



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA**

**PRODUÇÃO DE RAÍZES FINAS EM UMA FLORESTA  
SECUNDÁRIA DA AMAZÔNIA ORIENTAL**

**TÂMARA THAIZ SANTANA LIMA**

**BELÉM**

**2008**

*Tâmara Thaiz Santana Lima - Dissertação de Mestrado UFRA 2008*



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA**

**PRODUÇÃO DE RAÍZES FINAS EM UMA FLORESTA  
SECUNDÁRIA DA AMAZÔNIA ORIENTAL**

**Engenheira Florestal TÂMARA THAIZ SANTANA LIMA**

**Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural  
da Amazônia para a obtenção do título de Mestre em  
Ciências Florestais, área de concentração Silvicultura.**

**Orientadora: Profa. Dra. IZILDINHA DE SOUZA MIRANDA**

**BELÉM**

**2008**

Lima, Tâmara Thaiz Santana

Produção de raízes finas em uma floresta secundária da Amazônia Oriental./ Tâmara Thaiz Santana Lima.- Belém, 2008.

56 f.:il.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural da Amazônia, 2008.

1. Crescimento - dinâmica 2. Irrigação 3. Serapilheira – remoção  
4. Sazonalidade 5. Sucessão florestal I. Título.

CDD – 634.99



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA**

**PRODUÇÃO DE RAÍZES FINAS EM UMA FLORESTA  
SECUNDÁRIA DA AMAZÔNIA ORIENTAL**

**TÂMARA THAIZ SANTANA LIMA**

**Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural  
da Amazônia para a obtenção do título de Mestre em  
Ciências Florestais, área de concentração Silvicultura.**

Aprovado em dezembro de 2008

**BANCA EXAMINADORA**

---

Dra. Izildinha de Souza Miranda  
Orientadora - Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA

---

Dr. Hugo Alves Pinheiro  
Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA

---

Dr. José Henrique Cattanio  
Universidade Federal do Pará - UFPA

---

Dr. Fernando Cristóvam da Silva Jardim  
Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA

As mulheres da minha vida

**Tábata Lima**, minha irmã

**Izabel Santos**, minha mãe

**Beatriz Santos**, minha avó (*in memoriam*)

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, o Senhor da minha vida, por ter me presenteado com tudo o que tenho. Sem sua presença viva nada do que aconteceu e está acontecendo seria possível.

À Universidade Federal Rural da Amazônia pela oportunidade de cursar a pós-graduação e pelo apoio necessário.

Ao CNPq pelo financiamento do projeto de pesquisa e pela bolsa de Iniciação Científica durante a coleta dos dados.

Ao DAAD pela concessão da bolsa de mestrado.

À minha orientadora Izildinha Miranda pela confiança, esforço, dedicação, intensa orientação e amizade durante os mais de cinco anos de pesquisa.

Ao meu co-orientador Steel Vasconcelos por ter me apresentado às minhas companheiras, raízes finas, e pela valiosa orientação.

À equipe de estagiários que eu vi passar durante estes anos: Ana Maria Fernandes, Bruno Matos, Cristiane Formigosa, Fábio Leão, Fernando Lacerda, Heraldo Silva, Herison Silva, Lílian Favacho e Magno Reis pela ajuda na coleta e processamento das amostras e pela amizade linda que construímos durante este longo período.

À maravilhosa equipe da Estação de Castanhal, Raimundo Nonato, D. Eliana, Paulo e aos meninos do Sr. Geraldo pela ajuda no campo e momentos de descontração.

À toda a equipe Manflora pelo incentivo e oportunidade.

Aos amigos Fernando Peçanha, Letícia Pantoja, Márcia Barros, Prof. Luiz Gonzaga, Roberta Coelho e Robson Ramos pelas contribuições, incentivo e amizade.

A todas as pessoas que estiveram de passagem ajudando na coleta das amostras.

À minha família, pela paciência, pela força e pela confiança que tiveram em mim.

Ao Benício, que muito mais do que amigo foi meu companheiro em momentos de crise.

A ACAS e a Irmã Clara pelas orações e pela paciência durante minhas ausências.

Aos meus pets lindos por me ajudarem a relaxar durante as longas madrugadas.

A todos muito obrigada!

Deus conversa com as plantas  
no meu jardim.  
Como jardineiro  
Cuida das raízes e das flores.  
Deus sopra o perfume do  
amor  
na sua criação.  
Da minha varanda  
Observo Deus cuidar da  
existência.  
Cuida de minha alma  
“sua rosa favorita”  
e enche de perfume o meu coração.  
“É primavera no olhar de  
Deus.  
Ao contemplá-lo  
enche-se de  
flores o meu ser.”

(Thays Araújo)

## RESUMO

A produção de raízes finas pode contribuir com a ciclagem biogeoquímica nos ecossistemas florestais, incluindo a emissão de gases importantes para o efeito estufa. Apesar da importância das raízes finas, poucos estudos têm sido realizados neste compartimento da planta principalmente devido a dificuldade de medir sua produção. Os objetivos deste trabalho foram (1) avaliar o efeito da disponibilidade de água e nutrientes, através de irrigação e remoção de serapilheira, sobre a produção de raízes finas; e (2) avaliar a dinâmica da produção de raízes finas de uma floresta secundária em diferentes idades. O trabalho foi realizado em uma floresta secundária localizada em Castanhal, Pará, Brasil. A produção das raízes finas ( $\leq 2$  mm) foi acompanhada utilizando o método de cilindro telado, em coletas bimensais, entre julho de 2005 e julho de 2007. Para avaliar o efeito da disponibilidade de água e nutrientes uma área de floresta secundária de 18 anos foi dividida em quatro blocos; em cada bloco foram instaladas três parcelas de 20 m x 20 m, sendo uma parcela irrigada (IRR), uma parcela submetida à remoção da serapilheira (REM) e uma parcela testemunha (CTL). A irrigação (5 mm de água/dia/parcela) ocorreu somente na estação seca. A remoção da serapilheira foi manual, a cada 15 dias. A produção média de biomassa de raízes vivas mostrou uma interação significativa entre tratamento e período de coleta, sendo a produção maior na estação seca (CTL: seca = 17,915 g/m<sup>2</sup>/mês, chuvosa = 10,761 g/m<sup>2</sup>/mês; IRR: seca = 19,48 g/m<sup>2</sup>/mês, chuvosa = 11,263 g/m<sup>2</sup>/mês; REM: seca = 10,58 g/m<sup>2</sup>/mês, chuvosa = 5,90 g/m<sup>2</sup>/mês). A produção média de biomassa de raízes mortas apresentou um comportamento sazonal, sendo também maior na estação seca (CTL: seca = 0,377 g/m<sup>2</sup>/mês, chuvosa = 0,181 g/m<sup>2</sup>/mês; IRR: seca = 0,65 g/m<sup>2</sup>/mês, chuvosa = 0,231 g/m<sup>2</sup>/mês; REM: seca = 0,66 g/m<sup>2</sup>/mês, chuvosa = 0,30 g/m<sup>2</sup>/mês). A dinâmica da produção em comprimento (m/m<sup>2</sup>/ano) foi similar à dinâmica da biomassa. O comprimento radicular específico não foi diferente entre os tratamentos (CTL = 52,74 m/g; IRR = 61,42 m/g; REM = 50,73 m/g) e nem entre os períodos de coleta. Para avaliar a dinâmica da produção de raízes finas em áreas de diferentes idades foram escolhidos dois sítios, de 18 (FS<sub>18</sub>) e 10 anos (FS<sub>10</sub>). No sítio de 10 anos a produção média de biomassa de raízes vivas e mortas foi de 88,386 e 2,235 g/m<sup>2</sup>/ano, respectivamente. No sítio de 18 anos a produção média de biomassa de raízes vivas e mortas foi de 86,030 e 1,673 g/m<sup>2</sup>/ano, respectivamente. A produção mensal média de biomassa de raízes vivas não foi diferente entre os sítios; no entanto, apresentou um comportamento sazonal, sendo significativamente maior na estação seca (FS<sub>10</sub>: seca = 17,523 g/m<sup>2</sup>/mês, chuvosa = 11,939 g/m<sup>2</sup>/mês; FS<sub>18</sub>: seca = 17,915 g/m<sup>2</sup>/mês, chuvosa = 10,761 g/m<sup>2</sup>/mês). A produção média de biomassa de raízes mortas mostrou uma interação significativa entre tratamento e período de coleta, os valores foram maiores no FS<sub>10</sub> na estação seca (FS<sub>10</sub>: seca = 0,373 g/m<sup>2</sup>/mês, chuvosa = 0,373 g/m<sup>2</sup>/mês; FS<sub>18</sub>: seca = 0,377 g/m<sup>2</sup>/mês, chuvosa = 0,181 g/m<sup>2</sup>/mês). A dinâmica da produção em comprimento foi similar à dinâmica da biomassa. O comprimento radicular específico foi significativamente diferente entre os sítios, sendo maior no FS<sub>10</sub> e na estação chuvosa (FS<sub>10</sub>: seca = 64,57 m/g, chuvosa = 66,74 m/g; FS<sub>18</sub>: seca = 47,23 m/g, chuvosa = 57,72 m/g).

Palavras-chave: Dinâmica de crescimento, Irrigação, Remoção da Serapilheira, Sazonalidade, Sucessão Florestal.

## ABSTRACT

The fine root production may contribute to the biogeochemistry cycling in forest ecosystems, especially in emission of gases important to climatic change. Despite the importance of fine roots, few studies have been conducted in this part of the plant mainly due to the difficulty of measuring their production. The objective of this work were (1) to assess the water and nutrients availability through irrigation and litter removal on the fine root production, and (2) to assess the fine root production dynamic of a forest regrowth at different ages. The study was carried out in an forest regrowth, located in Castanhal, in the state of Pará, Brazil. The fine root production ( $\leq 2$  mm) was monitored using the Ingrowth Core method, removed every two months, between July 2005 and July 2007. To assess the water and nutrients availability one area of forest regrowth of 18 years was divided into four blocks; three 20 m x 20 m plots were set up randomly within each block, one plot was irrigated (IRR), the litter was removed from one plot (REM) and one plot was the control (CTL). The irrigation (5 mm of water per day per plot) occurred only in the dry season. The litter removal was manual, every 15 days. The average of live root biomass production showed a significant interaction between treatment and period of collection, with greater production in the dry season (CTL: dry = 17.915 g/m<sup>2</sup>/month, rainy = 10.761 g/m<sup>2</sup>/month; IRR: dry = 19.48 g/m<sup>2</sup>/month, rainy = 11.263 g/m<sup>2</sup>/month; REM: dry = 10.58 g/m<sup>2</sup>/month, rainy = 5.90 g/m<sup>2</sup>/month). The average of dead root biomass production showed a seasonality, and is also greater in dry season (CTL: dry = 0.377 g/m<sup>2</sup>/month, rainy = 0.181 g/m<sup>2</sup>/month; IRR: dry = 0.65 g/m<sup>2</sup>/month, rainy = 0.231 g/m<sup>2</sup>/month; REM: dry = 0.66 g/m<sup>2</sup>/month, rainy = 0.30 g/m<sup>2</sup>/month). The dynamics of fine root length production (m/m<sup>2</sup>/year) was similar to biomass dynamics. The root specific length was similar between treatments (CTL = 52.74 m/g; = IRR 61.42 m/g REM = 50.73 m/g), e between the collection period. To assess the dynamics of fine root production in forest regrowth at different ages were chosen one 18 -year-old site (FS<sub>18</sub>) and one 10 year-old site (FS<sub>10</sub>). In the FS<sub>10</sub> the average of live and dead fine root biomass production was 88.386 and 2.235 g/m<sup>2</sup>/year, respectively. In the FS<sub>18</sub> the average of live and dead fine root biomass production was 86.030 and 1.673 g/m<sup>2</sup>/year, respectively. The monthly biomass production of live roots was similar between sites, but presented a seasonality and was significantly greater in the dry season (FS<sub>10</sub>: dry = 17.523 g/m<sup>2</sup>/month, rainy = 11.939 g/m<sup>2</sup>/month; FS<sub>18</sub>: dry = 17.915 g/m<sup>2</sup>/month, rainy = 10.761 g/m<sup>2</sup>/month). The average of dead root biomass production showed a significant interaction between treatment and collection period, the values were greater in FS<sub>10</sub> during the dry season (FS<sub>10</sub>: dry = 0.373 g/m<sup>2</sup>/month, rainy = 0.373 g/m<sup>2</sup>/month; FS<sub>18</sub>: dry = 0.377 g/m<sup>2</sup>/month, rainy = 0.181 g/m<sup>2</sup>/month). The dynamics of fine root length production (m/m<sup>2</sup>/year) also was similar to biomass dynamics. The root specific length was significantly different between sites, with greater production in FS<sub>10</sub> during the wet season (FS<sub>10</sub>: dry = 64.57 m/g, rainy = 66.74 m/g; FS<sub>18</sub>: dry = 47.23 m/g, rainy = 57.72 m/g).

Keywords: Dynamics of Growth, Irrigation, Litter Removal, Seasonality, Forest Sucession.

## SUMÁRIO

	p.
<b>1. CONTEXTUALIZAÇÃO.....</b>	<b>01</b>
<b>1.1. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>03</b>
<b>2. EFEITO DA DISPONIBILIDADE DE ÁGUA E NUTRIENTES, ATRAVÉS DE IRRIGAÇÃO E REMOÇÃO DE SERAPILHEIRA, SOBRE A PRODUÇÃO DE RAÍZES FINAS EM UMA FLORESTA SECUNDÁRIA NA AMAZÔNIA ORIENTAL.....</b>	<b>06</b>
<b>2.1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>06</b>
<b>2.2. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>08</b>
<b>2.2.1. ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>08</b>
<b>2.2.2. DESENHO EXPERIMENTAL.....</b>	<b>08</b>
<b>2.2.3. MEDIÇÃO DA PRODUÇÃO DAS RAÍZES FINAS.....</b>	<b>10</b>
<b>2.2.4. ANÁLISE DOS DADOS.....</b>	<b>12</b>
<b>2.3. RESULTADOS.....</b>	<b>12</b>
<b>2.3.1. PRECIPITAÇÃO E TENSÃO DE ÁGUA NO SOLO.....</b>	<b>12</b>
<b>2.3.2. IRRIGAÇÃO x TESTEMUNHA.....</b>	<b>14</b>
<b>2.3.3. REMOÇÃO x TESTEMUNHA.....</b>	<b>17</b>
<b>2.4. DISCUSSÃO.....</b>	<b>20</b>
<b>2.5. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>22</b>
<b>3. PRODUÇÃO DE RAÍZES FINAS EM UMA FLORESTA SECUNDÁRIA EM DIFERENTES IDADES NA AMAZÔNIA ORIENTAL.....</b>	<b>27</b>
<b>3.1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>27</b>
<b>3.2. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>28</b>
<b>3.2.1. ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>28</b>
<b>3.2.2. MEDIÇÃO DA PRODUÇÃO DAS RAÍZES FINAS.....</b>	<b>29</b>
<b>3.2.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....</b>	<b>30</b>
<b>3.3. RESULTADOS.....</b>	<b>31</b>
<b>3.3.1. BIOMASSA DE RAÍZES FINAS.....</b>	<b>31</b>
<b>3.3.2. COMPRIMENTO DE RAÍZES FINAS.....</b>	<b>33</b>
<b>3.3.3. MORFOLOGIA DAS RAÍZES FINAS.....</b>	<b>35</b>
<b>3.4. DISCUSSÃO.....</b>	<b>35</b>
<b>3.5. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>39</b>
<b>4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>45</b>

## LISTA DE TABELAS

	<b>p.</b>
TABELA 3.1. Produção de raízes finas em florestas tropicais.....	36

Tâmara Thaiz Santana Lima - Dissertação de Mestrado UFRA 2008

## LISTA DE FIGURAS

	<b>p.</b>
FIGURA 2.1. Desenho experimental.....	09
FIGURA 2.2. Diferentes fases da metodologia do estudo de raízes finas. A) Solo sendo preparado; B) sacos preparados; C) Saco sendo preenchido com terra fina seca ao ar; D) Buraco feito na área para colocação do saco; E) Saco enterrado; F) Saco colhido após dois meses; G) Raízes armazenadas em potes com álcool; H) Os potes armazenados sob refrigeração; I) Raízes coloridas com violeta genciana; J) Raízes preparadas para digitalizar; K) Imagem gerada para medição do comprimento radicular.....	11
FIGURA 2.3. Média mensal da precipitação pluviométrica na Estação Experimental da Universidade Federal Rural da Amazônia, nordeste do Estado do Pará, Brasil.....	13
FIGURA 2.4. Média mensal da tensão do solo na Estação Experimental da Universidade Federal Rural da Amazônia, na região de Apeú, no nordeste do Estado do Pará, Brasil.....	13
FIGURA 2.5. Média e erro padrão da produção de biomassa de raízes finas (A) viva e (B) morta da IRR vs CTL de uma floresta tropical secundária na Amazônia Oriental.....	15
FIGURA 2.6. Média e erro padrão da produção em comprimento de raízes finas (A) vivas e (B) mortas da IRR vs CTL de uma floresta tropical secundária na Amazônia Oriental.....	16
FIGURA 2.7. Média e erro padrão da biomassa de raízes finas (A) viva e (B) morta da REM vs CTL de uma floresta tropical secundária na Amazônia Oriental.....	18
FIGURA 2.8. Média e erro padrão do comprimento de raízes finas (A) vivas e (B) mortas da REM vs CTL de uma floresta tropical secundária na Amazônia Oriental.....	19
FIGURA 3.1. Produção de biomassa de raízes finas (A) viva e (B) morta de uma floresta tropical secundária em diferentes idades na Amazônia Oriental. Dados são média $\pm$ erro padrão (n = 4).....	32
FIGURA 3.2. Produção em comprimento de raízes finas (A) viva e (B) morta de uma floresta tropical secundária em diferentes idades na Amazônia Oriental. Dados são média $\pm$ erro padrão (n = 4).....	34

## 1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A ocupação intensa da Amazônia começou no início da década de 1970. Embora áreas extensas ainda permaneçam intactas, a taxa de perda da floresta é dramática (Fearnside, 2005). O desflorestamento ocorre para a extração de madeira e principalmente para implantação de pastagens e campos agricultáveis (Nepstad *et al.*, 1999). No período de 2006 a 2007 a taxa de desmatamento na Amazônia Legal foi de 11.532 Km<sup>2</sup>. O Pará contribuiu com, aproximadamente, 47% desse desmatamento, sendo o segundo estado com a maior taxa de desmatamento na Amazônia Legal (INPE, 2008).

