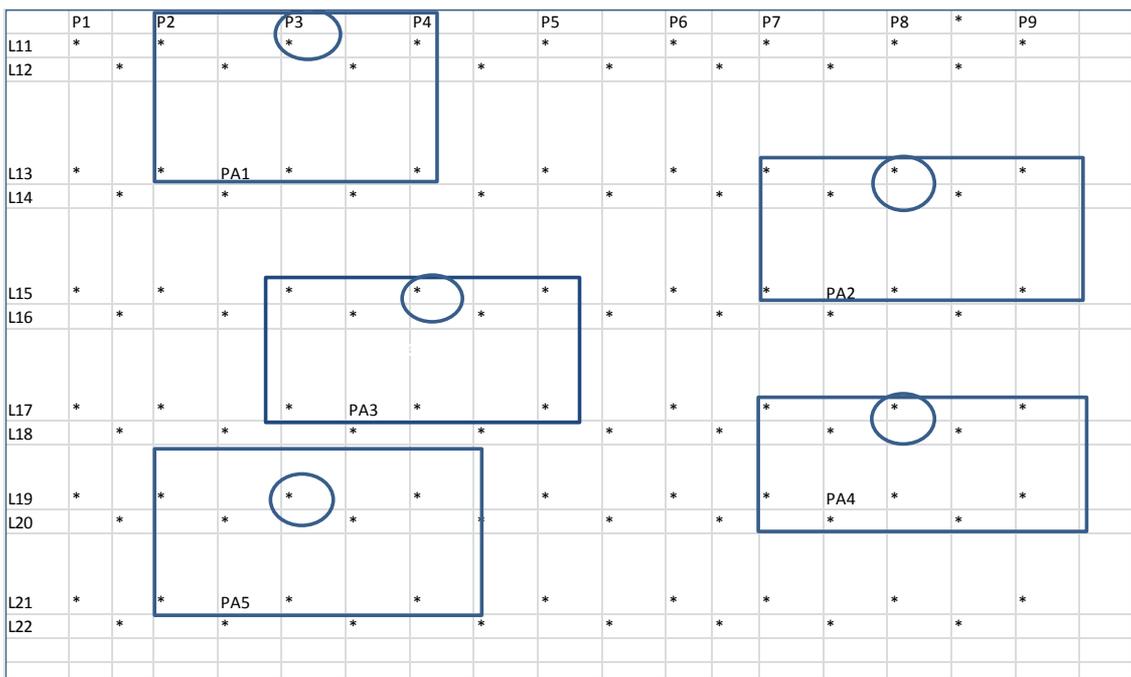
**Figura 4.** Croqui do sistema biodiverso.

#### 7.2.4. Amostragem Experimental

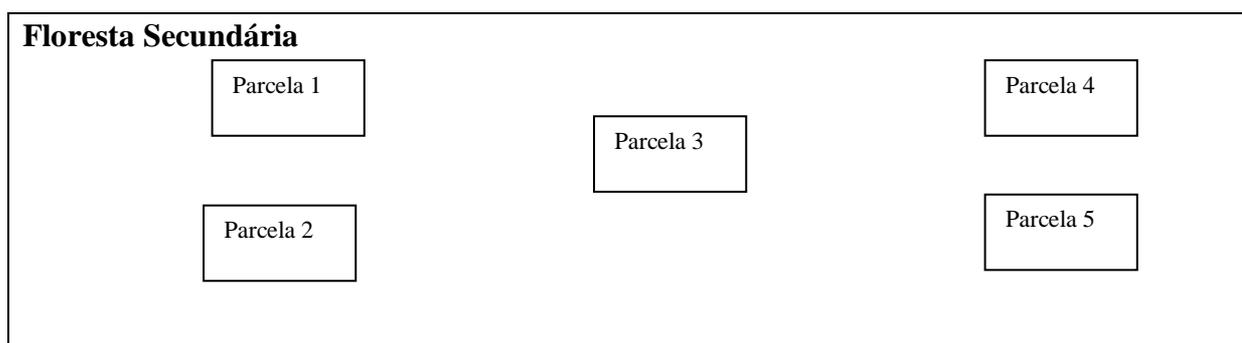
Desenhos esquemáticos da localização das parcelas nos plantios de palma de óleo em sistemas agroflorestais com alta (A) e baixa diversidade de espécies (B) e em floresta secundária estão apresentados nas figuras 5 a 7.



**Figura 5.** Sistema A. Alta diversidade de espécies (biodiverso).(1:30000). (\*) Representa as plantas. P= Plantas numeradas no plantio. L= linhas numeradas de plantio. Retângulo= área que delimita a parcela. Elipse= área que delimita a planta na parcela.



**Figura. 6** Sistema B. Baixa diversidade de espécies (Adubadeira).(1:30000) (\*) Representa as plantas. P= Plantas numeradas no plantio. L= linhas numeradas de plantio. Retângulo= área que delimita a parcela. Elipse= área que delimita a planta na parcela



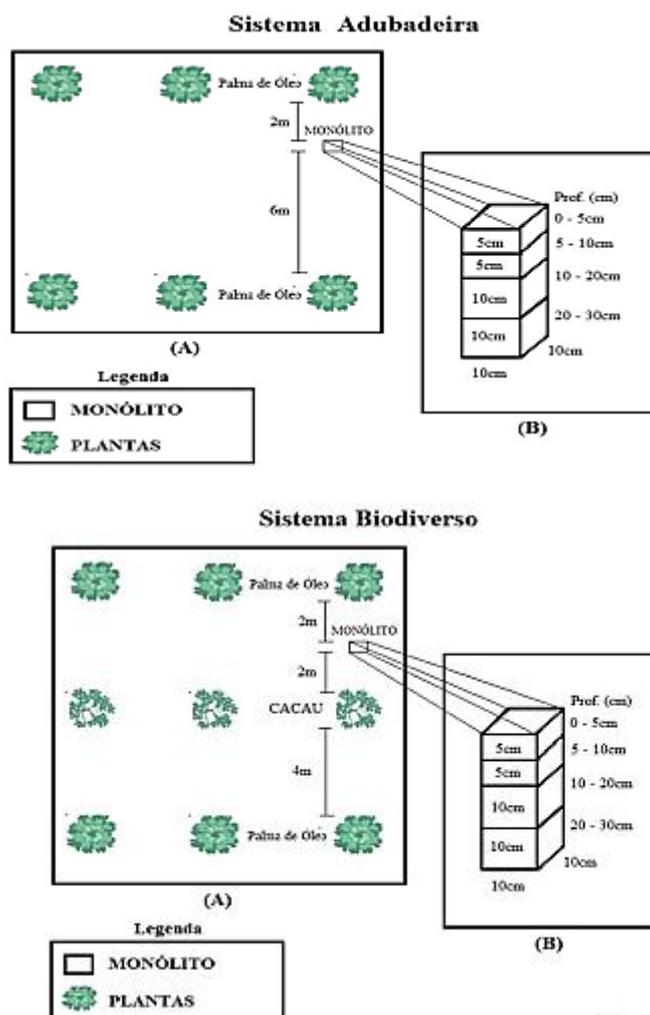
**Figura 7.** Desenhos esquemáticos mostrando no campo a localização das parcelas no município de Tomé-Açu, Pa. do Sistema da Floresta Secundária.(1:120). Retângulos = Representa cada parcela delimitada na floresta secundária.