No estado do Pará, a região bragantina é a região mais antiga a sofrer ação antrópica (Denich, 1986). Essa região, no início deste século, apresentava aproximadamente 50% de sua área coberta de florestas secundárias em diferentes idades de sucessão, sendo 22% com menos de seis anos (Vieira *et al.*, 2003). Essa região é caracterizada por uma paisagem composta por um mosaico de florestas em diferentes estágios sucessionais (Vieira *et al.*, 2007).

O desflorestamento tem resultado em efeitos na mudança climática, diversidade biológica, ciclo hidrológico, erosão e degradação do solo (Shukla; Nobre; Sellers, 1990; Skole; Tucker, 1993; Fearnside, 2006). Através do desflorestamento ocorre a emissão de gás carbônico (CO<sub>2</sub>) e outros gases de efeito estufa para a atmosfera (Lima, 2002; Fearnside, 2005, 2006).

Uma parte do CO<sub>2</sub> emitido para a atmosfera pelo desmatamento é reabsorvida através do crescimento de florestas secundárias nas áreas desmatadas, mas os outros gases de efeito estufa, tais como metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), não são (Fearnside, 2006). As florestas secundárias acumulam nutrientes (Vieira *et al.*, 2003), restabelecem a evapotranspiração, contribuem para o ciclo hidrológico (Hölscher *et al.*, 1997) e manutenção da biodiversidade (Kass; Somarriba, 1999).

O cenário de mudança climática global associada às tentativas para aumentar o seqüestro de carbono nos ecossistemas terrestres tem gerado muito interesse em sintetizar dados de biomassa de florestas (Vogt; Vogt; Bloomfield, 1998; Zheng-chao; Zhou-ping, 2006); e as florestas têm sido sugeridas como importantes sistemas para o controle do fluxo global de carbono (Dixon *et al.*, 1994; Vogt *et al.*, 1996). Nesse sentido, a produção de raízes finas pode contribuir com mais da metade do ciclo de carbono em ecossistemas florestais (Vogt *et al.*, 1996). Mais de 33% da produtividade primária líquida global anual em ecossistemas terrestres é destinada à produção de raízes finas (Jackson; Mooney; Schulze, 1997). 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).

Apesar da importância das raízes finas frente às mudanças globais, poucos estudos têm sido realizados neste compartimento da planta em relação aos componentes acima do solo. Estas informações são ainda mais escassas ao se tratar de florestas secundárias. A dificuldade de medir a produção de raízes finas (Jordan; Escalante, 1980; Norby *et al.*, 2004) e de como os fatores abióticos podem mudar este parâmetro (Vogt; Vogt; Bloomfield, 1998) contribuem para limitar a habilidade em prever os efeitos da mudança ambiental sobre a dinâmica das raízes (Eissenstat *et al.*, 2000).

Alguns fatores como a disponibilidade de água e nutrientes no solo, a temperatura e a estrutura do solo, a concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico, a deposição de serapilheira, a atividade microbiana, o estágio sucessional, o histórico de uso do solo e a composição florística têm sido apontados como fatores que influenciam a produção de raízes finas em vários ecossistemas florestais (Visalakshi, 1994; Cavelier; Estevez; Arjona, 1996; Hendrick; Pregitzer, 1996; Cavelier; Wright; Santamaría, 1999; Maycock; Congdon, 2000; McGroddy; Silver, 2000; Stewart, 2000; Blair; Perfecto, 2001; Castellanos *et al.*, 2001; Yavitt; Wright, 2001; Jaramillo *et al.*, 2003; Silver *et al.*, 2005; Metcalfe *et al.*, 2008). No entanto, como esses fatores atuam na produção de raízes finas em ecossistemas florestais secundários nos trópicos ainda é muito pouco compreendido.

Estudos sobre a produção de raízes finas e fatores que podem influenciar a sua dinâmica de produção em florestas tropicais secundárias são indispensáveis para o entendimento da função destes ecossistemas e em prever como as mudanças causadas pelo desmatamento poderiam mudar a sua estrutura ecológica (Vogt *et al.*, 1993).

A fim de contribuir para este entendimento, o presente trabalho se propõe a testar três hipóteses: (1) a produção de raízes é influenciada pela disponibilidade de água; (2) a produção de raízes finas é influenciada pela disponibilidade de nutrientes; (3) a produção de raízes finas muda nos diferentes estágios sucessionais. Essas hipóteses foram a base para o desenvolvimento dos objetivos que compõem os dois próximos capítulos deste trabalho, são eles: (1) avaliar o efeito da disponibilidade de água e nutrientes, através de irrigação e remoção de serapilheira, sobre a produção de raízes finas em uma floresta secundária na Amazônia Oriental (apresentado no Capítulo 2); e, (2) avaliar a dinâmica da produção de raízes finas de uma floresta tropical secundária em dois sítios de diferentes idades na Amazônia Oriental (apresentado no Capítulo 3).

## 1.1. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLAIR, B. C.; PERFECTO, I. Nutrient content and substrate effect on fine root density and size distribution in a Nicaraguan rain forest. *Biotropica*, v.33, p.697-701, 2001.
- CASTELLANOS, J.; JARAMILLO, V. J.; SANFORD Jr, R. L.; KAUFFMAN, J. B. Slash-and-burn effects on fine root biomass and productivity in a tropical dry forest ecosystem in México. *Forest Ecology and Management*, v.148, p.41-50, 2001.
- CAVELIER, J.; ESTEVEZ, J.; ARJONA, B. Fine-root biomass in three sucesional stages of an Andean cloud forest in Colombia. *Biotropica*, v.28, p.728-736, 1996.
- CAVELIER, J.; WRIGHT, S. J.; SANTAMARÍA, J. Effects of irrigation on litterfall, fine root biomass and production in a semideciduos lowland forest in Panama. *Plant and Soil*, v.211, p.207-213, 1999.
- DENICH, M. A vegetação da Amazônia oriental com ênfase na vegetação antrópica. Belém, EMBRAPA-CPATU. Documentos, v.40, p. 43-69, 1986.
- DIXON, R. K.; SOLOMON, A. M.; BROWN, S.; HOUGHTON, R. A.; TREXIER, M. C.; WISNIEWSKI, J. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science*, v.263, p.185-190, 1994.
- EISSENSTAT, D. M.; WELLS, C. E.; YANAI, R. D.; WHITBECK, J. L. Building roots in a changing environment: implications for root longevity. *New Phytology*, v. 147, p.33-42, 2000.
- FEARNSIDE, P. M. Deforestation in brazilian amazonia: history, rates and consequences. *Conservation Biology*, v.19, p.680-688, 2005.
- FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. *Acta Amazonica*, v.36, p.395-400, 2006.
- HENDRICK, R. L.; PREGITZER, K. S. Temporal and depth related patterns of the fine root dynamics in northern hardwood forests. *Journal of Ecology*, v.84, p.167-176, 1996.
- HÖLSCHER, D.; SÁ, T. D. A.; BASTOS, T. X.; DENICH, M.; FÖLSTER, H. Evaporation from young secondary vegetation in eastern Amazonia. *Journal of Hydrology*, v.193, p.293-305, 1997.
- INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Monitoramento da floresta Amazônica Brasileira por satélite: estimativas anuais. São José dos Campos, São Paulo. 2008 Disponível em: <[http://www.obt.inpe.br/prodes/prodes\\_1988\\_2007.htm](http://www.obt.inpe.br/prodes/prodes_1988_2007.htm)>. Acessado em: 01novembro2008.

- JACKSON, R. B.; MOONEY, H. A.; SCHULZE, E. D. A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents. *Proceedings of the National Academy of Science*, v.94, p.7362-7366, 1997.
- JARAMILLO, V. J.; AHEDO-HÉRNANDEZ, R.; KAUFFMAN, J. B. Root biomass and carbon in a tropical evergreen forest of Mexico: changes with secondary succession and forest conversion to pasture. *Journal of Tropical Ecology*, v.19, p.457-464, 2003.
- JORDAN, C. F.; ESCALANTE, G. Root productivity in an amazonian rain forest. *Ecology*, v.61, p.14-18, 1980.
- KASS, D. C.; SOMARRIBA, E. Tradicional fallows in Latin America. *Agroforestry Systems*, v.47, p.13-36, 1999.
- LIMA, M. A. Agropecuária brasileira e as mudanças climáticas globais: caracterização do problema, oportunidades e desafios. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, v.19, p.451-472, 2002.
- MAYCOK, C. R.; CONGDON, R. A. Fine root biomass and soil N and P in north Queensland rain forest. *Biotropica*, v.32, p.185-190, 2000.
- MCGRODDY, M.; SILVER, W. L. Variations in belowground carbon storage and soil CO<sub>2</sub> flux rates along a wet tropical climate gradient. *Biotropica*, v.32, p.614-624, 2000.
- METCALFE, D. B.; MEIR, P.; ARAGÃO, L. E. O. C.; COSTA, A. C. L.; BRAGA, A. P.; GONÇALVES, P. H. L.; SILVA JUNIOR, J. A.; AIMEIDA, S. S.; DAWSON, L. A.; MALHI, Y.; WILLIAMS, M. The effects of water availability on root growth and morphology in an Amazon rainforest. *Plant and Soil*, v.311, p. 189-199, 2008.
- NEPSTAD, D.C.; VERÍSSIMO, A.; ALENCAR, A.; NOBRE, C.; LIMA, E.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P.; POTTER, C.; MOUTINHO, P.; MENDOZA, E.; COCHRANE, M.; BROOKS, V. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. *Nature*, v.398, p.506-508, 1999.
- NORBY, R. J.; LEDFORD, J.; RELLY, C. D.; MILLER, N. E.; O'NEILL, E. G. Fine-root production dominates response of a deciduous forest to atmospheric CO<sub>2</sub> enrichment. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v.101, p.9689-9693, 2004.
- SHUKLA, J.; NOBRE, C.; SELLERS, P. Amazon deforestation and climate change. *Science*, v.247, p.1322-1325, 1990.
- 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 forests soils. *Global Change Biology*, v.11, p.290-306, 2005.

- SKOLE, D.; TUCKER, C. Tropical deforestation and habitat fragmentation in the Amazon: satellite data from 1978 to 1988. *Science*, v. 260, p.1905-1909, 1993.
- STEWART, C. G. A test of nutrient limitation in two tropical montane forests using root ingrowth cores. *Biotropica*, v.32, p.369-373, 2000.
- VIEIRA, I.C.G.; ALMEIDA, A.S.; DAVIDSON, E.A.; STONE, T.A.; CARVALHO, C.J.R.; GUERRERO, J.B. Classifying successional forests using Landsat spectral properties and ecological characteristics in eastern Amazônia. *Remote Sensing of Environment*, v.87, p.470-481, 2003.
- VIEIRA, I. C. G.; PROCTOR, J. Mechanisms of plant regeneration during succession after shifting cultivation in eastern Amazonia. *Plant Ecology*, v.192, p.303-315, 2007.
- VISALAKSHI, N. Fine root dynamics in two tropical dry evergreen forests in southern India. *Journal of Biosciences*, v.19, p.103-116, 1994.
- VOGT, K. A.; BLOOMFIELD, J.; PEREZ, J. M.; VOGT, D. J. & SILVER, W. L. Belowground responses as indicators of environmental change. *Environmental Experimental Botany*, v.33, p. 189-205, 1993.
- VOGT, K. A.; VOGT, D. J.; PALMIOTTO, P. A.; BOON, P.; O'HARA, J. & ASBJORNSEN, H. Review of root dynamics in forest ecosystems grouped by climate, climatic forest type and species. *Plant and Soil*, v.187, p.159-219, 1996.
- VOGT, K. A.; VOGT, D. J.; BLOOMFIELD, J. Analysis of some direct and indirect methods for estimating root biomass and production of forests at an ecosystem level. *Plant and Soil*, v.200, p.71-89, 1998.
- YAVITT, J.B.; WRIGHT, S. J. Drought and irrigation effects on fine root dynamics in a tropical moist forest, Panama. *Biotropica*, v.33, p.421-434, 2001.
- ZHENG-CHAO, Z.; ZHOU-PING, S. Advances on the responses of root dynamics to increased atmospheric CO<sub>2</sub> and global climate change. *Agricultural Sciences in China*, v.5, p. 161-168, 2006.

## 2. EFEITO DA DISPONIBILIDADE DE ÁGUA E NUTRIENTES SOBRE A PRODUÇÃO DE RAÍZES FINAS EM UMA FLORESTA SECUNDÁRIA NA AMAZÔNIA ORIENTAL<sup>1</sup>

### 2.1. INTRODUÇÃO

Na Amazônia, mais especificamente no nordeste do estado do Pará, o sistema agrícola de corte e queima da vegetação para a implantação de cultivos agrícolas e pastos, tem contribuído significativamente para a formação de um complexo mosaico com florestas secundárias em diferentes estágios sucessionais (Vieira *et al.* 2007). Em geral, essas florestas têm rápidas taxas de produção de biomassa acima do solo, particularmente durante os estágios iniciais de sucessão (Hughes *et al.* 1999). Nessas florestas, o acúmulo de carbono acima do solo é rápido, porém os ganhos abaixo do solo representam o compartimento com maior potencial para acumulação contínua de carbono (Feldpausch *et al.* 2004).

A dinâmica de raízes finas tem o potencial de contribuir significativamente para a ciclagem de nutrientes (Silver & Myia 2001, Silver *et al.* 2005) e para a dinâmica de carbono abaixo do solo (Dornbush *et al.* 2002, Matamala *et al.* 2003) em ecossistemas florestais e apresenta importantes implicações para o crescimento das plantas e interações entre elas (Anderson *et al.* 2003). Jackson *et al.* (1997) consideram essencial estimar a biomassa de raízes finas para estudos de produção abaixo do solo, uma vez que a produção de raízes finas representa uma grande proporção da produção primária líquida total anual em ecossistemas terrestres (Nadelhoffer & Raich 1992, Jackson *et al.* 1997).

Vários fatores ambientais contribuem para os padrões de biomassa, comprimento, decomposição e longevidade das raízes, como a textura do solo (Eissenstat *et al.* 2000, Silver *et al.* 2005), sazonalidade pluviométrica (Cavelier *et al.* 1999, Yavitt & Wright 2001), nutrientes do solo (Maycock & Congdon 2000, Stewart 2000, Blair & Perfecto 2001), temperatura e umidade do solo (McGroddy & Silver 2000) e quantidade de CO<sub>2</sub> atmosférico (Eissenstat *et al.* 2000, Zheng-chao & Zhou-ping 2006). No entanto, os mecanismos pelos os quais estes fatores controlam os processos da dinâmica de raízes finas ainda são pouco compreendidos (Hendrik & Pregitzer 1996).

A textura do solo pode ser considerada um bom indicador de condições microambientais que influenciam a dinâmica das raízes, como a quantidade de água, nutrientes e a aeração do solo (Silver *et al.* 2005). Em solos argilosos o comprimento das raízes pode ser limitado pela baixa quantidade de nutrientes e pela textura (Blair & Perfecto

---

<sup>1</sup> Este Capítulo segue as normas do Periódico Biotropica

2001). A textura do solo também pode influenciar a decomposição de raízes, podendo ser maior em solos argilosos do que em solos arenosos (Silver *et al.* 2005).

Vários trabalhos têm mostrado o comportamento sazonal da dinâmica das raízes finas em florestas tropicais (Visalakshi 1994, Cavelier *et al.* 1999, Yavitt & Wright 2001, Green *et al.* 2005, Silver *et al.* 2005). Durante a estação seca, a produtividade radicular pode ser limitada (Cavelier *et al.* 1999, Silver *et al.* 2005, Zewdie *et al.* 2008) ou estimulada em algumas espécies que respondem à seca aumentando o crescimento radicular de forma a aumentar a relação raiz/caule, porém com pequena mudança na biomassa radicular (Joslin *et al.* 2000). A sazonalidade também influencia a mortalidade radicular, que pode ser maior na estação seca do que na chuvosa (López *et al.* 1998, Huang & Gao 2000).

O crescimento radicular é maior em áreas com alta concentração de nutrientes e relativamente menor em áreas consideradas pobres em nutrientes (Blair & Perfecto 2001). No entanto, este não é um comportamento geral, podendo haver uma mudança morfológica relativamente pequena de acordo com a heterogeneidade de nutrientes do solo (Jackson & Caldwell 1992). Nas florestas tropicais as raízes finas apresentam um importante papel em maximizar a aquisição de nutrientes e em manter um padrão na circulação destes, uma vez que essas florestas encontram-se sobre solos pobres em nutrientes (Gower 1987).

Considerando a importância da produção de raízes finas no ciclo de carbono, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da disponibilidade de água e nutrientes, através de irrigação e remoção de serapilheira, sobre a produção de raízes finas em uma floresta secundária na Amazônia Oriental. A irrigação durante a estação seca provoca efeitos que podem ajudar a entender a dinâmica de raízes, como diminuir o estresse hídrico e prevenir o ressecamento e endurecimento do solo causado pela seca (Yavitt & Wright 2001); dessa forma a irrigação pode aumentar a produção de raízes finas na floresta (Hipótese 1). Por outro lado, a remoção da serapilheira provoca uma gradativa redução da concentração de nitrogênio na serapilheira produzida nas parcelas submetidas à remoção e conseqüentemente reduz a concentração de nitrogênio no solo (Vasconcelos *et al.* 2008); a redução de nutrientes pode maximizar a busca por nutrientes, aumentando assim a produção de raízes finas na área (Hipótese 2).

## 2.2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.2.1. ÁREA DE ESTUDO

O experimento foi realizado em uma floresta secundária com 18 anos de idade, localizada na Estação Experimental da Universidade Federal Rural da Amazônia (1°17'53" S, 47°56'56" W), na região de Apeú, no nordeste do Estado do Pará, Brasil. A área de estudo foi convertida em área agrícola em 1940 através do sistema agrícola de corte e queima da vegetação, sendo plantado *Zea mays* L., *Manihot esculenta* Crantz e *Vigna unguiculata* (L.) Walp. e em 1987 foi abandonada (Araújo *et al.* 2005, Coelho *et al.* 2004, Fortini *et al.* 2003, Vasconcelos *et al.* 2008), dando origem a um mosaico de florestas em diferentes estágios sucessionais (Araújo *et al.* 2005).

O relevo é suavemente ondulado. O solo é classificado como Latossolo Amarelo Distrófico Fase Pedregosa I (Concrecionário Laterítico), correspondendo a Sombrustox na classificação Americana. O solo é bem drenado com baixa fertilidade natural e baixa saturação em bases, apresentando uma ligeira erosão laminar (Tenório *et al.* 1999).

O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Am3 com temperatura média anual variando entre 24,7 a 27,3° C e com média anual da umidade relativa do ar variando entre 78 a 90% (Martorano & Pereira 1993). A precipitação média anual no período de 2000 a 2007 foi de 2694 mm.

Em 2005 a densidade arbórea média foi de 1,5 indivíduos/m<sup>2</sup> e área basal de 28,4 m<sup>2</sup>/ha. A biomassa aérea corresponde a 51,5 Mg/ha para árvores com DAP ≥ 1cm (Vasconcelos *et al.* 2007). As cinco espécies com diâmetro a altura do peito (DAP) ≥ 1 cm mais abundantes foram *Lacistema pubescens* Mart., *Myrcia sylvatica* (G. Mey.) DC., *Cupania scrobiculata* Rich., *Lacistema aggregatum* Berg Rusby e *Inga rubiginosa* (Rich.) DC.

### 2.2.2. DESENHO EXPERIMENTAL

Uma área da floresta foi dividida em quatro blocos; dentro de cada bloco foram instaladas aleatoriamente três parcelas de 20 m x 20 m, sendo uma parcela irrigada (IRR), uma parcela submetida à remoção da serapilheira (REM) e uma parcela testemunha (CTL) (Fig. 2.1).

Com o objetivo de reduzir o déficit hídrico provocado pela seca, diariamente foram inseridos 5 mm de água em cada parcela irrigada, através de fitas de irrigação espaçadas 2 m uma da outra e perfuradas a cada 15 cm. A irrigação iniciou em julho de 2001 e ocorreu somente na estação seca. A definição das estações seca e chuvosa foi estabelecida a partir dos

dados de precipitação e tensão de água no solo. O início da estação seca foi definido pela precipitação total menor do que 150 mm nos primeiros 30 dias e tensão do solo menor do que  $-0.010$  MPa; o final da estação seca foi definido pela precipitação total maior do que 150 mm nos primeiros 30 dias e tensão do solo maior do que  $-0.010$  MPa. O erro na definição das estações é de aproximadamente sete dias (Vasconcelos *et al.* 2004).

A fim de provocar um déficit nutricional nas parcelas submetidas à remoção da serapilheira, todo material da serapilheira foi removido manualmente, a cada 15 dias, a partir de agosto de 2001. A remoção da serapilheira impediu o processo de decomposição da mesma, diminuindo a disponibilidade de nutrientes para as plantas (Vasconcelos *et al.* 2008).

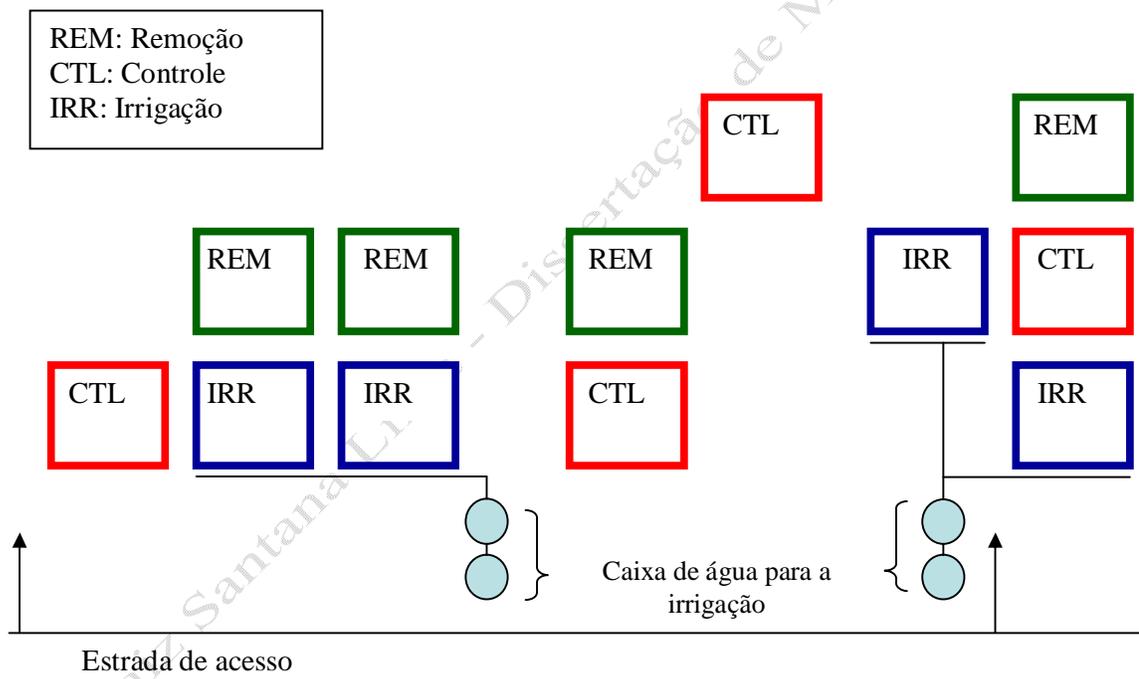


FIGURA 2.1. Desenho esquemático mostrando no campo a localização das parcelas, assim como a posição da caixa de água para irrigação das parcelas e a estrada de acesso para a área experimental, localizada na Estação Experimental de Piscicultura de Água Doce de Castanhal, UFRA.

### 2.2.3. MEDIÇÃO DA PRODUÇÃO DAS RAÍZES FINAS

A produção de raízes finas foi avaliada com o método de crescimento de raízes finas em cilindro telado (“ingrowth core”) (Cuevas & Medina 1988, Kavanagh & Kellman 1992, Makkonen & Helmisaari 1999). Este método é indicado para comparar o crescimento de raízes em ambientes diferentes (Makkonen & Helmisaari 1999, Vogt *et al.* 1998).

Foram usados sacos cilíndricos de polietileno de alta densidade, com malha de 2 mm, altura de 10 cm e diâmetro de 5 cm (Fig. 2.2A). Cada saco foi preenchido com solo previamente peneirado em malha de 2 mm, seco ao ar e livre de raízes (Fig. 2.2B e C). O solo foi coletado entre 0 e 10 cm de profundidade, excluindo a serapilheira, em uma área adjacente à área experimental.

Em Julho de 2005, foram enterrados aleatoriamente cinco sacos em cada parcela a uma profundidade de 0 a 10 cm (Fig. 2.2D e E). Bimensalmente, todos os sacos foram coletados (Fig. 2.2F) e no local foram colocados novos sacos contendo solo. Esse procedimento foi realizado até julho de 2007, totalizando 12 coletas em 24 meses.

As amostras coletadas foram transportadas em isopor, contendo gelo, até o Campus Belém da Universidade Federal Rural da Amazônia distante, aproximadamente, 60 Km do local de coleta. Após o transporte as amostras foram armazenadas em sacos plásticos sob refrigeração (4°C) por um período máximo de três meses.

O solo coletado foi colocado em bandejas contendo água para a separação manual e classificação das raízes finas ( $\leq 2$  mm de diâmetro). As raízes finas foram classificadas em vivas e mortas de acordo com a coloração e a flexibilidade (Gower 1987, Kavanagh & Kellman 1992, Makkonen & Helmisaari 1999, McClaugherty *et al.* 1982, Yavitt & Wright 2001) e armazenadas separadamente sob refrigeração a +4°C em frascos plásticos contendo solução de álcool comercial a 50%, por no máximo quatro meses (Fig. 2.2G e H). Após a separação, as raízes foram colocadas em bandejas com água para retirar o excesso da solução de álcool e imersas em uma solução de violeta genciana (200 ml de água + 10 gotas de violeta genciana) por no mínimo 24 h (Fig. 2.2I). Após a coloração as raízes foram retiradas da solução e colocadas sobre uma folha de acetato (Fig. 2.2J) para a digitalização de imagens com “scanner” (HP Scanjet 4670); as raízes foram coradas com violeta genciana para facilitar a digitalização da imagem. As imagens obtidas (Fig. 2.2K) foram usadas para estimar o comprimento radicular com o auxílio do programa SIARCS (Sistema Integrado de Análise de Raízes e Cobertura do Solo) desenvolvido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

(Embrapa). Em seguida, as raízes foram secas em estufa a 65°C por 24 horas e pesadas em balança com precisão de 0,0001 g.

A morfologia das raízes finas foi analisada pelo comprimento radicular específico (CRE) (Jackson *et al.* 1997, Metcalfe *et al.* 2008), dividindo-se o comprimento das raízes vivas pela biomassa das raízes vivas.



FIGURA 2.2. Diferentes fases da metodologia do estudo de raízes finas. A) Sacos preparados; B) Solo sendo preparado; C) Saco sendo preenchido com solo; D) Buraco feito na área para colocação do saco; E) Saco enterrado; F) Saco colhido após dois meses; G) Raízes armazenadas em potes com álcool; H) Os potes armazenados sob refrigeração; I) Raízes coloridas com violeta genciana; J) Raízes preparadas para digitalizar; K) Imagem gerada para medição do comprimento radicular.

#### **2.2.4. ANÁLISE DOS DADOS**

A produção de raízes finas foi expressa em termos de massa ( $\text{g/m}^2/\text{mês}$ ) e comprimento ( $\text{cm/m}^2/\text{mês}$ ), dividindo-se a massa ou o comprimento de raízes pela área da base do cilindro e pelo número de meses entre coletas. Todos os resultados são apresentados em termos de média e erro padrão. Foi realizada uma análise de variância de medidas repetidas para testar o efeito de tratamento, período de coleta e interação tratamento vs. coleta sobre a massa e o comprimento de raízes finas. A comparação múltipla de médias foi realizada com o teste de Tukey a 5%. As análises foram realizadas com o programa estatístico Systat 11.0.

### **2.3. RESULTADOS**

#### **2.3.1. PRECIPITAÇÃO E TENSÃO DE ÁGUA NO SOLO**

No período de 2005 a 2007 a precipitação média anual foi de 2842 mm com aproximadamente 80% da precipitação anual ocorrendo entre janeiro e julho. A precipitação anual em 2005 foi de 2793 mm, em 2006 foi de 2756 mm e em 2007 foi de 2977 mm (Fig. 2.3).

Em 2005 e em 2007 a precipitação diminuiu gradativamente a partir da segunda quinzena de julho até a primeira quinzena de dezembro (precipitação no período seco em 2005 = 615 mm e 2007 = 600 mm). Durante o período analisado, o ano de 2006 foi o que teve o maior período seco, estendendo-se de junho a novembro, com uma precipitação total de 662 mm nesse período.

Os menores valores de tensão de água no solo ocorreram no período de maior precipitação (Fig. 2.3 e 2.4). A irrigação durante a estação seca de 2005 resultou em menor tensão do solo ( $f = 15,578$ ;  $P = 0,004$ ) em comparação à testemunha. Nenhuma diferença foi encontrada na tensão do solo, entre o tratamento de irrigação e a testemunha, durante a estação seca de 2006 ( $f = 2,229$ ;  $P = 0,174$ ).