## 8. ESTOQUE DE RAÍZES

Em agosto de 2012, nos três sistemas estudados, foram retiradas amostras de solos para avaliação da variação vertical e horizontal do estoque de raízes usando, respectivamente, os métodos do monólito e do trado, como descritos a seguir.

### 8.1 MÉTODO MONÓLITO

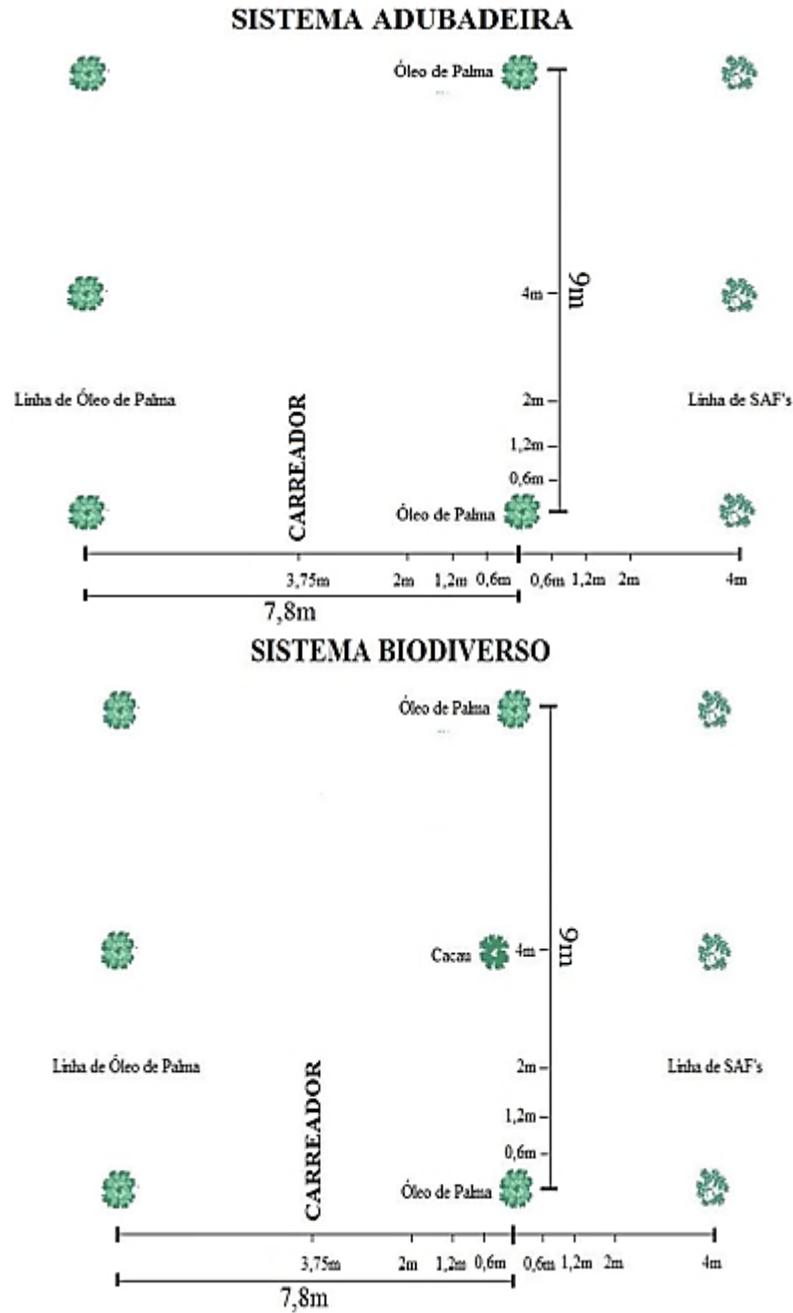
O método monólito consiste na retirada de um volume conhecido de solo, na forma de um "bloco" de volume determinado (BÖHM,1979). Neste estudo, utilizamos as trincheiras escavadas para determinação da densidade do solo entre as plantas de dendê (aproximadamente 2 metros da base da planta) e retiramos os monólitos de raízes (Figura 7). No sistema biodiverso a trincheira de monólito ficou próximo a uma planta de cacau. O volume de solo dos monólitos foi de 500 cm<sup>3</sup> de solo nas profundidades 0-5 e 5-10 cm e de 1000 cm<sup>3</sup> nas profundidades de 10-20 e 20-30 cm (Figura 8).



**Figura 8.** Disposição dos locais, distâncias e profundidades onde foram realizadas a avaliação do estoque de raízes finas utilizando o monólito nos sistemas Adubadeira, Biodiverso (A) figura mostrando o local onde foram retirados os monólitos (B) blocos de solos com suas respectivas profundidades.

## 8.2 MÉTODO DO TRADO

Nos sistemas agroflorestais, amostras de  $196,35 \text{ cm}^3$  (10 cm de altura e 5 cm diâmetro) foram retiradas a 0,6m, 1,2m, 2,0m e 4,0m da base da planta em três diferentes locais: (a) entre as plantas de palma de óleo, (b) entre a planta de palma de óleo o centro do carreador e (c) entre a planta de palma de óleo e a primeira linha de plantio da faixa de cultivo das outras espécies do SAF (Figura 9)

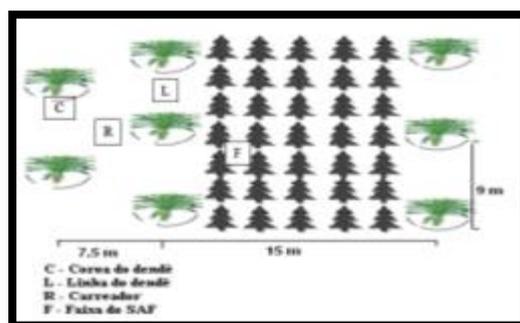


**Figura 9.** Disposição dos locais e distâncias onde foi realizada a amostragem de raízes finas utilizando trado nos sistemas Adubadeira e Biodiverso.

## 9. DENSIDADE DO SOLO

Amostras indeformadas para determinação da densidade do solo foram coletadas em agosto de 2012. Em cada tratamento de sistema agroflorestal, foram escavadas, em cada

parcela, três trincheiras medindo 70 cm de comprimento, 70 cm de largura e 40 cm de profundidade, distribuídas nos seguintes locais: (a) linha de palma de óleo, (b) carreador (c) faixa do SAF (Figura 10). Na floresta secundária, foi escavada somente uma trincheira por parcela. Retiraram-se amostras indeformadas nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, 20-30 cm, de três faces internas da trincheira, com trado extrator e anéis de aço (Kopeck) de bordas cortantes com volume interno conhecido. A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997).



**Figura 10.** Locais onde foram retiradas as amostras de densidade do solo (Carvalho, 2010).

## 10. PROCESSAMENTO DAS AMOSTRAS DE RAÍZES

Após as coletas, as amostras oriundas do monólito e do trado foram armazenadas sob refrigeração (aproximadamente 4°C) por no máximo 30 dias. Em seguida, as raízes foram lavadas em água corrente em duas peneiras com malhas de 2 e 1 mm, o que permitiu recuperar aproximadamente 100% das raízes finas, visto que uma quantidade desprezível de raízes passavam pela peneira de 1 mm. Em seguida, com o auxílio de pinças, as raízes finas foram separadas dos demais materiais (fragmentos de carvão e restos vegetais) e classificadas de acordo com o diâmetro:  $\leq 2,0$  mm (raízes finas), 2,1 a 5,0 mm (raízes intermediárias) e  $> 5,0$  mm (raízes grossas). Devido a elevada variabilidade encontrada nas classes de raízes intermediárias e grossas, combinaram-se as raízes dessas classes em uma única classe (raízes grossas). Após a separação, as raízes foram secas em estufa a 65°C por 48 horas e pesadas em balança com precisão de 0,0001 g para obtenção de massa seca.