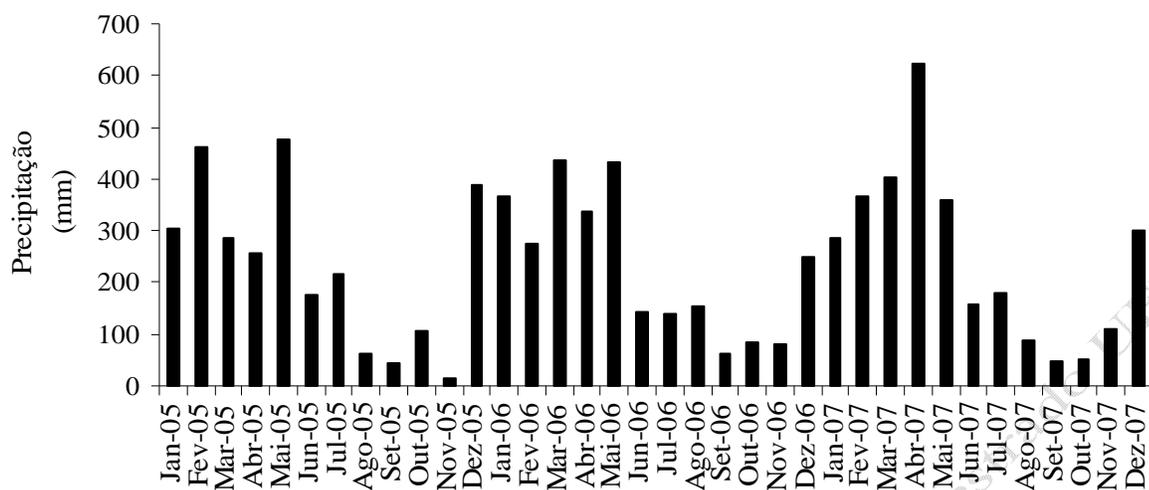


FIGURA 2.3. Média mensal da precipitação pluviométrica na Estação Experimental da Universidade Federal Rural da Amazônia, nordeste do Estado do Pará, Brasil.

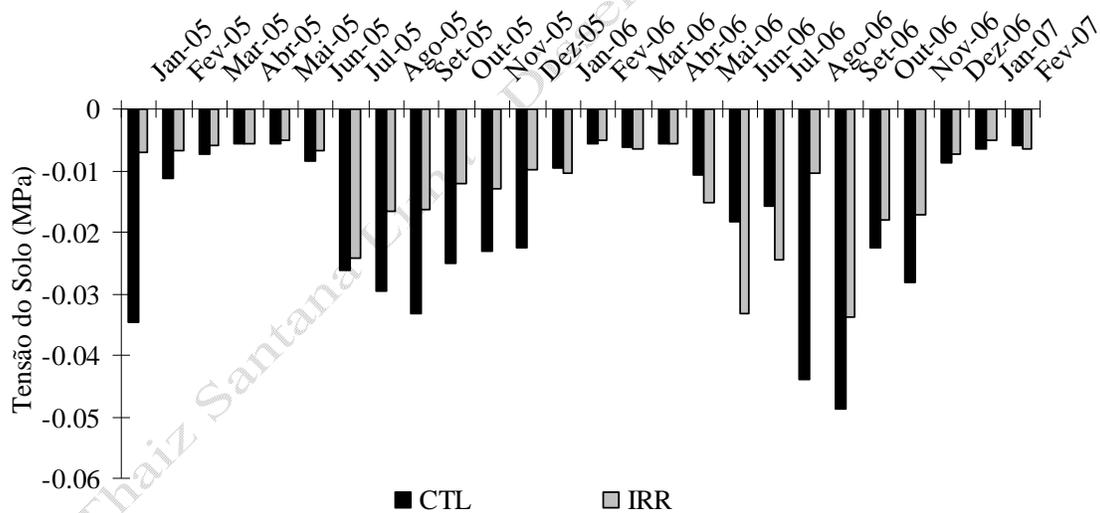


FIGURA 2.4. Média mensal da tensão do solo na Estação Experimental da Universidade Federal Rural da Amazônia, na região de Apeú, no nordeste do Estado do Pará, Brasil.

### 2.3.2. IRRIGAÇÃO x TESTEMUNHA

A produção média de biomassa de raízes finas vivas e mortas na testemunha foi de  $86,029 \pm 3,445$  g/m<sup>2</sup>/ano e de  $1,673 \pm 0,382$  g/m<sup>2</sup>/ano, respectivamente. No tratamento de irrigação a produção média de biomassa de raízes finas foi de  $92,227 \pm 8,058$  g/m<sup>2</sup>/ano para vivas e de  $2,641 \pm 1,421$  g/m<sup>2</sup>/ano para mortas.

Houve interação significativa entre tratamento e período de coleta na produção de biomassa de raízes finas vivas ( $f = 2,167$ ;  $P = 0,015$ ; seca =  $18,698 \pm 2,044$  g/m<sup>2</sup>/mês, chuvosa =  $11,012 \pm 0,716$  g/m<sup>2</sup>/mês, média  $\pm$  erro padrão,  $n = 8$ ), sendo a produção maior na estação seca do que na estação chuvosa, tanto na testemunha quanto na irrigação (CTL: seca =  $17,915 \pm 2,927$  g/m<sup>2</sup>/mês, chuvosa =  $10,761 \pm 1,053$  g/m<sup>2</sup>/mês; IRR: seca =  $19,48 \pm 3,094$  g/m<sup>2</sup>/mês, chuvosa =  $11,263 \pm 1,06$  g/m<sup>2</sup>/mês, média  $\pm$  erro padrão,  $n = 4$ ; Fig. 2.5A).

A produção de biomassa de raízes finas mortas não foi significativamente diferente entre os tratamentos ( $f = 2,336$ ;  $P = 0,135$ ; CTL =  $14,338 \pm 1,834$  g/m<sup>2</sup>/mês; IRR =  $15,371 \pm 1,992$  g/m<sup>2</sup>/mês, média  $\pm$  erro padrão,  $n = 4$ ). No entanto, a produção de biomassa de raízes finas mortas apresentou um comportamento sazonal, sendo significativamente maior ( $f = 3,184$ ;  $P < 0,001$ ; Fig. 2.5B) na estação seca do que na chuvosa (CTL: seca =  $0,377 \pm 0,088$  g/m<sup>2</sup>/mês, chuvosa =  $0,181 \pm 0,074$  g/m<sup>2</sup>/mês; IRR: seca =  $0,65 \pm 0,232$  g/m<sup>2</sup>/mês, chuvosa =  $0,231 \pm 0,077$  g/m<sup>2</sup>/mês, média  $\pm$  erro padrão,  $n = 4$ ).

A produção em comprimento das raízes finas vivas e mortas na testemunha foi de  $4113,64 \pm 746,42$  m/m<sup>2</sup>/ano e de  $680,09 \pm 23,07$  m/m<sup>2</sup>/ano, respectivamente. No tratamento de irrigação o comprimento de raízes finas vivas e mortas foi, respectivamente, de  $4070,07 \pm 260,37$  m/m<sup>2</sup>/ano e de  $64,36 \pm 22,89$  m/m<sup>2</sup>/ano.

A produção em comprimento de raízes vivas e mortas apresentou interação significativa entre tratamento e período de coleta ( $P < 0,05$ ; Viva: seca =  $861,99 \pm 120,85$  m/m<sup>2</sup>/mês, chuvosa =  $501,96 \pm 45,47$  m/m<sup>2</sup>/mês; Morta: seca =  $14,12 \pm 1,96$  m/m<sup>2</sup>/mês, chuvosa =  $7,94 \pm 1,53$  m/m<sup>2</sup>/mês, média  $\pm$  erro padrão,  $n = 8$ ). A produção em comprimento foi maior durante a estação seca do que na chuvosa para a testemunha (CTLviva: seca =  $833,29 \pm 174,53$  m/m<sup>2</sup>/mês, chuvosa =  $537,92 \pm 71,43$  m/m<sup>2</sup>/mês; CTLmorta: seca =  $14,55 \pm 3,11$  m/m<sup>2</sup>/mês, chuvosa =  $8,12 \pm 2,42$  m/m<sup>2</sup>/mês, média  $\pm$  erro padrão,  $n = 4$ ; Fig. 2.6A e 2.6B). No tratamento de irrigação a produção em comprimento das raízes vivas e mortas durante a estação seca foi quase o dobro do que a produção na estação chuvosa (IRRviva: seca =  $890,68 \pm 182,96$  m/m<sup>2</sup>/mês, chuvosa =  $466,01 \pm 58,96$  m/m<sup>2</sup>/mês; IRRmorta: seca =  $13,69 \pm 2,69$  m/m<sup>2</sup>/mês, chuvosa =  $7,76 \pm 2,10$  m/m<sup>2</sup>/mês; Fig. 2.6A e 2.6B).

Não houve diferença significativa entre os tratamentos e entre as coletas para o CRE ( $P < 0,05$ ; CTL =  $52,74 \pm 3,75$  m/g; IRR =  $61,42 \pm 15,87$  m/g).

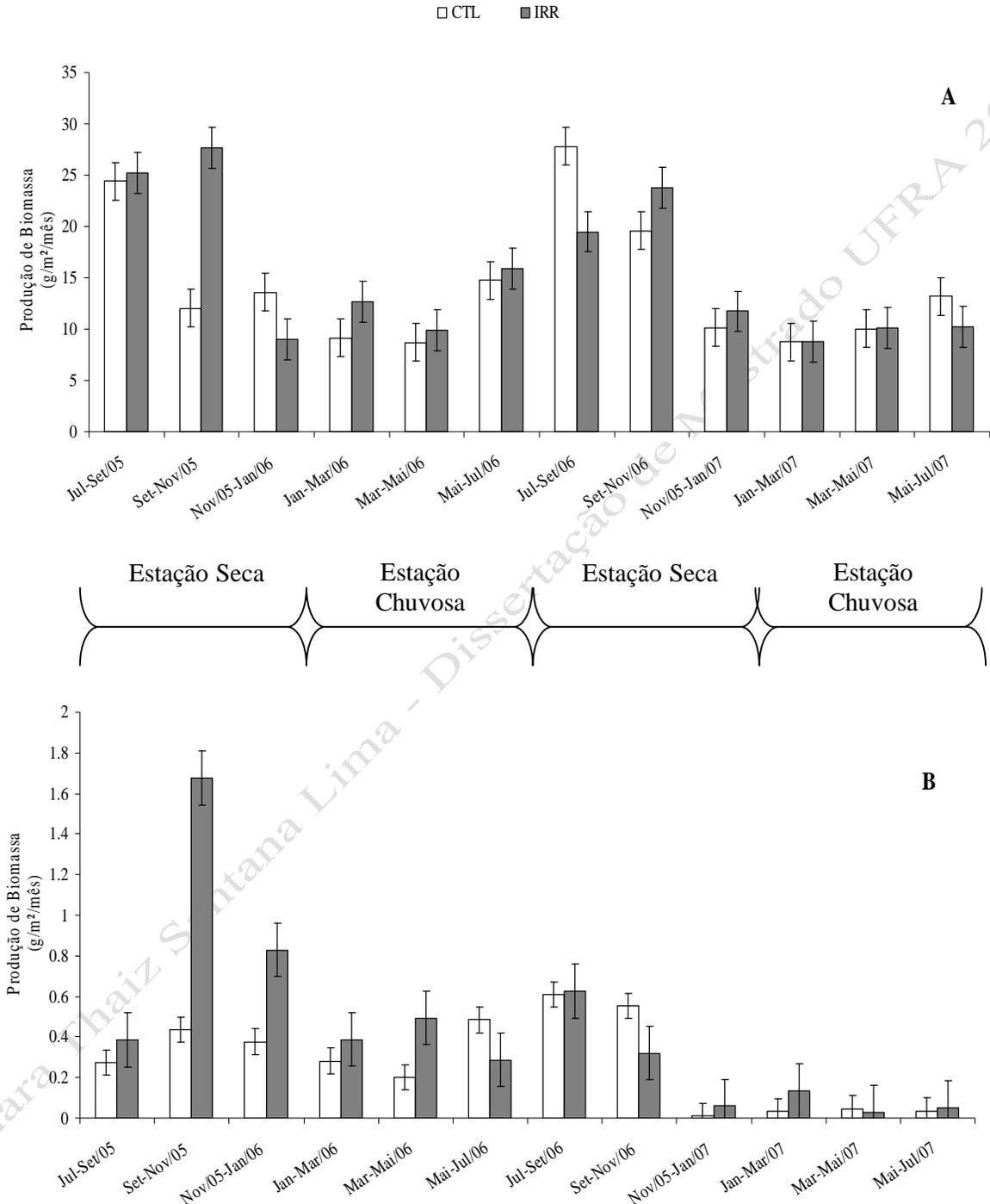


FIGURA 2.5. Produção da biomassa de raízes finas (média  $\pm$  erro padrão) vivas (A) e mortas (B) no tratamento de irrigação (IRR) e no controle (CTL) durante as estações secas e chuvosas do período de julho/05 a julho/07 de uma floresta tropical secundária na Amazônia Oriental.

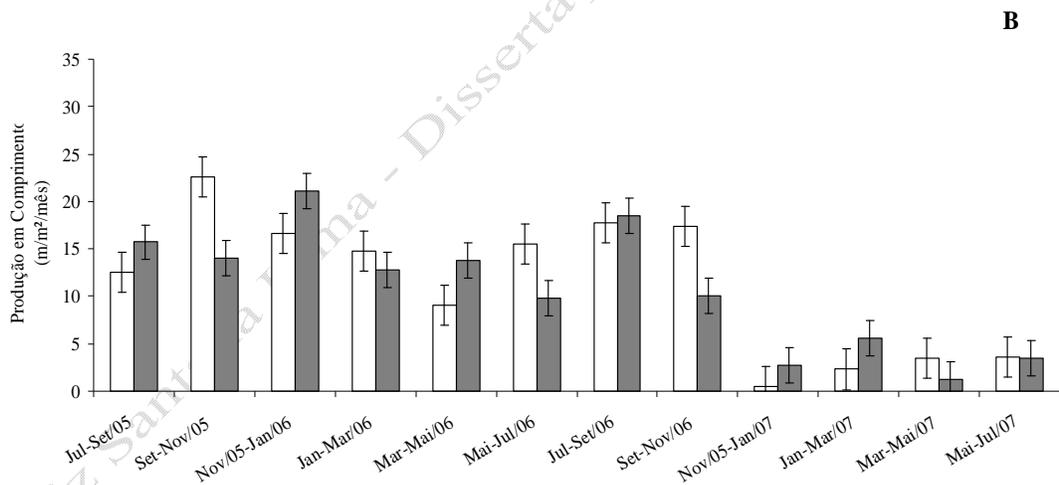
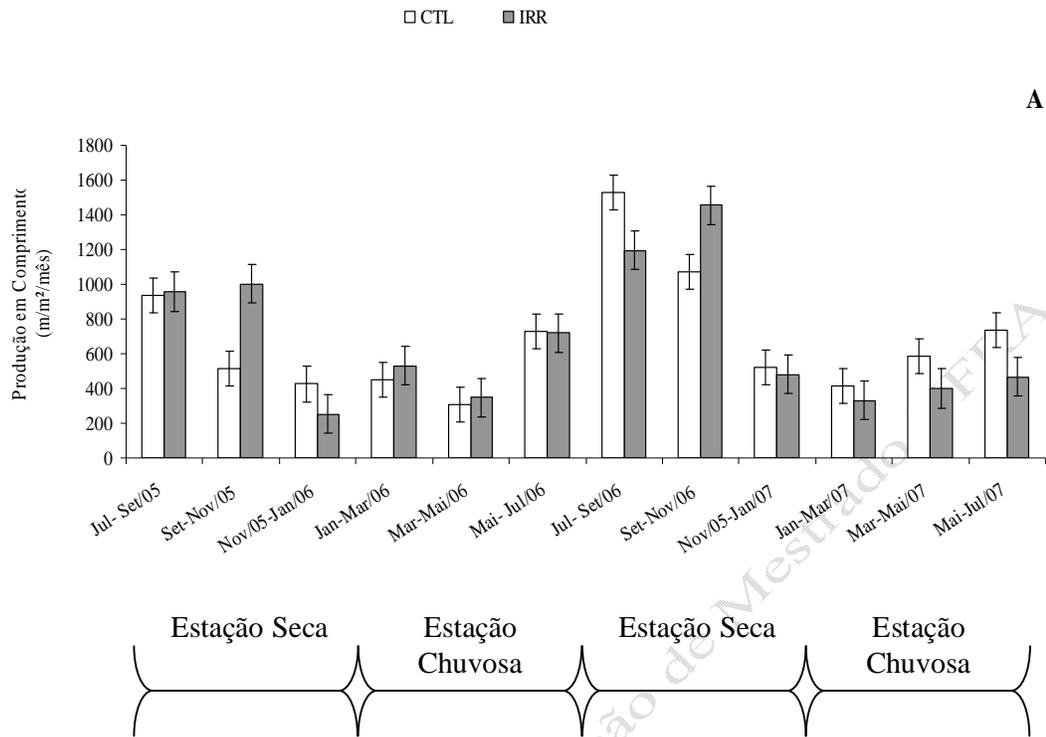


FIGURA 2.6. Produção em comprimento de raízes finas (média  $\pm$  erro padrão) vivas (A) e mortas (B) no tratamento de irrigação (IRR) e no controle (CTL) durante as estações secas e chuvosas do período de julho/05 a julho/07 de uma floresta tropical secundária na Amazônia Oriental.

### 2.3.3. REMOÇÃO x TESTEMUNHA

A produção média anual de biomassa de raízes finas vivas e mortas na remoção foi de  $49,42 \pm 7,79$  g/m<sup>2</sup>/ano e de  $2,89 \pm 1,02$  g/m<sup>2</sup>/ano, respectivamente.

A produção mensal de biomassa de raízes finas vivas foi significativamente maior ( $f = 20,426$ ;  $P < 0,0001$ ) na testemunha do que no tratamento de remoção (CTL =  $14,34$  g/m<sup>2</sup>/mês; REM =  $8,24$  g/m<sup>2</sup>/mês). Houve diferença significativa da produção de biomassa de raízes finas vivas entre o período de coleta ( $f = 11,006$ ;  $P < 0,0001$ ), sendo maior na estação seca do que na estação chuvosa (CTL: seca =  $17,915 \pm 2,927$  g/m<sup>2</sup>/mês, chuvosa =  $10,761 \pm 1,053$  g/m<sup>2</sup>/mês; REM: seca =  $10,575 \pm 2,112$  g/m<sup>2</sup>/mês, chuvosa =  $5,898 \pm 0,687$  g/m<sup>2</sup>/mês, média  $\pm$  erro padrão,  $n = 4$ ; Fig. 2.7A).

Houve interação significativa entre tratamento e período de coleta na biomassa de raízes mortas ( $f = 2,851$ ;  $P < 0,001$ ; Seca =  $0,543 \pm 0,112$  g/m<sup>2</sup>/mês; Chuvosa =  $0,236 \pm 0,064$  g/m<sup>2</sup>/mês, média  $\pm$  erro padrão,  $n = 8$ ). A biomassa de raízes mortas foi maior na estação seca do que na chuvosa nos dois tratamentos (Fig. 2.7B), sendo que na estação seca o tratamento de remoção apresentou uma maior produção de raízes mortas em relação a testemunha (CTL: seca =  $0,377 \pm 0,088$ , chuvosa =  $0,181 \pm 0,074$  g/m<sup>2</sup>/mês; REM: seca =  $0,664 \pm 0,179$  g/m<sup>2</sup>/mês, chuvosa =  $0,30 \pm 0,089$  g/m<sup>2</sup>/mês, média  $\pm$  erro padrão,  $n = 4$ ).

A produção média anual em comprimento de raízes finas vivas e mortas na remoção foi de  $2323,48 \pm 307,55$  m/m<sup>2</sup>/ano e de  $85,38 \pm 24,30$  m/m<sup>2</sup>/ano, respectivamente.

A produção mensal em comprimento de raízes vivas foi significativamente menor ( $f = 15,634$ ;  $P < 0,0001$ ) no tratamento de remoção do que na testemunha (CTL =  $685,61 \pm 100,33$  m/m<sup>2</sup>/mês; REM =  $387,25 \pm 62,12$  m/m<sup>2</sup>/mês, média  $\pm$  erro padrão,  $n = 4$ ; Fig. 2.8 A). Já a produção em comprimento de raízes mortas foi significativamente ( $f = 6,092$ ;  $P = 0,018$ ) maior no tratamento de remoção do que na testemunha (CTL =  $11,34 \pm 2,12$  m/m<sup>2</sup>/mês; REM =  $14,23 \pm 2,36$  m/m<sup>2</sup>/ano, média  $\pm$  erro padrão,  $n = 4$ ; Fig. 2.8 B).

A produção em comprimento de raízes vivas e mortas no tratamento de remoção apresentou um comportamento sazonal sendo maior durante a estação seca do que durante a estação chuvosa ( $P < 0,0001$ ; Fig. 2.8A e 2.8B). O comprimento das raízes finas vivas durante a estação seca foi de  $465,44 \pm 111,45$  m/m<sup>2</sup>/mês e durante a estação chuvosa foi de  $309,06 \pm 45,94$  m/m<sup>2</sup>/mês. Durante a estação seca a produção em comprimento das raízes mortas foi de  $18,43 \pm 3,38$  m/m<sup>2</sup>/mês e durante a estação chuvosa foi de  $10,03 \pm 2,46$  m/m<sup>2</sup>/mês.

O comprimento radicular específico (CRE) não foi significativamente diferente entre os tratamentos ( $f = 0,179$ ;  $P = 0,674$ ; REM =  $50,73 \pm 3,27$  m/g) e nem entre os períodos de

coleta ( $f = 1,670$ ;  $P = 0,078$ ; CTL: seca =  $47,88 \pm 4,10$  m/g, chuvosa =  $57,61 \pm 5,96$  m/g; REM: seca =  $45,83 \pm 2,94$  m/g, chuvosa =  $55,64 \pm 5,36$  m/g, média  $\pm$  erro padrão,  $n = 4$ ).

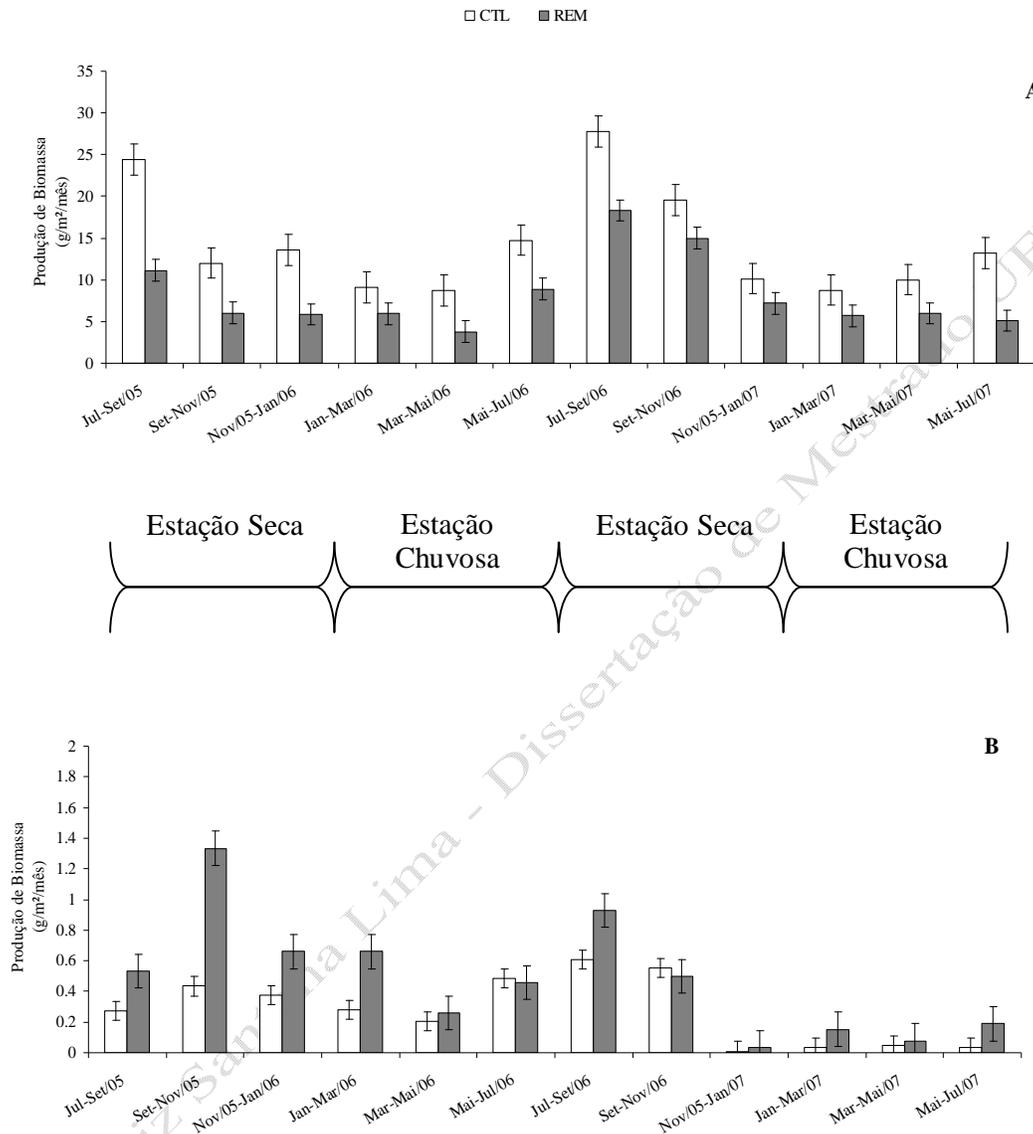


FIGURA 2.7. Produção de biomassa de raízes finas (média  $\pm$  erro padrão) vivas (A) e mortas (B) no tratamento de remoção (REM) e no controle (CTL) durante as estações secas e chuvosas do período de julho/05 a julho/07 de uma floresta tropical secundária na Amazônia Oriental.

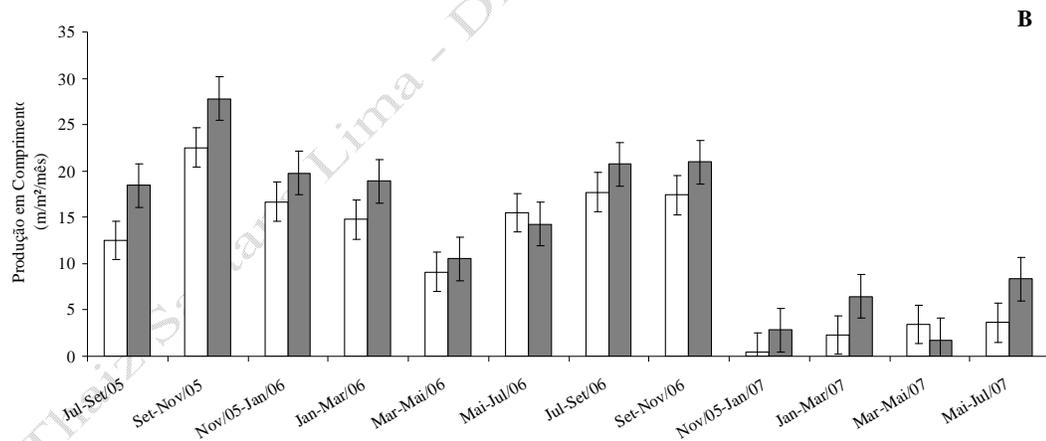
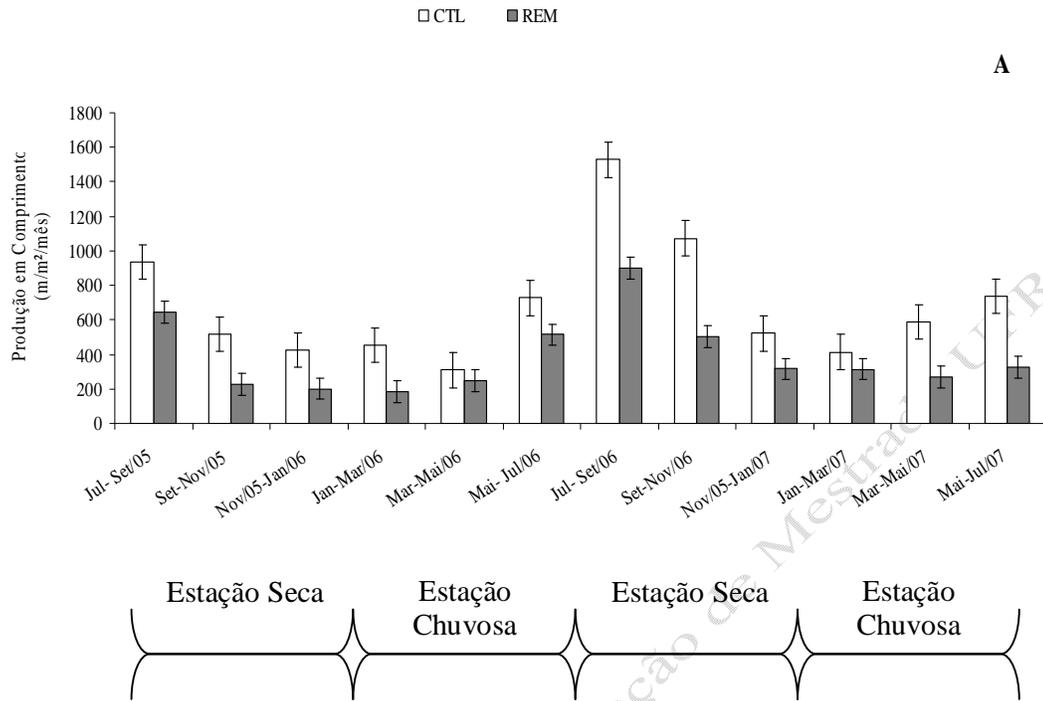


FIGURA 2.8. Produção em comprimento de raízes finas (média  $\pm$  erro padrão) vivas (A) e mortas (B) no tratamento de remoção (REM) e no controle (CTL) durante as estações secas e chuvosas do período de julho/05 a julho/07 de uma floresta secundária na Amazônia Oriental.

## 2.4. DISCUSSÃO

A irrigação durante a estação seca diminuiu a tensão de água no solo, porém não houve efeito da irrigação sobre a produção de biomassa e de comprimento de raízes finas vivas e mortas, sendo esta influenciada, principalmente, pela sazonalidade. O efeito da sazonalidade também foi verificado na produção de biomassa e de comprimento de raízes vivas e mortas no tratamento de remoção.

Yavitt e Wrigth (2001), ao comparar parcelas irrigadas com parcelas não irrigadas em uma floresta tropical no Panamá, não encontraram diferença entre os tratamentos, porém encontraram um efeito sazonal na biomassa de raízes finas. O padrão sazonal na produção radicular também foi encontrado por outros autores, ao contrário do que observamos, eles encontraram uma maior produção de raízes na estação chuvosa (Kavanagh & Kellman 1992, Visalakshi 1994, Sundarapandian & Swamy 1996, Joslin *et al.* 2000, Chen *et al.* 2004, Green *et al.* 2005).

A disponibilidade de água no solo provavelmente é o principal fator responsável por mudanças nas estratégias de crescimento das raízes (Dowdy *et al.* 1995, Kätterer *et al.* 1995), podendo aumentar a mortalidade de raízes em períodos secos (Eissenstat *et al.* 2000, Green *et al.* 2005). Segundo Joslin *et al.* (2000) algumas espécies respondem à seca aumentando o crescimento radicular, porém com pequena mudança na biomassa total de raiz. Em ambientes com déficit de água e nutrientes as plantas investem em tecidos jovens por serem mais eficientes na absorção desses elementos, descartando os tecidos mais antigos (Blair & Perfecto 2001), podendo aumentar a mortalidade durante a estação seca. Portanto, a maior produção de raízes finas vivas e mortas durante a estação seca observada neste estudo pode ser uma estratégia da planta para aumentar a capacidade de absorção de água e nutrientes. O efeito da sazonalidade pluviométrica sobre a mortalidade de raízes finas, sendo maior em ambientes com déficit de água tem sido encontrado por outros autores em florestas tropicais primárias (Sundarapandian & Swamy 1996, Green *et al.* 2005, Silver *et al.* 2005).

Alguns estudos têm mostrado o efeito negativo da concentração de nitrogênio no solo sobre a produção de raízes finas (Gower & Vitousek 1989, Maycock & Congdon 2000). Valverde-Barrantes *et al.* (2007) mostraram que alta concentração de nitrogênio no solo inibiu a produção do comprimento de raízes finas em seis espécies pioneiras na Costa Rica. Resultados prévios obtidos na mesma área experimental deste estudo mostraram que, durante a estação seca, a biomassa microbiana do solo imobilizou mais nitrogênio e carbono do que durante a estação chuvosa, com o início do período chuvoso, o aumento da atividade

microbiana contribuiu para a mineralização de carbono e nitrogênio (Rangel-Vasconcelos *et al.* 2005). Dessa forma, a menor produção de raízes finas durante a estação chuvosa pode estar relacionada com a alta concentração de nitrogênio no solo durante este período.