**Figura 11:** Metodologia de lavagem e separação de raízes 1: peneira duplas de 2 mm e 1 mm, 2: lavagem de solo nas peneiras, 3: material usado para separação e armazenamento de raízes (saco de papel, crivos, pinças e tesouras), 4: separação de raízes com peneira, 5: separação de raízes com pinças, 6: cadinhos metálicos, 7: cadinhos com raízes, 8: cadinho com raízes de vários diâmetros. **Fonte:** Ivana Reis

## 11. ANÁLISE ESTATÍSTICA

O estoque de raízes finas e grossas foi expresso em  $\text{Mg ha}^{-1}$ . O efeito dos sistemas agroflorestais e da floresta secundária sobre o estoque de raízes foi testado com análise de variâncias de um critério, separadamente para cada profundidade. Para analisar o estoque de raízes usando o método do trado, foi realizada uma análise de variância de três critérios, considerando-se sistema agroflorestal, local e distância como fontes de variação.

Quando necessário, os dados foram transformados (raiz quadrada) para atender aos requisitos de normalidade e homogeneidade das variâncias. Para comparação de médias,

aplicou-se o teste Tukey ( $p \leq 0,05$ ). As análises foram conduzidas com o programa estatístico SigmaStat 3.5.

## 12. RESULTADOS

### 12.1 DENSIDADE DO SOLO

Nas profundidades de 0-5 cm e 5-10 cm, a densidade do solo foi significativamente maior no sistema adubadeira do que no sistema biodiverso, nos três locais de amostragem (Tabela 4). Nos dois sistemas, os maiores valores de densidade do solo foram observados no carreador em todas as profundidades. Com relação às demais profundidades, não houve diferença estatística entre os locais nos sistemas adubadeira e biodiverso. No entanto, as médias do sistema adubadeira foram maiores do que aquelas do sistema biodiverso. A floresta secundária apresentou os menores valores de densidade do solo em todas as profundidades.

**Tabela 4.** Densidade do solo em função da profundidade do solo e local no plantio em cultivos de palma de óleo em sistemas agroflorestais com baixa e alta diversidade de espécies plantadas e em floresta secundária em Tomé-Açu, Pará.

Tratamento	Profundidade (cm)				
	0 – 5	5-10	10-20	20-30	
Adubadeiras	EC	1,37 ± (0,02) Ab	1,41 ± (0,03) Aab	1,52 ± (0,01) Aa	1,45 ± (0,03) Aab
	EP	1,18 ± (0,03) Bb	1,30 ± (0,05) Ab	1,47 ± (0,02) Aa	1,52 ± (0,02) Aa
	ES	1,26 ± (0,04) ABb	1,31 ± (0,06) Ab	1,50 ± (0,02) Aa	1,53 ± (0,04) Aa
Biodiversos	EC	1,24 ± (0,05) Ab	1,39 ± (0,04) Aa	1,48 ± (0,03) Aa	1,47 ± (0,01) Aa
	EP	1,17 ± (0,02) ABb	1,43 ± (0,02) Aa	1,48 ± (0,01) Aa	1,51 ± (0,01) Aa
	ES	1,13 ± (0,02) Bc	1,27 ± (0,04) Bb	1,48 ± (0,01) Aa	1,48 ± (0,02) Aa
Flsuc	AL	0,94 ± (0,02) c	1,24 ± (0,02) b	1,40 ± (0,02) a	1,47 ± (0,02) a

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna (dentro de tratamento) e minúscula nas linhas não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%. Locais de amostragem: EC (carreador), EP (próximo ao indivíduo de palma de óleo), ES (na faixa de plantio de outras espécies no sistema agroflorestal)

## 12.2 ESTOQUE DE RAÍZES UTILIZANDO A TÉCNICA DO MONÓLITO.

**Tabela 5.** Estoque de raízes finas em cultivos de palma de óleo em sistemas agroflorestais com baixa (Adubadeira) e alta diversidade de espécies (Biodiverso) plantadas e em floresta secundária, em diferentes camadas do solo, no município de Tomé-Açu, Pará, Amazônia oriental. Dados são médias  $\pm$  erro padrão (n = 5).

Sistema	Estoque de raízes finas (Mg ha <sup>-1</sup> )			
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
<b>Adubadeira</b>	2,006 $\pm$ 0,153 A	0,979 $\pm$ 0,028 A	0,906 $\pm$ 0,125 A	0,497 $\pm$ 0,069 A
<b>Biodiverso</b>	1,031 $\pm$ 0,205 B	0,647 $\pm$ 0,103 B	0,555 $\pm$ 0,071 B	0,376 $\pm$ 0,038 ab
<b>Capoeira</b>	1,255 $\pm$ 0,059 B	0,406 $\pm$ 0,084 B	0,315 $\pm$ 0,053 B	0,209 $\pm$ 0,052 b

Médias sucedidas pela mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste Tukey a 1% de probabilidade

Nas camadas 0-5cm, 5-10cm e 10-20 cm, o estoque de raízes finas no sistema adubadeira foi significativamente maior do que no sistema biodiverso e floresta secundária, que não diferiram entre si (Tabela 5). Na camada 20-30 cm, o estoque de raízes finas foi maior no sistema adubadeira do que na floresta secundária, porém não diferiu significativamente do sistema biodiverso.

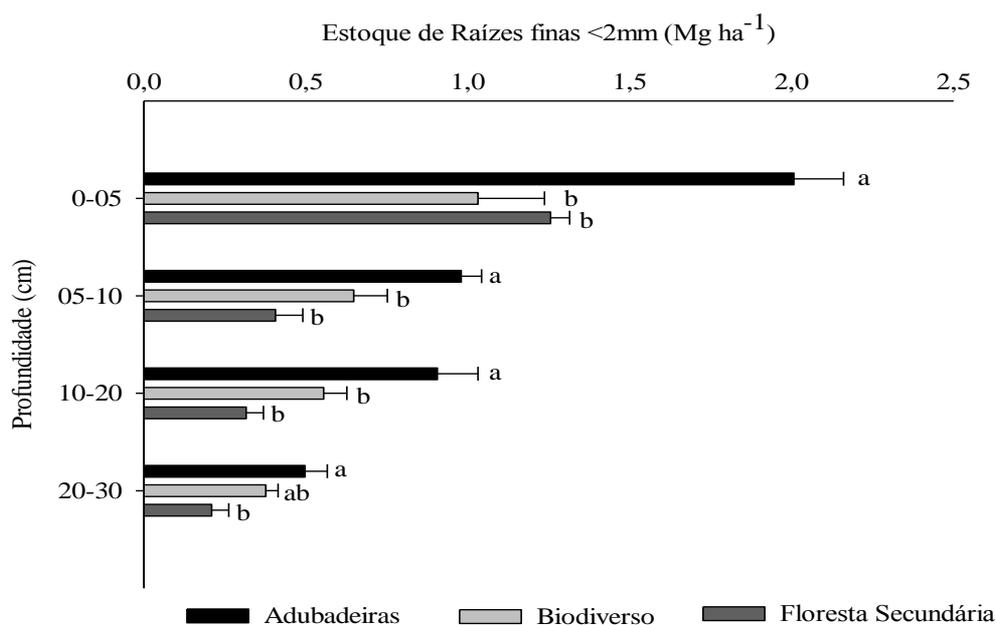
Os estoques totais na profundidade de 0 a 30 cm (figura 13) nos sistemas adubadeira e biodiverso e floresta secundaria mostraram que o sistema adubadeira foi superior que os demais sistemas na estocagem de raízes finas.