A remoção da serapilheira limitou o crescimento das raízes finas, o que pode estar associado ao fornecimento de nutrientes nesse tratamento em relação à testemunha. Segundo Blair e Perfecto (2001) a proporção de raízes finas é maior em substratos mais ricos do que em substratos pobres em nutrientes. Stewart (2000) encontrou que a biomassa de raízes finas foi maior em substratos onde houve adição de nutrientes.

A maior produção de raízes finas vivas na testemunha do que na remoção também pode estar associada ao microclima úmido oferecido pela matéria orgânica o qual favorece o desenvolvimento de novas raízes finas (Visalakshi 1994).

A remoção da serapilheira também influenciou a mortalidade das raízes que foi maior no tratamento de remoção do que na testemunha. Este resultado contradiz a proposta de Nadelhoffer *et al.* (1985) de que a longevidade das raízes finas é maior em ambientes pobres em nutrientes. Os mesmos autores sugerem que possíveis variações na longevidade de raízes finas podem ocorrer devido à diferença entre os ambientes e composição das espécies. Yavitt e Wright (2001) sugerem que as raízes finas poderão viver mais em ambientes ricos em nutrientes, porque a manutenção do tecido radicular pode ser favorecida, em termos de quantidade de C para a respiração não necessitando investir em novas raízes.

Os valores do CRE registrados nos três tratamentos foram maiores do que os encontrados por Jackson *et al.* (1997) em ecossistemas florestais (12,2 m/g) e os encontrados por Metcalfe *et al.* (2008) na floresta tropical amazônica em solos arenosos (10 m/g) e argilosos (9 m/g). Tanto a irrigação durante a estação seca quanto a remoção da serapilheira não influenciaram o CRE. Metcalfe *et al.* (2008) encontraram um CRE maior durante a estação seca do que durante a estação chuvosa, este padrão de crescimento não foi encontrado nos tratamentos analisados neste estudo.

Em conclusão, a biomassa e o comprimento das raízes finas foram indicadores muito similares de produção, mostrando em geral os mesmos padrões: (1) a dinâmica das raízes limitada pelos nutrientes; e, em especial um (2) forte efeito da sazonalidade pluviométrica, com maior produção durante a estação seca do que durante a estação chuvosa, fato que deve estar relacionado com a maior concentração de nitrogênio advindo da maior atividade microbiana na estação chuvosa. A seca também provoca uma maior dinâmica do sistema radicular podendo levar a maior mortalidade das raízes finas.

## 2.5. LITERATURA CITADA

- ANDERSON, L. J., COMAS, L. H., LAKSO, A. N., e EISSENSTAT, D. M. 2003. Multiple risk factors in root survivorship: a 4-year study in Concord grape. *New Phytologist* 158: 489-501.
- ARAÚJO, M. M. A., TUCKER, J. M., VASCONCELOS, S. S., ZARIN, D. J., OLIVEIRA, W., SAMPAIO, P. D., RANGEL-VASCONCELOS, L. G., OLIVEIRA, F. A., COELHO, R. F. R., ARAGÃO, D. V., e MIRANDA, I. 2005. Padrão e processos sucessionais em florestas secundárias de diferentes idades na Amazônia Oriental. *Ciência Florestal* 15: 343-357.
- BLAIR, B. C., e PERFECTO, I. 2001. Nutrient content and substrate effect on fine root density and size distribution in a Nicaraguan rain forest. *Biotropica* 33: 697-701.
- CAVELIER, J., WRIGHT, S. J., e SANTAMARÍA, J. 1999. Effects of irrigation on litterfall, fine root biomass and production in a semideciduous lowland forest in Panama. *Plant and Soil* 211: 207-213.
- CHEN, X., EAMUS, D., e HUTLEY, L.B. 2004. Seasonal patterns of fine-root productivity and turnover in a tropical savanna of northern Australia. *Journal of Tropical Ecology* 20: 221-224.
- COELHO, R. F. R., ZARIN, D. J., MIRANDA, I. S., e TUCKER, J. M. 2003. Análise florística e estrutural de uma floresta em diferentes estágios sucessionais no município de Castanhal, Pará. *Acta Amazonica* 33: 563-582.
- CUEVAS, E., e MEDINA, E. 1988. Nutrient dynamics within amazonian forests. II. Fine root growth, nutrient availability and leaf litter decomposition. *Oecologia* 76: 222-235.
- DORNBUSH, M. E., ISENHART, T. M., e RAICH, J. W. 2002. Quantifying fine-root decomposition: an alternative to buried litterbags. *Ecology* 83: 2985-2990.
- DOWDY, R. H., NATER, E. A., e DOLAN, M. S. 1995. Quantification of the length and diameter of root segments with public domain software. *Communication in Soil Science and Plant Analysis* 26: 459-468.
- EISSENSTAT, D. M., WELLS, C. E., YANAI, R. D., e WHITBECK, J. L. 2000. Building roots in a changing environment: implications for root longevity. *New Phytologist* 147: 33-42.
- FELDPAUSCH, T. R., RONDON, M. A., FERNANDES, C.M., RIHA, S. J., e WANDELLI, E. 2004. Carbon and nutrient accumulation in secondary forests regenerating on pastures in central Amazonia. *Ecological Applications* 14: 164-176.

- FORTINI, L.B., MULKEY, S.S., ZARIN, D.J., VASCONCELOS, S.S., e CARVALHO, C.J.R. 2003. Drought constraints on leaf gas exchange by *Miconia ciliata* (Melastomataceae) in the understory of an eastern Amazonian regrowth forest stand. *American Journal of Botany* 90: 1064–1070.
- GOWER, S. T. 1987. Relations between mineral nutrient availability and fine root biomass in two Costa Rican tropical wet forests: A hypothesis. *Biotropica* 19: 171-175.
- GOWER, S. I., e VITOUSEK, P. M. 1989. Effects of nutrient amendments on fine root biomass in a primary successional forest in Hawaii. *Oecologia* 81: 566-568.
- GREEN, J. J., DAWSON, L. A., PROCTOR, J., DUFF, E. I., e ELSTON, D. A. 2005. Fine root dynamics in a tropical rain forest is influenced by rainfall. *Plant and Soil* 276: 23-32.
- HENDRICK, R. L., e PREGITZER, K. S. 1996. Temporal and depth related patterns of the fine root dynamics in northern hardwood forests. *Journal of Ecology* 84: 167-176.
- HUANG, B., e GAO, H. 2000. Root physiological characteristics associated with drought resistance in tall fescue cultivars. *Crop Science* 40: 196-203.
- HUGHES, R. F., KAUFFMAN, J. B., e JARAMILLO, V. J. 1999. Biomass, carbon, and nutrient dynamics of secondary forests in a humid tropical region of Mexico. *Ecology* 80: 1892-1907.
- JACKSON, R. B., e CALDWELL, M. M. 1993. The scale of nutrient heterogeneity around individual plants and its quantification with geostatistics. *Ecology* 74:612-614.
- JACKSON, R. B., MOONEY, H. A., e SCHULZE, E. D. 1997. A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents. *Proceedings of the National Academy of Science* 94: 7362-7366.
- JOSLIN, J. D., WOLFE, M. H., e HANSON, P. J. 2000. Effects of altered water regimes on forest root systems. *New Phytologist* 147: 117-129.
- KÄTTERER, T., FABIÃO, A., MADEIRA, M., RIBEIRO, C., e STEEN, E. 1995. Fine-root dynamics, soil moisture and soil carbon content in a *Eucalyptus globulus* plantation under different irrigation and fertilization regimes. *Forest Ecology and Management* 74: 1-12.
- KAVANAGH, T., e KELLMAN, M. 1992. Seasonal pattern of fine root proliferation in a tropical dry forest. *Biotropica* 24: 157-165.
- LÓPEZ, B., SABATÉ, S., e GRACIA, C. 1998. Fine roots dynamics in a Mediterranean forest: effects of drought and stem density. *Tree Physiology* 18: 601-606.

- MAKKONEN, K., e HELMISAARI, H. 1999. Assessing fine-root biomass and production in a Scots pine stand - comparison of soil core and root ingrowth core methods. *Plant and Soil* 210: 43-50.
- MARTORANO, L. G., e PEREIRA, L. C. 1993. Estudos climáticos do Estado do Pará, classificação climática (Köppen) e deficiência hídrica (Thornthwaite, Mater). Sudam/Embrapa, Belém. 89pp.
- MATAMALA, R., GONZÁLEZ-MELER, M. A., JASTROW, J. D., NORBY, R. J., e SCHLESINGER, W. H. 2003. Impacts of fire root turnover on forest NPP and soil C sequestration potential. *Science* 302: 1385-1387.
- MAYCOK, C. R., e CONGDON, R. A. 2000. Fine root biomass and soil N and P in north Queensland rain forest. *Biotropica* 32: 185-190.
- METCALFE, D. B., MEIR, P., ARAGÃO, L. E. O. C., COSTA, A. C. L., BRAGA, A. P., GONÇALVES, P. H. L., SILVA JUNIOR, J. A., AIMEIDA, S. S., DAWSON, L. A., MALHI, Y., e WILLIAMS, M. 2008. The effects of water availability on root growth and morphology in an Amazon rainforest. *Plant and Soil* 311: 189-199.
- McCLAUGHERTY, C. A., ABER, J. D., e MELILLO, J. M. 1982. The role of fine roots in the organic matter and nitrogen budgets of two forested ecosystems. *Ecology* 63: 1481-1490.
- MCGRODDY, M., e SILVER, W. L. 2000. Variations in belowground carbon storage and soil CO<sub>2</sub> flux rates along a wet tropical climate gradient. *Biotropica* 32: 614-624.
- NADELHOFFER, K. J., ABER, J. D., e MELILLO, J. M. 1985. Fine roots, net primary production, and soil nitrogen availability: a new hypothesis. *Ecology* 66: 1377-1390.
- NADELHOFFER, K. J., e RAICH, J. W. 1992. Fine root production estimates and belowground carbon allocation in forest ecosystems. *Ecology*, 73: 1139-1147
- RANGEL-VASCONCELOS, L. G. T., ZARIN, D. J., CARVALHO, C. J. R., DEL SANTOS, M. M., VASCONCELOS, S. S., e OLIVEIRA, F. A. 2005. Carbono, nitrogênio e atividade da biomassa microbiana de um solo sob vegetação secundária de diferentes idades na Amazônia Oriental. *Revista de Ciências Agrárias* 44: 49-63.
- SILVER, W. L., e MIYA, R. K. 2001. Global patterns in root decomposition: comparisons of climate and litter quality effects. *Oecologia* 129: 407-419.
- SILVER, W. L., THOMPSON, A. W., MCGRODDY, M. E., VARNER, R. K., DIAS, J. D., SILVA, H., CRILL, P. M., e KELLER, M. 2005. Fine root dynamics and trace gas fluxes in two lowland tropical forests soils. *Global Change Biology* 11: 290-306.

- STEWART, C. G. 2000. A test of nutrient limitation in two tropical montane forests using root ingrowth cores. *Biotropica* 32: 369-373.
- SUNDARAPANDIAN, S. M., e SWAMY, P. S. 1996. Fine root biomass distribution and productivity patterns under open and closed canopies of tropical forest ecosystems at Kodayar in Western Ghats, South India. *Forest Ecology and Management* 86: 181-192.
- TENÓRIO, A. R. D. M., GRAÇA, J. J. D. C., GÓES, J. E. M., MENDEZ, J. G. R., GAMA, J. R. M. F., SILVA, P. R. O. D., CHAGAS, P. S. M. D., SILVA, R. N. P. D., AMÉRICO, R. R., e PEREIRA, W. L. M. 1999. Mapeamento dos solos da estação de piscicultura de Castanhal, PA. *FCAP Informe Técnico* 25: 5-26.
- VALVERDE-BARRANTES, O. J., RAICH, J. W. & RUSSELL, A. E. 2007. Fine-root mass, growth and nitrogen content for six tropical tree species. *Plant and Soil* 290: 357-370.
- VASCONCELOS, S. S., ZARIN, D. J., CAPANU, M., LITTELL, R., DAVIDSON, E.A., ISHIDA, F. Y., SANTOS, E. B., ARAÚJO, M. M., ARAGÃO, D. V., RANGEL-VASCONCELOS, L. G. T., OLIVEIRA, F. A., MCDOWELL, W. H., e CARVALHO, J. R. 2004. Moisture and substrate availability constrain soil trace gas fluxes in an eastern Amazonian regrowth forest. *Global Biogeochemical Cycles* 18: GB2009, doi: 2010.1029/2003GB002210.
- VASCONCELOS, S. S., ZARIN, D. J., ARAÚJO, M. M., RANGEL-VASCONCELOS, L. G. T., CARVALHO, C. J. R., STAUDHAMMER, C. L., e OLIVEIRA, F. A. 2008. 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.
- VIEIRA, I. C. G., e PROCTOR, J. 2007. Mechanisms of plant regeneration during succession after shifting cultivation in eastern Amazonia. *Plant Ecology* 192: 303-315.
- VISALAKSHI, N. 1994. Fine root dynamics in two tropical dry evergreen forests in southern India. *Journal of Biosciences* 19: 103-116.
- VOGT, K. A., VOGT, D. J., e BLOOMFIELD, J. 1998. Analysis of some direct and indirect methods for estimating root biomass and production of forests at an ecosystem level. *Plant and Soil* 200: 71-89.
- YAVITT, J.B., e WRIGHT, S. J. 2001. Drought and irrigation effects on fine root dynamics in a tropical moist forest, Panama. *Biotropica* 33: 421-434.
- ZEWDIE, S., FETENE, M., e OLSSON, M. 2008. Fine root vertical distribution and temporal dynamics in mature stands of two enset (*Enset ventricosum* Welw Cheesman) clones. *Plant and Soil* 305: 227-236.

ZHENG-CHAO, Z., e ZHOU-PING, S. 2006. Advances on the responses of root dynamics to increased atmospheric CO<sub>2</sub> and global climate change. *Agricultural Sciences in China* 5: 161-168.

Tâmara Thaiz Santana Lima - Dissertação de Mestrado UFRA 2008

### 3. PRODUÇÃO DE RAÍZES FINAS EM UMA FLORESTA SECUNDÁRIA EM DIFERENTES IDADES NA AMAZÔNIA ORIENTAL<sup>2</sup>

#### 3.1. INTRODUÇÃO

Nas florestas tropicais secundárias da Amazônia os estudos têm se concentrado em descrever o padrão sucessional (Araújo *et al.* 2005, Lu *et al.* 2003, Smith *et al.* 2003, Tucker *et al.* 1998, Vieira *et al.* 2003a), a regeneração natural (Lima Filho *et al.* 2002, Vieira & Hosokawa 1989), a composição florística e estrutural (Coelho *et al.* 2003, Lima *et al.* 2007, Rodrigues *et al.* 2007a, Steininger 2000) e o acúmulo de biomassa vegetal acima do solo (Feldpausch *et al.* 2004, Lima *et al.* 2007, Nelson *et al.* 1999, Rodrigues *et al.* 2007b, Steininger 2000). Dentre os estudos sobre o desenvolvimento de florestas secundárias da Amazônia, a maioria tem sido conduzida partindo das cronosequências sucessionais, representadas por uma série de sítios de diferentes idades, mas com características edafoclimáticas e histórico de uso do solo semelhantes (Araújo *et al.* 2005).

Em geral, a floresta tropical secundária tem rápidas taxas de produção de biomassa acima do solo, particularmente durante os estágios iniciais de sucessão (Hughes *et al.* 1999). Nessas florestas o acúmulo de carbono acima do solo é rápido, porém os ganhos abaixo do solo representam o compartimento com maior potencial para acumulação contínua de carbono (Feldpausch *et al.* 2004).

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), além disso, as raízes finas tendem a ser mais dinâmicas do que as raízes grossas por apresentarem maiores taxas de crescimento (Eissenstat *et al.* 2000). Apesar da importância das raízes finas frente às mudanças globais, poucos estudos têm sido realizados neste compartimento da vegetação em relação aos componentes acima do solo. Essa falta de estudos pode ser devido a dificuldade de medir a produção de raízes finas. Segundo Jordan & Escalante (1980) e Norby *et al.* (2004) a produção de raízes finas é um dos parâmetros mais difíceis de medir; e essa dificuldade limita a habilidade em prever os efeitos da mudança ambiental sobre a dinâmica das raízes (Eissenstat *et al.* 2000).