A análise estatística entre os sistemas nas diferentes profundidades (tabela 5 ) mostraram diferenças em todas as profundidades no sistema adubadeira, que estocou mais raízes. Nos demais sistemas, biodiverso e floresta secundária, não houve diferenças estatísticas entre as profundidades.

**Tabela 6.** Análise de variância do estoque de raízes determinado pela técnica do monólito.

Teste F				
Fontes de Variação	Grau de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F
Entre os grupos	2	0,209	0,104	6,905**
Resíduo	12	0,181	0,0151	
Total	14	0,39		

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade

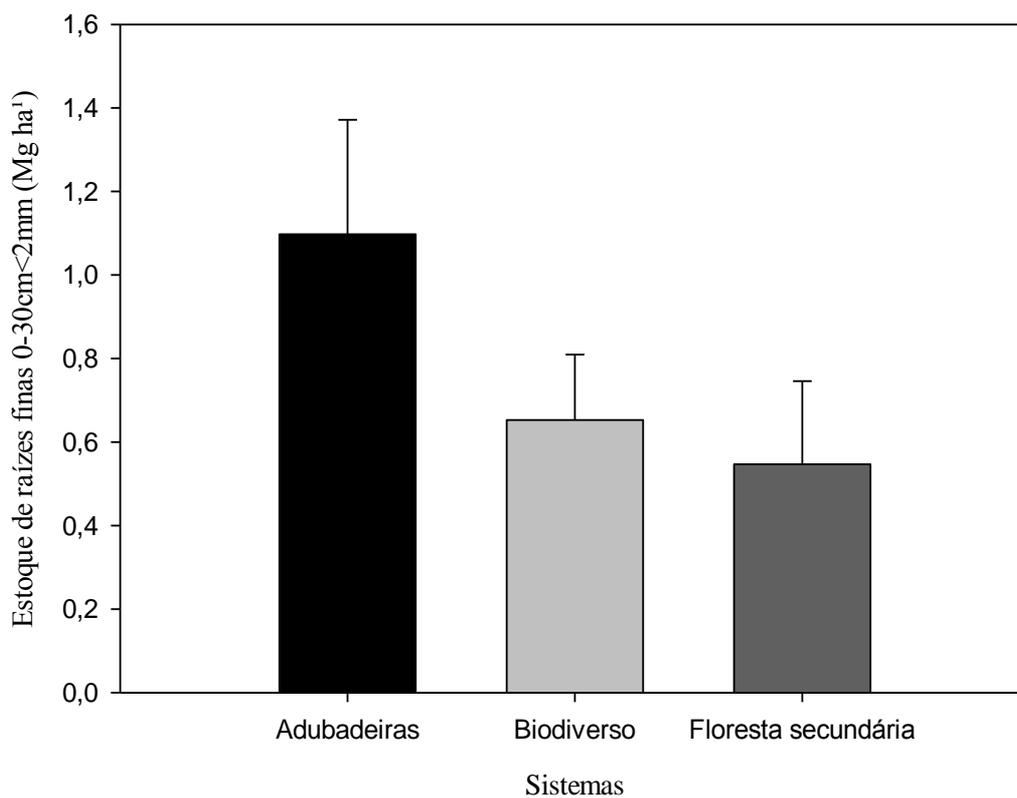


**Figura 12:** Estoque de raízes finas em diferentes camadas do solo em cultivos de palma de óleo em sistemas agroflorestais com baixa e alta diversidade de espécies plantadas e em floresta secundária, em diferentes camadas do solo, no município de Tomé-Açu, Pará, Amazônia oriental. Dados são média  $\pm$  erro padrão (n = 5).

**Tabela 7** Análise de variância estoque total monólito de 0 a 30 cm.

Fontes de Variação	Grau de Liberdade	Teste F		
		Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F
Entre os grupos	2	0,495	0,495	31,833**
Resíduo	8	0,124	0,015	
Total	10	0,619		

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade



**Figura 13:** Estoque total de raízes finas na camada 0-30 cm do solo em cultivos de palma de óleo em sistemas agroflorestais com baixa e alta diversidade de espécies plantadas, no município de Tomé-Açu, Pará, Amazônia oriental. Dados são média  $\pm$  erro padrão ( $n = 5$ ).

### 12.3 ESTOQUE DE RAÍZES FINAS UTILIZANDO A TÉCNICA TRADO.

Houve efeito significativo das interações entre sistema x distância e distância x local (Tabela 8).

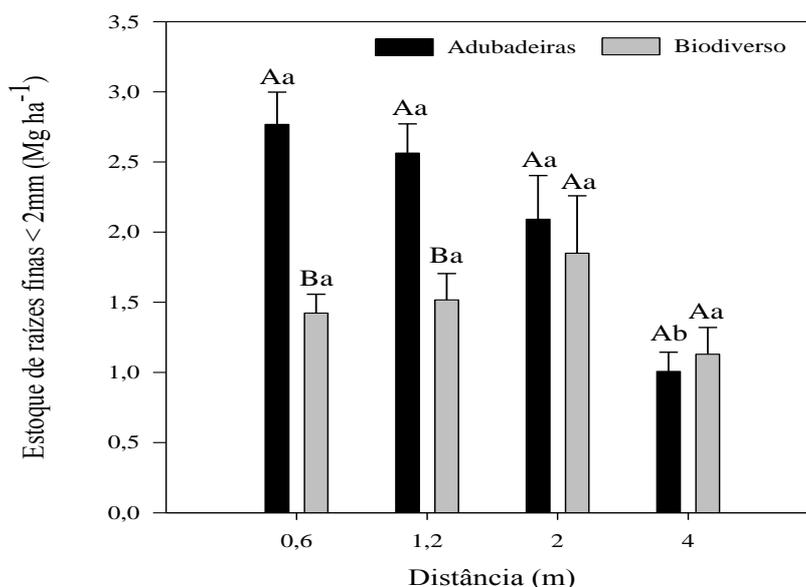
**Tabela 8.** Análise de variância entre as variáveis avaliadas. Técnica do trado.

Teste F					
Fontes de Variação	Grau de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	p
Sistema	1	1,79	1,79	14,42	<0,001 *
Local	2	0,28	0,14	1,13	0,328
Distância	3	3,43	1,14	9,23	<0,001 *
Sistemas x Local	2	0,52	0,26	2,08	0,13
Sistema x Distância	3	1,21	0,4	3,24	0,025 *
Local x Distância	6	1,69	0,28	2,27	0,043 *
Sistema x Local x Distância	6	0,56	0,09	0,76	0,605
Resíduo	96	11,91	0,12		
Total	119	21,39	0,18		

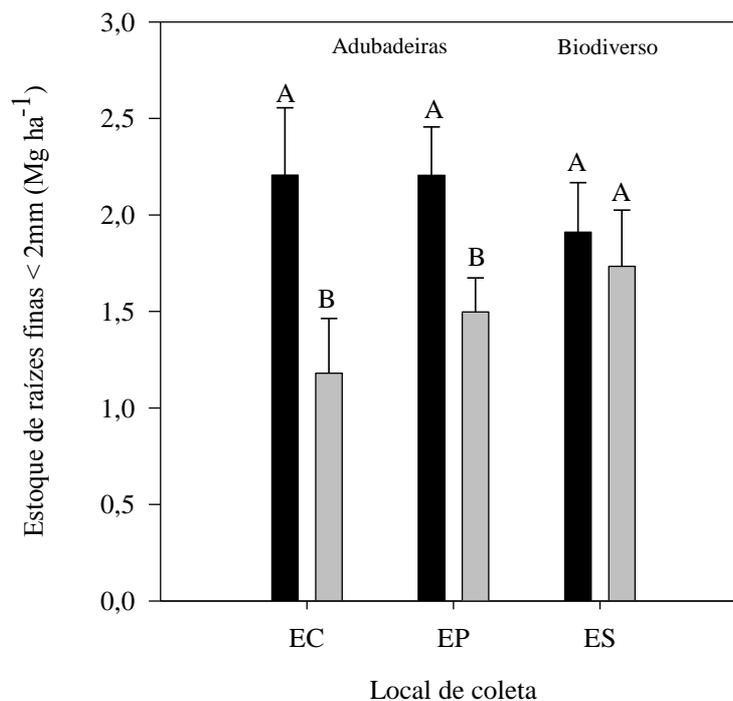
\*Significativo

O estoque de raízes no sistema adubadeira foi maior a 0,6 m de distância da planta, havendo uma diminuição no estoque com o afastamento da planta, sendo que entre as distâncias no sistema adubadeira não houve diferença estatística entre as médias.

No sistema Biodiverso, o maior estoque foi encontrado a 2 m da planta e, a 4m, o estoque diminuiu. As médias da distância de 2m diferiram estatisticamente das demais.



**Figura 14:** Estoque de raízes finas em cultivos de palma de óleo em sistemas agroflorestais com baixa e alta diversidade de espécies plantadas em diferentes distâncias da planta de palma de óleo no município de Tomé-Açu, Pará, Amazônia oriental. Dados são médias  $\pm$  erro padrão ( $n = 5$ ). As letras maiúsculas comparam os sistemas na mesma distância e as letras minúsculas comparam a distância no mesmo sistema.



**Figura 15.** Estoque de raízes finas em cultivos de palma de óleo em sistemas agroflorestais com baixa e alta diversidade de espécies plantadas em diferentes locais (a) entre plantas (EP), (b) entre a planta e o SAF (ES) (c) entre o carreador (EC) da planta de palma de óleo no município de Tomé-Açu, Pará, Amazônia oriental. Dados são médias  $\pm$  erro padrão ( $n = 5$ ).

O sistema adubadeira estocou mais raízes que o biodiverso. No entanto essas diferenças entre as médias foram observadas somente comparando os locais entre os sistemas, visto que não houve diferença estatística entre a interação desses locais em cada sistema. As médias do sistema adubadeira no local entre o carreador (EC) diferiram estatisticamente entre os sistemas. No local entre plantas (EP), houve diferença estatística entre os sistemas, com médias de estoque superiores no sistema adubadeira (. No local entre SAF's (ES), não houve diferença estatística entre as médias nos sistemas.

No sistema adubadeira, as médias em valores percentuais foram 33%, 30%, 25% e 12% nas distâncias 0,6m, 1,2m, 2m, e 4m, respectivamente. No sistema biodiverso nessas mesmas distâncias os valores foram 25%, 26%, 31% e 19%, respectivamente. A porcentagem de raízes finas nos diferentes locais EC, EP, ES, foi, respectivamente, 35%, 35% e 30%; no sistema biodiverso, essas médias nesses mesmos locais foram 27%, 34% e 39%, respectivamente.

## 13. DISCUSSÃO

### 13.1 ESTOQUE DE RAÍZES DETERMINADO PELA TÉCNICA DO MONÓLITO

Nos sistemas adubadeira, biodiverso e floresta secundária, aproximadamente 67%, 63% e 76% da densidade de raízes finas ( $\leq 2$  mm), respectivamente, estão concentrados nas primeiras camadas do solo (0-5 e 5-10 cm). As densidades de raízes finas nessas profundidades indicam que esses locais são responsáveis por processos biogeoquímicos e absorção de água e nutrientes (VALCARCEL *et al.* 2007). Em povoamento de *Eucalyptus grandis*, aproximadamente 57,9% da densidade de raízes finas foram encontradas nos primeiros 20 cm de profundidade do solo (WITSCHORECK & SCHUMACHER, 2003). Em estudos comparativos entre o comprimento radicular da pupunheira (*Bactris gaesipaes* H. B. K.) e do açazeiro (*Euterpe oleraceae* Mart.) em latossolo amarelo álico na Amazônia, a densidade de raízes finas foi maior nos 10 primeiros centímetros para o açazeiro e até 20 cm para a pupunheira (GÓES, *et al.* 2004).

A diferença no estoque de raízes finas com relação as profundidades do solo mostrou que o sistema adubadeira estocou mais raízes que os demais sistemas analisados em todas as profundidades pesquisadas. Diante desses resultados, pode-se aceitar a hipótese 2 desta pesquisa, visto que o estoque de raízes finas diminuiu com a profundidade do solo nos diversos sistemas testados. Esse comportamento no estoque das raízes pode estar relacionado a diversos fatores como maior aeração e disponibilidade de nutrientes das primeiras camadas do solo e aumento da densidade do solo com a profundidade do solo, dificultando a penetração e o desenvolvimento das raízes. De fato, neste estudo a densidade do solo em todos os sistemas aumentou com a profundidade do solo.

Resultados semelhantes ao desta pesquisa foram observados por alguns autores (LUY *et al.*, 1997) que estudaram a densidade de raízes finas de uma plantação de *Eucalyptus grandis* de diferentes idades em um ecossistema de silvicultura em clima tropical e solo franco areno argiloso. Eles concluíram que a densidade de raízes é maior nas primeiras camadas do solo. As plantas jovens apresentaram maiores densidade de raízes finas do que as plantas mais velhas. Essas diferenças foram atribuídas a maior busca de nutrientes para o metabolismo das plantas jovens que estão em fase de crescimento (LUY *et al.*, 1997).

Trabalhando com diferentes técnicas de amostragens (tradagem e monólitos), Sousa *et al.*, (2010) encontraram que cerca de 33% a 41% das raízes totais de palmeira de babaçu (*Attalea speciosa* Mart.) e de 47% a 55% das raízes finas estavam concentradas nos primeiros

10 cm do solo. Nunes *et al.*, (2009), analisando densidade de raízes de dendê sob sistemas de irrigação, concluíram que mais da metade (52%) do comprimento total de raízes da palma de óleo localizou-se nos primeiros 20 cm de solo; aproximadamente 80% estavam concentrados até 40 cm de profundidade, indicando a profundidade efetiva para controle de irrigações e camadas de solo para instalação de tensiômetros.

Segundo Macedo e Rodrigues (2000), o bom desenvolvimento do sistema radicular da palma de óleo é influenciado por diversos fatores, dentre os principais estão a estrutura do solo, a umidade do solo, a disponibilidade de oxigênio no solo e elementos minerais, o manejo do solo e a genética da planta.