Vários fatores ambientais contribuem para a dinâmica de produção das raízes finas (Hendrick & Pregitzer 1996, Silver *et al.* 2005), como a sazonalidade (Cavelier *et al.*, 1999; Yavitt & Wright, 2001), nutrientes do solo (Maycock & Congdon, 2000; Stewart, 2000; Blair

---

<sup>2</sup> Este Capítulo segue as normas do Periódico Journal of Tropical Ecology.

& Perfecto, 2001) e temperatura e umidade do solo (McGroddy & Silver, 2000). A composição florística (Visalakshi 1994), o estágio sucessional e o histórico de uso do solo (Castellanos *et al.* 2001, Cavelier *et al.* 1996, Jaramillo *et al.* 2003) também têm sido registrados como uma fonte de variação para a produção das raízes finas.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a dinâmica da produção de raízes finas de uma floresta tropical secundária em dois sítios de diferentes idades.

## 3.2. MATERIAL E MÉTODOS

### 3.2.1. ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado na Estação Experimental da Universidade Federal Rural da Amazônia (1°17'53'' S, 47°56'56'' W), na região de Apeú, nordeste do Estado do Pará, Brasil.

A paisagem regional é composta por um mosaico de florestas em diferentes estágios sucessionais, ladeados por estradas, plantações, pastagens, florestas secundárias em diferentes níveis de regeneração, entre outros (Vieira *et al.* 2007). Essa região, no início do século, apresentava aproximadamente 50% de sua área coberta de florestas secundárias em diferentes idades de sucessão, sendo 22% com menos de seis anos (Vieira *et al.* 2003b).

A área de estudo foi convertida em área agrícola em 1940 através do sistema agrícola de corte e queima da vegetação, sendo plantados *Zea mays* L., *Manihot esculenta* Crantz e *Vigna unguiculata* (L.) Walp..

O relevo é suavemente ondulado. O solo é classificado como Latossolo Amarelo Distrófico Fase Pedregosa I (Concrecionário Laterítico), correspondendo a Sombriustox na classificação Americana. O solo é bem drenado com baixa fertilidade natural e baixa saturação em bases, apresentando uma ligeira erosão laminar (Tenório *et al.* 1999).

O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Am3. A temperatura média anual varia entre 24,7 a 27,3 °C e a média anual da umidade relativa do ar varia entre 78 a 90% (Martorano & Pereira 1993). Aproximadamente 80% da precipitação anual ocorre entre janeiro e julho, resultando em um período seco de agosto a dezembro. A precipitação média anual no período de 2005 a 2007 foi de aproximadamente 2700 mm. Durante o período seco (agosto a dezembro), a precipitação média mensal foi de aproximadamente 123 mm, enquanto que no período chuvoso (janeiro a julho), a precipitação média mensal foi de aproximadamente 318 mm (Figura 2.3 página 22).

Neste estudo, foram selecionadas em 2005 dois sítios com diferentes idades: um sítio de 10 anos (FS<sub>10</sub>) com uma área de aproximadamente 0.5 ha e um sítio de 18 anos (FS<sub>18</sub>) com

uma área de aproximadamente 2 ha. O sítio de 10 anos apresenta em seu entorno áreas em diferentes estágios sucessionais e o sítio de 18 anos é adjacente a uma floresta ripária em um dos lados e florestas sucessionais nos demais lados (Araújo *et al.* 2005). Os dois sítios são separados por uma estrada de 7 m de largura.

Em 2005, no sítio de 10 anos, a densidade arbórea média foi de 2,8 ( $\pm$  1,9; erro padrão) indivíduos m<sup>-2</sup> e área basal média de 8,1 ( $\pm$  1,5) m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>. As cinco espécies com diâmetro a altura do peito (DAP)  $\geq$  1 cm mais abundantes foram *Lacistema pubescens* Mart., *Vismia guianensis* (Aubl.) Choisy, *Myrcia sylvatica* (G. Mey.) DC., *Banara guianensis* Aubl. e *Rollinia exsucca* (DC. Ex Dunal) A. DC. No sítio de 18 anos, a densidade arbórea média foi de 1,5 ( $\pm$  2,0) indivíduos m<sup>-2</sup> e área basal de 28,4 ( $\pm$  9,2) m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>. As cinco espécies com DAP  $\geq$  1 cm mais abundantes foram *Lacistema pubescens* Mart., *Myrcia sylvatica* (G. Mey.) DC., *Cupania scrobiculata* Rich., *Lacistema aggregatum* Berg Rusby e *Inga rubiginosa* (Rich.) DC.

### 3.2.2. MEDIÇÃO DA PRODUÇÃO DAS RAÍZES FINAS

Foram instaladas aleatoriamente quatro parcelas de 20 m x 20 m no sítio de 18 anos e quatro parcelas de 10 m x 10 m no sítio de 10 anos. O tamanho das parcelas variou em função da área dos sítios que é menor no de 10 anos.

A produção de raízes finas foi avaliada com o método de crescimento de raízes finas em cilindro telado (“ingrowth core”) (Cuevas & Medina 1988, Kavanagh & Kellman 1992, Makkonen & Helmisaari 1999). Este é um método indicado para comparar o crescimento de raízes em ambientes diferentes (Makkonen & Helmisaari 1999, Vogt *et al.* 1998).

Foram usados sacos cilíndricos de polietileno de alta densidade, com malha de 2 mm, altura de 10 cm e diâmetro de 5 cm (Figura 2.2B página 21). Cada saco foi preenchido com solo previamente peneirado em malha de 2 mm, seco ao ar e livre de raízes (Figura 2.2A e C página 21). O solo foi coletado entre 0 e 10 cm de profundidade, excluindo a serapilheira, em uma área adjacente à área experimental.

Em julho de 2005, foram enterrados aleatoriamente cinco sacos em cada parcela (Figura 2.2D e E página 21). Bimensalmente, todos os sacos foram coletados e repostos com novos sacos contendo solo (Figura 2.2F página 21). Esse procedimento foi realizado até julho de 2007, totalizando 12 coletas em 24 meses.

As amostras coletadas foram transportadas em isopor, contendo gelo, até o Campus Belém da Universidade Federal Rural da Amazônia distante, aproximadamente, 60 Km do

local de coleta. Após o transporte as amostras foram armazenadas em sacos plásticos sob refrigeração (4°C) por um período máximo de três meses.

O solo coletado foi colocado em bandejas contendo água para a separação manual e classificação das raízes finas ( $\leq 2$  mm de diâmetro). As raízes finas foram classificadas em vivas e mortas de acordo com a coloração e a flexibilidade (Gower 1987, Kavanagh & Kellman 1992, Makkonen & Helmisaari 1999, McClaugherty *et al.* 1982, Yavitt & Wright 2001) e armazenadas separadamente sob refrigeração a +4°C em frascos plásticos contendo solução de álcool comercial a 50%, por no máximo quatro meses (Figura 2.2G e H página 21). Após a separação, as raízes foram colocadas em bandejas com água para retirar o excesso da solução de álcool e imersas em uma solução de violeta genciana (200 ml de água + 10 gotas de violeta genciana) por no mínimo 24 h (Figura 2.2J página 21). Após a coloração as raízes foram retiradas da solução e colocadas sobre uma folha de acetato para a digitalização de imagens com “scanner” (HP Scanjet 4670); as raízes foram coloridas com violeta genciana para facilitar a digitalização da imagem. As imagens obtidas (Figura 2.2K página 21) foram usadas para estimar o comprimento radicular com o auxílio do programa SIARCS (Sistema Integrado de Análise de Raízes e Cobertura do Solo) desenvolvido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). Em seguida, as raízes foram secas em estufa a 65°C por 24 horas e pesadas em balança com precisão de 0,0001 g.

A morfologia das raízes finas foi medida pelo comprimento radicular específico (CRE) (Jackson *et al.* 1997, Metcalfe *et al.* 2008), dividindo-se o comprimento das raízes vivas pela biomassa das raízes vivas.

### 3.2.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA

A produção de raízes finas foi expressa em termos de massa ( $\text{g m}^{-2} \text{mês}^{-1}$ ) e comprimento ( $\text{cm m}^{-2} \text{mês}^{-1}$ ), dividindo-se a massa ou o comprimento de raízes pela área da base do cilindro e pelo número de meses entre coletas. Todos os resultados são apresentados em termos de média e erro padrão. Foi realizada uma análise de variância de medidas repetidas para testar o efeito de tratamento, período de coleta e interação tratamento vs. coleta sobre a massa e o comprimento de raízes finas. A comparação múltipla de médias foi realizada com o teste de Tukey a 5%. As análises foram feitas com o programa estatístico Systat 11.0.

### 3.3. RESULTADOS

#### 3.3.1. BIOMASSA DE RAÍZES FINAS

No sítio de 10 anos a produção média de biomassa de raízes finas vivas e mortas foi de 88,386 ( $\pm 4,090$ ) g m<sup>-2</sup> ano<sup>-1</sup> e de 2,235 ( $\pm 1,2385$ ) g m<sup>-2</sup> ano<sup>-1</sup> respectivamente. No sítio de 18 anos a produção média de biomassa de raízes finas vivas e mortas foi de 86,030 ( $\pm 3,445$ ) g m<sup>-2</sup> ano<sup>-1</sup> e de 1,673 ( $\pm 0,382$ ) g m<sup>-2</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente.

A produção mensal de biomassa de raízes finas vivas não foi significativamente diferente entre os sítios ( $F = 0,068$ ;  $P = 0,795$ ;  $FS_{10} = 14,731 \pm 1,156$  g m<sup>-2</sup> mês;  $FS_{18} = 14,338 \pm 1,834$  g m<sup>-2</sup> mês, média  $\pm$  erro padrão,  $n = 4$ ). No entanto, a produção mensal de biomassa de raízes finas vivas apresentou um comportamento sazonal, sendo significativamente maior ( $F = 7,349$ ;  $P < 0,0001$ ) na estação seca do que na chuvosa ( $FS_{10}$ : seca = 17,523  $\pm 1,276$  g m<sup>-2</sup> mês<sup>-1</sup>, chuvosa = 11,939  $\pm 1,063$  g m<sup>-2</sup> mês<sup>-1</sup>;  $FS_{18}$ : seca = 17,915  $\pm 2,927$  g m<sup>-2</sup> mês<sup>-1</sup>, chuvosa = 10,761  $\pm 1,053$  g m<sup>-2</sup> mês<sup>-1</sup>; média  $\pm$  erro padrão,  $n = 4$ ). Os picos de produção de biomassa de raízes vivas no sítio de 10 anos ocorreram no período de julho a novembro de 2005 e de janeiro a maio de 2006 (Figura 3.2a). No sítio de 18 anos os picos ocorreram no período de julho a setembro de 2005 e de janeiro a maio de 2006 (Figura 3.1a).

Houve interação significativa entre tratamento e período de coleta na produção de biomassa de raízes mortas ( $F = 5,725$ ;  $P < 0,001$ ; seca = 0,375  $\pm 0,067$  g m<sup>-2</sup> mês<sup>-1</sup>, chuva = 0,2767  $\pm 0,0794$  g m<sup>-2</sup> mês<sup>-1</sup>; média  $\pm$  erro padrão,  $n = 8$ ) e os valores foram maiores na estação seca do que na chuvosa nos dois sítios, sendo que na estação seca o sítio de 10 anos apresentou produção significativamente maior de raízes mortas ( $FS_{10}$ : seca = 0,373  $\pm 0,108$  g m<sup>-2</sup> mês<sup>-1</sup>, chuvosa = 0,373  $\pm 0,137$  g m<sup>-2</sup> mês<sup>-1</sup>;  $FS_{18}$ : seca = 0,377  $\pm 0,088$  g m<sup>-2</sup> mês<sup>-1</sup>, chuvosa = 0,181  $\pm 0,074$  g m<sup>-2</sup> mês<sup>-1</sup>; média  $\pm$  erro padrão,  $n = 4$ ). Os picos de produção de biomassa de raízes mortas no sítio de 10 anos ocorreram no período de novembro de 2005 a janeiro de 2006 e no período de julho de 2006 a janeiro de 2007 (Figura 3.1b). No sítio de 18 anos a maior produção de raízes mortas ocorreu no período de setembro a maio de 2006 e de novembro de 2006 a janeiro de 2007 (Figura 3.1b).

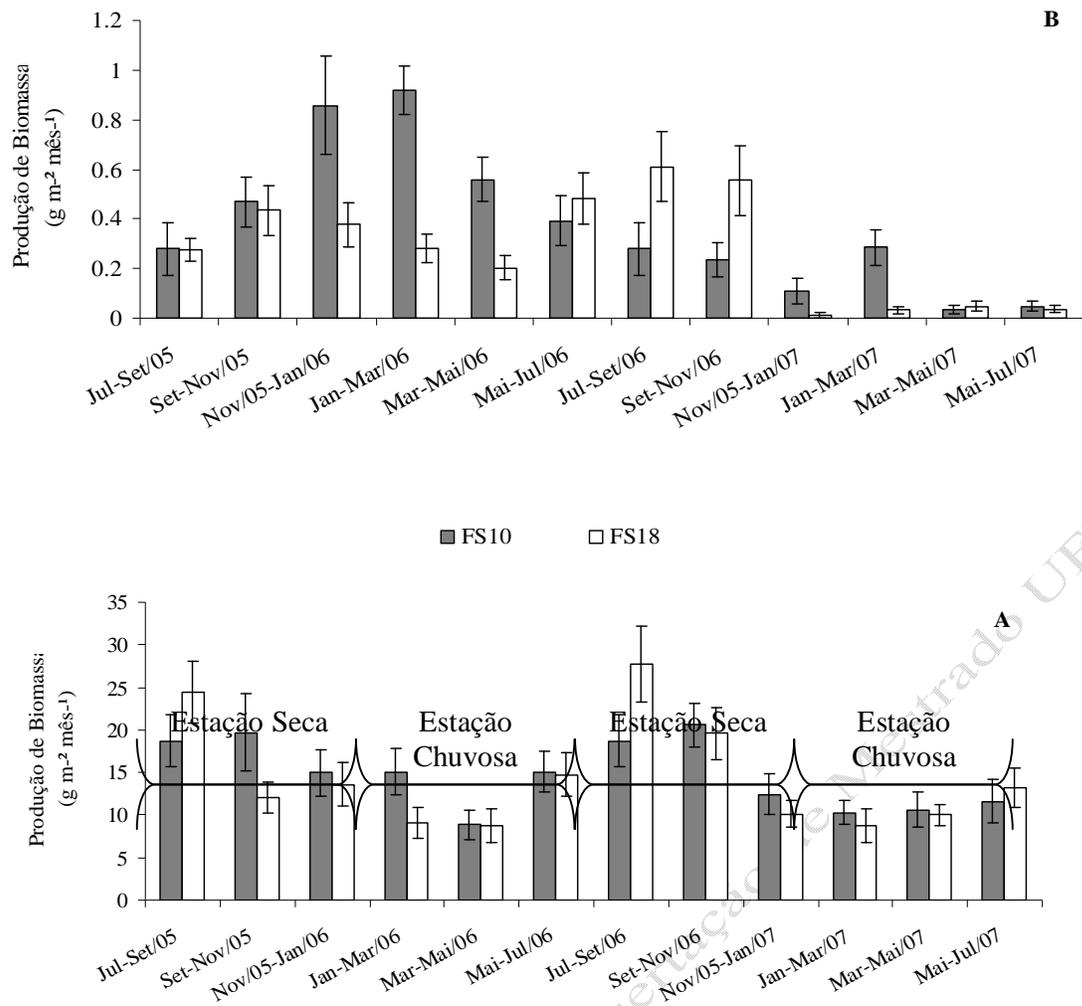


FIGURA 3.1. . Produção de biomassa de raízes finas (A) vivas e (B) mortas em um sítio com 10 anos (FS10) e em um sítio com 18 anos de idade (FS18) durante as estações secas e chuvosas do período de julho/05 a julho/07 de uma floresta tropical secundária na Amazônia Oriental. Resultados são apresentados em média  $\pm$  erro padrão ( $n = 4$ ).