As diferenças nos estoques de raízes finas entre os sistemas adubadeira, biodiverso e floresta secundária podem ser explicados, em parte, por diferenças entre as propriedades físicas (tabela 4) e químicas (tabela 2) observadas entre os sistemas. A densidade do solo, medida no local entre plantas, na profundidade de 5-10 cm no sistema biodiverso foi 1,43 g/cm<sup>3</sup>, enquanto que no sistema adubadeira foi 1,30 g/cm<sup>3</sup>. Provavelmente tal diferença tenha contribuído para um maior estoque de raízes no sistema adubadeira, visto que a densidade do solo reflete a compactação do solo. A diminuição do espaço poroso do solo constitui uma barreira física para a expansão e o desenvolvimento das raízes das plantas (Hamza & Anderson, 2005). No sistema biodiverso, há um maior trânsito de máquinas e pessoas, pois há uma necessidade maior no manejo das plantas, além de colheita da produção de frutas de espécies como cacau.

A densidade do solo aumentou com a profundidade do solo, em consonância com a diminuição do estoque de raízes finas em todos os sistemas testados. A densidade de raízes finas tende a diminuir com a profundidade no perfil do solo, mas o diâmetro radicular aumenta, visto que é necessário adquirir mais resistência para planta em função do aumento na densidade do solo em profundidade (TAPIA-CORAL *et al.*, 2005).

Os trabalhos de Witschoreck & Schumacher (2003) mostraram que a densidade de raízes finas diminuiu à medida que a profundidade do solo aumentou, havendo pouca variação após os 30 cm de profundidade. Esses resultados estão de acordo com aqueles encontrados por Navroski *et al.* (2010) em plantio de *Eucalyptus cloeziana* F. Meull. com 18 anos de idade, isto é, 44,6% da biomassa de raízes finas (564,97 kg ha<sup>-1</sup>) se concentraram nos primeiros 5 cm de solo, enquanto que 15% da biomassa (193,19 kg ha<sup>-1</sup>) se concentraram entre 15 a 20 cm de profundidade.

O fator nutricional também pode influenciar no estoque de raízes finas no solo. Algumas características entre os sistemas podem ser responsáveis pela diferença no estoque

de raízes. Alguns nutrientes estão intimamente relacionados com a produção de raízes, dentre eles o potássio e o nitrogênio (SCHROTH *et al.* 2000, NODICHAO L 2008). Os dados de análises químicas do solo (tabela 1 no anexo) realizadas por Carvalho (2010) nesta mesma área de estudo, mostraram que a concentração de potássio foi bem superior no sistema adubadeira.

Sendo esse nutriente bastante exigido pelas plantas no metabolismo das raízes, é possível que essa concentração de potássio possa ter influenciado em um maior estoque de raízes finas no sistema adubadeira. Além disso, o sistema biodiverso possui uma alta densidade de plantas, dentre elas a bananeira (*Musa sp.*). Essa espécie é bastante exigente em potássio promovendo grande absorção desse nutriente do solo (HOFFMANN *et al.*, 2010). Talvez seja esse o motivo de diferença na concentração desse nutriente entres os sistemas, que por sua vez pode influenciar no estoque de raízes finas.

As espécies leguminosas plantadas no sistema adubadeira podem ter contribuído com o aporte de nitrogênio no solo devido a fixação biológica desse nutriente. Isto também pode justificar o crescimento radicular da palma de óleo. Schroth *et al.*, (2000) avaliaram uma área de produção de óleo de palma com 15 anos sem adubação nitrogenada e verificaram que a densidade de raízes próximo a planta estava relacionada com a concentração de nitrogênio. Segundo Abreu (2004) é importante considerar o benefício da inclusão das plantas de cobertura principalmente porque essas espécies promovem a criação de poros biológicos de alta funcionalidade, para o desenvolvimento das raízes das culturas. Portanto, todos esses fatores (nutrientes e planta de cobertura) podem ter sido favoráveis para um maior estoque de raízes no sistema adubadeira.

O principal diferencial entre os solos agrícolas e os solos florestais é a presença da serapilheira (VASCONCELOS *et al.*, 2008). O aporte de matéria orgânica é possivelmente diferente entre os sistemas estudados, visto que há uma maior diversidade de plantas observada no sistema biodiverso e na floresta secundária promovem um maior acúmulo de biomassa e, portanto, maior disponibilidade de nutrientes e umidade nas camadas superficiais. Logo, esperava-se uma maior densidade de raízes finas, de acordo com a literatura. Esse acúmulo de matéria orgânica promove um importante mecanismo de transferência de fitomassa vegetal para o solo. (VIEIRA *et al.*, 2009). A presença de componente arbóreo, nos SAFs, promove uma absorção de nutrientes das diversas camadas do solo e aportam continuamente material orgânico, gerando impactos à superfície pela deposição desses materiais e abaixo da superfície do solo pela senescência do sistemas radiculares contribuindo para a ciclagem de nutrientes no ambiente agrícola. Segundo Duarte (2007) o continuo aporte

de material em decomposição sobre o solo, proporcionado pelos componentes arbóreos dos SAF's formará uma cobertura orgânica estável ao longo do ano que promoverá uma transferência nutricional ao solo.

No entanto isso não foi observado nessa pesquisa que constatou um maior estoque de raízes no sistema adubadeira. Esse resultado possivelmente se deve pelo fato do sistema adubadeira necessitar emitir mais raízes finas em busca de nutrientes e água atender a demanda vegetal. De fato, é possível medir a profundidade de enraizamento da palma de óleo utilizando-se medidas de água no solo (NELSON *et al* 2006). Em busca de nutrientes e água a planta destina grande quantidade de fotoassimilados para o sistema radicular a fim de suprir esses déficits (GONCALVES; MELLO, 2005).

O sistema biodiverso e a floresta secundária apresentaram resultados semelhantes, sugerindo que o sistema agroflorestal com maior diversidade de espécies tende a se aproximar de um sistema natural, estabilizando o crescimento de raízes para desenvolver outras estruturas da planta como crescimento e produção de folhas e frutos.

A floresta secundária, com idade e aporte de matéria orgânica via litterfall (dados não apresentados) maiores do que os sistemas agroflorestais, estocaram menos raízes finas que os demais sistemas. Uma explicação possível refere-se ao sistema radicular fasciculado do dendê que apresenta grande produção de raízes adventícias, sobretudo as finas medindo 1mm a 3mm de diâmetro (FERWEDA,1975). Além disso, um sistema estabilizado como as florestas tem menor probabilidade de sofrer estresse de origem química, físicas e biológicas, não sendo necessária a emissão grandes quantidades de raízes finas para sobrepor essas dificuldades.

As maiorias das pesquisas no Brasil mostram que as florestas secundárias, em geral, apresentam grande biomassa radicular, sobretudo nas primeiras camadas do solo, o que está em parte relacionado com a camada de serapilheira nesses ecossistemas (LOPES *et al.* 2008). A grande quantidade de raízes nos primeiros 30 cm de profundidade do solo nas florestas secundárias está relacionada com a presença da camada de serapilheira, que funciona como um isolamento térmico, reduzindo o aquecimento do solo e a perda de água por evaporação (NAVROSKI *et al.* 2010). A disponibilidade nutricional também é um fato que deve ser levado em consideração, visto que, segundo Valcarcel *et al.* (2007), a maior concentração radicular nas camadas mais superficiais do solo está relacionada com a disponibilidade de material depositado no solo como a serrapilheira, que além de ser um reservatório de água e nutrientes, melhora a textura do solo, aumentando a porosidade e a disponibilidade de oxigênio.

Altas taxas de deposição de matéria orgânica na superfície do solo contribuem para a manutenção de condições de temperatura e umidade favoráveis à atividade microbiana relacionada à decomposição em ecossistemas florestais (DAVIDSON *et al.*, 2000). Segundo Navroski *et al.* (2010), o acúmulo de biomassa orgânica nas primeiras camadas do solo contribui para o aumento da densidade de raízes.

### 13.2 ESTOQUE DE RAÍZES DETERMINADO PELO MÉTODO DE TRADAGEM

Houve um decréscimo no estoque de raízes finas à medida que houve um aumento na distância com relação à base da planta. Esses resultados foram mais evidentes no sistema adubadeira.

Os valores percentuais do estoque de raízes nos tratamentos biodiverso e adubadeira, nos diferentes locais e diferentes distâncias, permitem aceitar a hipótese 1 dessa pesquisa. O estoque de raízes finas de palma de óleo encontrado entre as plantas, entre o carreador e entre os sistemas agroflorestais foi diferente nos sistemas Biodiverso e Adubadeira.

Com relação às diferentes distâncias testadas, o sistema adubadeira seguiu uma distribuição de densidade de raízes finas diferente do sistema biodiverso. No sistema adubadeira, foi observado um aumento de raízes finas a 0,6 m da base planta (33%) e uma diminuição gradativa com o afastamento da base da planta, visto que, aos 4m, a densidade foi 12%. Essa arquitetura de crescimento radicular não foi observada no sistema biodiverso, que mostrou uma maior densidade de raízes finas nas distâncias mais afastadas da palma de óleo; aos 0,6 m da base da planta a densidade foi de 25% e, aos 2 m, a densidade aumentou para 31%. Esses resultados podem estar relacionados a influência do sistema radicular das diversas plantas que existem nesse sistema, como a planta de cacau plantada na linha entre a palma de óleo e a linha do sistema agroflorestal.

Estudos sobre plantas da mesma família da palma de óleo (Arecaceae), coqueiro (*Cocos nucifera*) e açazeiro (*Euterpe oleracea*) mostraram que, na fase de desenvolvimento do coqueiro, grande parte do sistema radicular se concentra lateralmente em até 1 m de raio, chegando na fase adulta a um raio de até 2 m (SANTOS *et al* 2008). O sistema radicular do açaí é superficial e prolonga-se, superficialmente, por até cerca de 3,0 m a 3,5 m da base do estipe, em indivíduos com três anos de idade, podendo, em plantas com mais de dez anos, atingir 5 m a 6 m de extensão (MENEZES NETO, 1994).

Fatores nutricionais e físicos podem ter contribuído para a diferença de estoque de raízes entre os sistemas testados. Na linha de plantio das espécies que fazem parte dos

sistemas agroflorestais adubadeira e biodiverso, são colocados materiais de poda do próprio sistema. Esse material serve de adubação para o solo após sua decomposição, enriquecendo o solo com matéria orgânica; possivelmente o acúmulo de nutrientes nesse local pode ter sido responsável pela maior emissão de raízes finas das plantas aumentando o estoque radicular no solo (FRAZÃO, 2012); LAW *et al* 2009).

Os sistemas adubadeira e biodiverso diferem em relação à densidade de plantas (tabela 1). No sistema biodiverso, que apresenta maior número de espécies plantadas. O material oriundo da poda é depositado nas linhas dos sistemas agroflorestais para servirem de adubação após decomposição. No sistema adubadeira o menor aporte de matéria orgânica pode estimular o crescimento das raízes finas em busca de nutrientes, resultando em um maior estoque. O aumento estoque radicular pode ser ocasionado quando a planta necessita suprir necessidades nutricionais (LAMBERS *et al* 1998).

O conhecimento sobre os sistemas radiculares das plantas é de suma importância para entender a relação solo–planta–atmosfera. No entanto as pesquisas ainda são muito tímidas, talvez por razões metodológicas, temporais, financeiras ou por causa da grande mão de obra que envolve os processos. É necessário ainda um vasto conhecimento a respeito de inúmeras variáveis que influenciam o desenvolvimento, estoque e distribuição das raízes das plantas. Dentro desse rol de variáveis algumas merecem destaques tais como: a influência de alguns nutrientes na dinâmica das raízes, o aporte de serrapilheira contribuindo para melhoria física, química e biologia do solo ou a física do solo analisando a densidade do solo e a compactação dos poros o quais são responsáveis pelas reservas de água e gases do solo, sendo estes diretamente responsáveis pelo bom desenvolvimento radicular das plantas.

## 14. CONCLUSÕES

O estoque de biomassa das raízes finas usando a técnica do monólito mostrou grande densidade de raízes finas nas primeiras camadas do solo em todos os sistemas analisados diminuindo com a profundidade. A densidade de raízes finas foi maior no sistema adubadeira, possivelmente por razões físicas e/ou nutricionais do solo.

Utilizando a técnica do trado para avaliar a variabilidade espacial no estoque de raízes finas em diferentes locais no plantio de palma de óleo, foi possível demonstrar que o manejo do solo afeta o estoque de raízes finas.

## REFERÊNCIAS

ABREU, S.L.; REICHERT, J.M. & REINERT, D.J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **R. Bras. Ci.Solo**, 28:519-531, 2004.

BÖHM, W. Methods of studying root systems. New York, **Springer-Verlag**, 1979.p.194.

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

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W. et al. *Defining soil quality for ansustainable environment*. Madison: Soil Science Society of America, p. 3-21. 1994.

DUARTE, E. M. G. Ciclagem de nutrientes por árvores em sistemas agroflorestais na Mata Atlântica. Universidade Federal de Viçosa, 2007. Tese (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Viçosa: UFV, 2007, 115p.

GONÇALVES, J. L. DE M.; MELLO, S. L. DE M. O sistema radicular das árvores. In: GONÇALVES, J. L. DE M ; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. p. 219-267. 2005

HAMZA, M.A. & ANDERSON, W.K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil Till. Res.**, V.82:121-145, 2005.

HOFFMANN, R.B.; OLIVEIRA, F.H.T. de; SOUZA, A.P. de; GHEYI, H.R.; SOUZA JÚNIOR, R.F. de. Acúmulo de matéria seca e de macronutrientes em cultivares de bananeira irrigada. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.32, p.268-275, 2010.

LAMBERS, H.; CHAPIN III, F. S.; PONS,T.L. 1998. **Plant Physiological ecology**. New York:Springer-Verlog,540 P.

LOPES, V. G., GRIEBELER, C.; SCHUMACHER, M. V.; Biomassa e comprimento de raízes finas (< 2,0 mm) na serapilheira de uma Floresta Estacional Decidual em Itaara - RS. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL, 4, 2008, Nova Prata. Anais... Santa Maria: UFSM, 2008.

LUY, A.; GOYA, J. F.; FRANGI, J. L. Distribución de la biomasa aérea y subterránea en plantaciones de *Eucalyptus grandis* de distintas edades en la región de Concordia, Entre Ríos (Argentina). In: CONGRESO FORESTAL ARGENTINO Y LATINO - AMERICANO "Forestar y crecer" 12, 1997, Posada-Misiones: Asociación Forestal Argentina, 1997.

MACEDO, J. L. V. de; RODRIGUES, M. do R. L. Solos da Amazônia e o cultivo do dendezeiro. In: VIÉGAS, I. de J.M.; MÜLLER, A. A. (Ed.) **A cultura do dendezeiro na Amazônia Brasileira**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental/Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, p. 73-87. 2000.

MENEZES NETO, M.A. Influência da disponibilidade de oxigênio sobre a germinação, crescimento e atividade das enzimas álcool desidrogenase e lactato desidrogenase em açaí (*Euterpe oleracea* Mart.). Lavras: ESAL, 1994. 50p. Tese de Mestrado

GÓES, A.V.M.; AUGUSTO, S.G.; MARTINS, P.F.S. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA RADICULAR EFETIVO DO CACAUEIRO (*Theobroma cacao* L.), DA PUPUNHEIRA (*Bactris gaesipaes* H. B. K.) E DO AÇAIZEIRO (*Euterpe oleracea* Mart.) EM LATOSSOLO AMARELO ÁLICO NA AMAZÔNIA. **Revista. ciência. agrária.**, n. 41, p. 47-56, jan./jun. 2004.

NAVROSKI, M.C; BIALI, L.J; BIANCHIN, J.E; CAMARGO, L.; SCHUMACHER, M.V. Quantificação de biomassa e comprimento de raízes finas em povoamento de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. Recife, Pe. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.5, n.4, p.535-540, 2010.

NELSON PN, BANABAS M, SCOTTER DR, WEBB MJ Using soil water depletion to measure spatial distribution of root activity in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) plantations. **Plant Soil** 286:109–121, 2006.

NODICHAO L. Biodiversité racinaire, absorption potassique et résistance à la sécheresse chez le palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq.). PhD Thesis, Université Cocody Abidjan, Côte d'Ivoire (in French), p 316. (2008)

NUNES, M.F.F.N; VARGAS, S.B.R.; ROCHA, L.P; BATISTELA, G.; AZEVEDO, J.A; RODRIGUES, L.N; SILVA, E.F.F. Quantificação de raízes de dendê irrigado por micro aspersão no cerrado utilizando imagens Digitais. Universidade Federal de Pernambuco, Recife. Brasil, 2009.

SCHROTH, G.; RODRIGUES, M.R.L.; D'ANGELO, S.A. Spatial patterns of nitrogen mineralization, fertilizer distribution and roots explain nitrate leaching from mature Amazonian oil palm plantation. **Soil Use and Management.**, 16: 222-229, 2000.

SANTOS, I. S.; AZEVEDO, C. A. V.; GUERRA, H. O. C.; SOARES, F. A. L.; LIMA, V. L. A.; NETO, J. D. Economia de água na irrigação do coqueiro em função de áreas de maior concentração do sistema radicular e cobertura do solo. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 3, n. 3, p. 105-113, 2008.

SOUSA, J. T. R.; GEHRING, C. Adequacy of contrasting sampling methods for root mass quantification in a slash-and-burn agroecosystem in the eastern periphery of Amazonia. **Biology and Fertility of Soils (Print)**, v. 46, p. 851-859, 2010.

VALCARCEL, R.; VALENTE, F.D.W.; MOROKAWA, M.J.; NETO, F.V.C.; PEREIRA, C.R. Avaliação da biomassa de raízes finas em área de empréstimo submetida a diferentes composições de espécies. **Revista Árvore**, v.31, n.5, p.923-930, 2007.

VASCONCELOS, S. S.; ZARIN, D. J.; ARAÚJO, M. M.; RANGEL-VASCONCELOS, L. G.T.; CARVALHO, C. J. R.; STAUDHAMMER, C. L.; OLIVEIRA, F. A. Effects of seasonality, litter removal and dry-season irrigation on litterfall quantity and quality in eastern Amazonian forest regrowth, Brazil. **Journal of Tropical Ecology** 24: 27-38.2008.

VIERA, J.; TEIXEIRA, M.; LOSS, A.; LIMA, E.; ZONTA, E. Produção de Folheto e Retorno de Nutrientes ao Solo pela Espécies *Eucalyptus urograndis*. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.4, p.40-43, 2009.

WITSCHORECK, R.; SCHUMACHER, M. V. Estimativa da biomassa e do comprimento de raízes finas em *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maid. no município de Santa Maria, RS. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.27, n.2, p.177-183, 2003.

## ANEXOS

**Tabela 1** - Características químicas e granulométricas do solo sob sistemas agroflorestais com baixa (Adubadeiras) e alta diversidade de espécies plantadas (Biodiverso) e floresta secundária em agosto de 2010, no município de Tomé Açu (PA).

Sistema	Prof. cm	g kg <sup>-1</sup>			pH <sub>H2O</sub>	mg dm <sup>-3</sup>			cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		
		Areia	Silte	Argila		P	K	Na	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Al <sup>+3</sup>
T1	0-10	699	142	160	5,89	13,80	117,30	28,24	3,63	1,01	0,12
	10-20	623	137	240	5,87	15,00	104,70	26,27	3,04	0,95	0,13
T2	0-10	699	132	170	5,51	13,75	54,78	24,48	3,93	1,20	0,11
	10-20	573	148	280	5,51	6,00	39,95	18,60	2,64	0,78	0,17
FSEC	0-10	749	112	140	5,07	2,50	20,50	12,50	1,89	0,61	0,44
	10-20	579	181	240	5,08	1,20	18,80	11,80	1,40	0,50	0,44

Modificado de Carvalho (2011)



**Figura 1.** Disposição dos locais e distâncias de coleta de amostras de solo para determinação do estoque de raízes finas.



**Figura 2.** Floresta Secundária de aproximadamente 13 anos de idade, no município de Tomé-Açu, Pará.



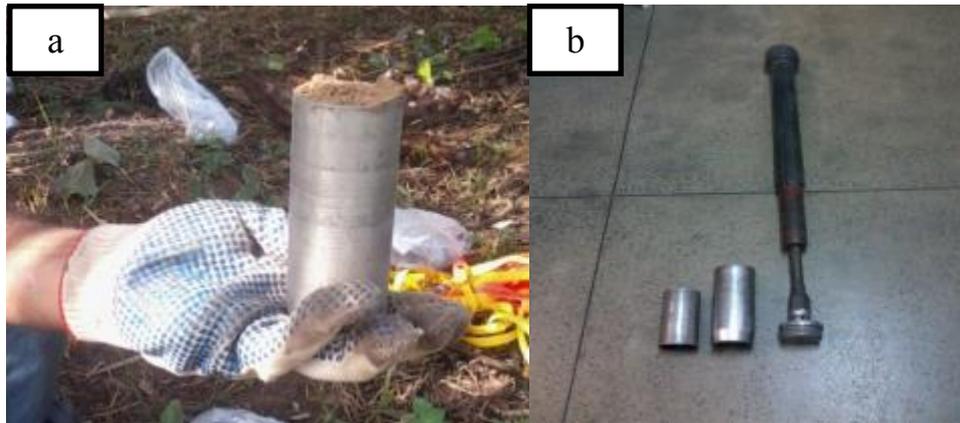
**Figura 3:** Trincheira utilizada para coleta de monólitos com dimensões de 70 cm de comprimento, 70 cm de largura e 40 cm de profundidade.



**Figura 4:** Medição da profundidade do monólito.



**Figura 5:** Bloco de solo retirado do monólito contendo raízes.



**Figura 6.** Amostra de solo para quantificação do estoque de raízes finas (a) e trado utilizado para a coleta (b).



**Figura 7.** Cadinho com amostra de raízes coletadas evidenciando diferentes classes de diâmetro de raízes.



**Figura 8:** Equipamentos e material utilizado para quantificação da massa seca de raízes - 1: estufa, 2: balança de precisão, 3: sacos de papel para armazenagem das raízes secas