### 3.3.2. COMPRIMENTO DE RAÍZES FINAS

A produção em comprimento das raízes finas vivas e mortas no sítio de 10 anos foi de  $4931,31 \pm 539,13 \text{ m m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$  e de  $79,64 \pm 40,85 \text{ m m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ , respectivamente. No sítio de 18 anos o comprimento de raízes finas vivas e mortas foi de  $4113,64 \pm 746,42 \text{ m m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$  e de  $68,01 \pm 23,07 \text{ m m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ , respectivamente.

Não houve diferença significativa da produção mensal em comprimento das raízes vivas entre os dois sítios ( $F = 2,229$ ;  $P = 3,302$ ;  $FS_{10} = 821,88 \pm 73,51 \text{ m m}^{-2} \text{ mês}^{-1}$ ;  $FS_{18} = 685,61 \pm 100,33 \text{ m m}^{-2} \text{ mês}^{-1}$ , média  $\pm$  erro padrão,  $n = 4$ ). A produção em comprimento mensal de raízes vivas foi significativamente maior na estação seca do que na chuvosa ( $F = 9,914$ ;  $P < 0,0001$ ; Figura 3.2a) nos dois sítios ( $FS_{10}$ : seca =  $946,03 \pm 119,03 \text{ m m}^{-2} \text{ mês}^{-1}$ , chuvosa =  $697,75 \pm 58,68 \text{ m m}^{-2} \text{ mês}^{-1}$ ;  $FS_{18}$ : seca =  $833,28 \pm 174,53 \text{ m m}^{-2} \text{ mês}^{-1}$ , chuvosa =  $537,93 \pm 71,43 \text{ m m}^{-2} \text{ mês}^{-1}$ , média  $\pm$  erro padrão,  $n = 4$ ).

A produção em comprimento de raízes mortas foi influenciada significativamente pela interação entre tratamento e período de coleta ( $F = 6,725$ ;  $P < 0,0001$ ; seca =  $13,24 \pm 2,15 \text{ m m}^{-2} \text{ mês}^{-1}$ , chuvosa =  $11,37 \pm 2,75 \text{ m m}^{-2} \text{ mês}^{-1}$ , média  $\pm$  erro padrão,  $n = 8$ ). No sítio de 10 anos a maior mortalidade ocorreu durante a estação chuvosa ( $FS_{10}$ : seca =  $11,92 \pm 3,17 \text{ m m}^{-2} \text{ mês}^{-1}$ , chuvosa =  $14,63 \pm 4,81 \text{ m m}^{-2} \text{ mês}^{-1}$ , média  $\pm$  erro padrão,  $n = 4$ ), enquanto que no sítio de 18 anos, a maior mortalidade ocorreu na estação seca ( $FS_{18}$ : seca =  $14,55 \pm 3,11 \text{ m m}^{-2} \text{ mês}^{-1}$ , chuvosa =  $8,12 \pm 2,42 \text{ m m}^{-2} \text{ mês}^{-1}$ , média  $\pm$  erro padrão,  $n = 4$ ).

O pico de produção em comprimento das raízes vivas ocorreu de julho a novembro de 2006 nos dois sítios (Figura 3.2a). No sítio de 18 anos os picos de mortalidade ocorreram nos períodos de setembro a novembro de 2005 e 2006. No sítio de 10 anos o pico de mortalidade ocorreu de janeiro a maio de 2006 (Figura 3.2b). Nos dois sítios a mortalidade representou, aproximadamente, 1,7% da produção em comprimento total (viva + morta) das raízes.

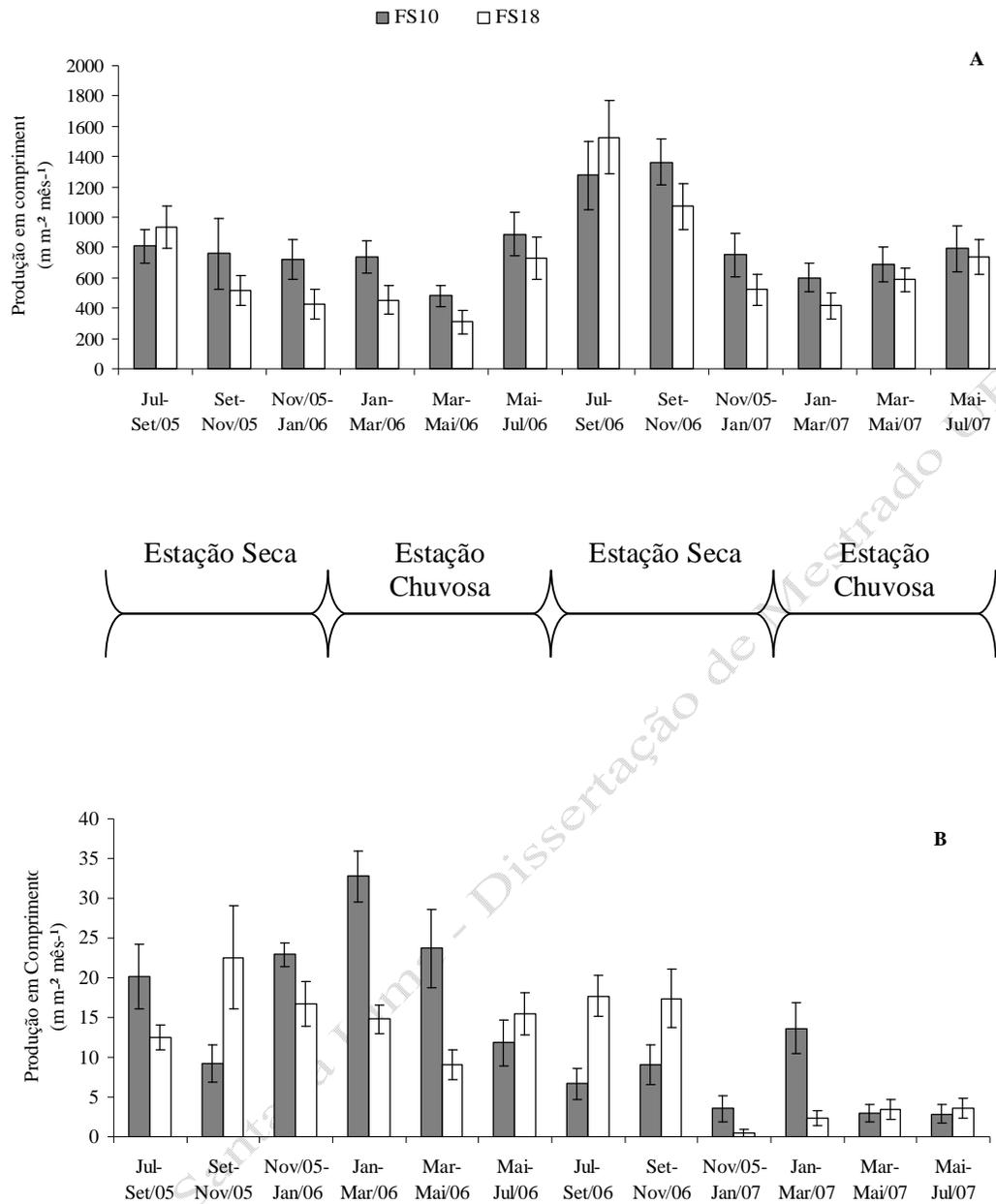


FIGURA 3.2. Produção em comprimento de raízes finas (A) vivas e (B) mortas em um sítio de 10 anos (FS10) e em um sítio de 18 anos (FS18) durante as estações secas e chuvosas do período de julho/05 a julho/07 de uma floresta tropical secundária na Amazônia Oriental. Resultados são apresentados em média  $\pm$  erro padrão ( $n = 4$ ).

### 3.3.3. MORFOLOGIA DAS RAÍZES FINAS

O CRE foi significativamente diferente entre os sítios analisados ( $F = 9,324$ ;  $P = 0,004$ ) sendo maior no sítio de 10 anos do que no sítio de 18 anos ( $FS_{10} = 65,36 \pm 3,88 \text{ m g}^{-1}$ ;  $FS_{18} = 52,47 \pm 3,82 \text{ m g}^{-1}$ , média  $\pm$  erro padrão,  $n = 4$ ). O CRE foi maior na estação chuvosa do que na estação seca para os dois sítios ( $F = 2,045$ ;  $P = 0,023$ ;  $FS_{10}$ : seca =  $64,57 \pm 7,13 \text{ m g}^{-1}$ , chuvosa =  $66,74 \pm 3,91 \text{ m g}^{-1}$ ;  $FS_{18}$ : seca =  $47,23 \pm 3,64 \text{ m g}^{-1}$ , chuvosa =  $57,72 \pm 6,32 \text{ m g}^{-1}$ , média  $\pm$  erro padrão,  $n = 4$ ).

### 3.4. DISCUSSÃO

Os valores de produção anual da biomassa de raízes finas encontrados neste estudo são comparados com outras florestas tropicais (Tabela 3.1) e são menores do que os encontrados em outros estudos usando o método Ingrowth Core. Na literatura trabalhos com raízes finas em florestas secundárias são escassos, a maioria deles trata do estoque da biomassa de raízes finas, não sendo encontrados trabalhos de produção de raízes finas em florestas secundárias, salvo aqueles realizados em clareiras dentro de florestas tropicais maduras.

A produção anual da biomassa de raízes finas nos sítios  $FS_{10}$  e  $FS_{18}$  se aproximaram da produção encontrada em uma das clareiras ( $126 \text{ m}^2$ ) estudadas por Sanford Junior (1990), portanto os valores de produção de biomassa registrados neste trabalho para os sítios  $FS_{10}$  e  $FS_{18}$  podem estar de acordo com a realidade do estágio sucessional em que estes sítios se encontram.

A semelhança encontrada entre os dois sítios de estudo em relação à produção de raízes finas vivas e mortas pode estar relacionada com as semelhanças florísticas entre os sítios e o histórico de uso do solo, como descrito por Araújo *et al.* (2005) e Coelho *et al.* (2003). Além disso, os dois sítios estão submetidos às mesmas variações climáticas e a mesma classe de solo. Segundo Cairns *et al.* (1997) e Vogt *et al.* (1996) os padrões de alocação da biomassa de raízes dentro de um ecossistema florestal dependem, particularmente, de características do solo e do clima.

Semelhança entre áreas de diferentes idades já foi relatada para outras regiões tropicais, porém com relação a biomassa de raízes finas. Cavellier *et al.* (1996) não encontraram diferença na biomassa radicular entre duas florestas tropicais secundárias na Colômbia com 10 e 20 anos de idade. Em uma floresta tropical no México, Jaramillo *et al.* (2003) verificaram declínio na biomassa radicular em florestas tropicais secundárias jovens em

TABELA 3.1. Produção de raízes finas em florestas tropicais.

Tipo de floresta	Localização	Diâmetro (mm)	Método	Produção (g m <sup>2</sup> ano <sup>-1</sup> )	Referência
F. T. Secundária Amazônica (10 anos)	Castanhal, Pará, Brasil	≤ 2	Ingrowth core	88,39	Neste trabalho
F. T. Secundária Amazônica (18 anos)	Castanhal, Pará, Brasil	≤ 2	Ingrowth core	86,03	Neste trabalho
F. T. Seca	LaHuerta, Jalisco, México	≤ 1	Sequential core	180,5	Castellanos <i>et al.</i> 2001
F. T. Semi-decídua	Ilha de Barro Colorado, Panamá	< 2	Ingrowth core	352	Cavelier <i>et al.</i> 1999
F. T. Amazônica	San Carlos, Venezuela	≤ 2	Ingrowth core	1117	Cuevas & Medina 1988
F. T. Amazônica	Venezuela	< 6	Ingrowth core	201	Jordan & Escalante 1980
F. T. Amazônica (solo arenoso)	Floresta Nacional de Caxiuana, Pará, Brasil	≤ 2	Ingrowth core	400	Metcalfe <i>et al.</i> 2008
F. T. Amazônica (solo argiloso)	Floresta Nacional de Caxiuana, Pará, Brasil	≤ 2	Ingrowth core	400	Metcalfe <i>et al.</i> 2008
F. T. Amazônica	San Carlos, Venezuela	< 2	Ingrowth core	129,2	Sanford Junior 1990
F. T. Amazônica (clareira = 85 m <sup>2</sup> )	San Carlos, Venezuela	< 2	Ingrowth core	166,5	Sanford Junior 1990
F. T. Amazônica (clareira = 126 m <sup>2</sup> )	San Carlos, Venezuela	< 2	Ingrowth core	95,7	Sanford Junior 1990
F. T. Amazônica (clareira = 164 m <sup>2</sup> )	San Carlos, Venezuela	< 2	Ingrowth core	112,6	Sanford Junior 1990
F. T. Amazônica (solo arenoso)	Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Brasil	≤ 2	Sequential core	201,5	Silver <i>et al.</i> 2005
F. T. Amazônica (solo argiloso)	Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Brasil	≤ 2	Sequential core	180,5	Silver <i>et al.</i> 2005
F. T. Decídua	Kodayar, Sul da Índia	≤ 2	Ingrowth core	262,1	Sundarapandiam & Swamy 1996
F. T. Semi-Perene	Kodayar, Sul da Índia	≤ 2	Ingrowth core	185,93	Sundarapandiam & Swamy 1996
F. T. Seca	Reserva Florestal Marakkanam, Coromandel, Índia	≤ 2	Ingrowth core	103,6	Visalakshi 1994
F. T. Seca	Puthupet Sacred Grove, Coromandel, Índia	≤ 2	Ingrowth core	117,1	Visalakshi 1994
F. T.	Venezuela	≤ 2	Sequential core	1540	Vitousek & Sanford 1986

relação à floresta primária, porém os autores também não encontraram diferença entre a biomassa radicular de duas florestas secundárias com oito e 20 anos de idade.

A produção de raízes finas vivas em termos de massa e comprimento foi marcadamente sazonal, sendo maior na estação seca do que na estação chuvosa. Variação na produção radicular associada à sazonalidade da precipitação pluviométrica também foi observada em outros estudos em florestas tropicais (Cavelier *et al.* 1999, Kavanagh & Kellman 1992, Metcalfe *et al.* 2008, Sundarapandian & Swamy 1996, Visalakshi 1994), porém com maior produção de raízes na estação chuvosa em relação à seca.

O padrão sazonal da produção e do comprimento das raízes pode estar relacionado às mudanças no acúmulo de matéria orgânica (Aerts *et al.* 1992, Cuevas & Medina 1988, Sundarapandian & Swamy 1996), concentração de nutrientes no solo (Blair & Perfecto 2001, Maycock & Congdon 2000, Pregitzer *et al.* 2000, Stewart 2000), umidade do solo (Hook *et al.* 1994, Makkonen & Helmisaari 1999, Visalakshi 1994) e atividade microbiana (Zangaro *et al.* 2007).

No sítio de 18 anos a maior deposição de serapilheira no solo ocorreu durante a estação seca (Vasconcelos *et al.* 2008), coincidindo com a maior produção de raízes. Segundo Sundarapandian & Swamy (1996) a produção de raízes finas pode aumentar significativamente com o acúmulo de serapilheira.

No sítio de 18 anos, durante a estação chuvosa a biomassa microbiana do solo mineraliza mais nitrogênio do que durante a estação seca (Rangel-Vasconcelos *et al.* 2005). Desse modo, a produção de raízes finas pode ser limitada nesse período, devido a altas concentrações de nitrogênio no solo (Valverde-Barrantes *et al.* 2007). A existência de uma correlação negativa entre a concentração de nitrogênio e a biomassa de raízes finas já foi relatada para outros sítios em florestas tropicais maduras (Gower & Vitousek 1989, Maycock & Congdon 2000). Poucos estudos foram realizados no sítio de 10 anos o que nos limitou fazer algumas comparações.

O maior comprimento radicular durante a estação seca pode também estar relacionado à necessidade da planta em absorver água e nutrientes. A disponibilidade de água no solo provavelmente é o principal fator responsável por mudanças nas estratégias de produção de raízes finas (Dowdy *et al.* 1995, Kätterer *et al.* 1995). Segundo Joslin *et al.* (2000) algumas espécies respondem à seca aumentando o comprimento radicular, resultando em aumento da relação raiz/caule. Essa estratégia da planta pode explicar os picos de produção de raízes vivas encontrados nos meses mais secos no presente estudo.

A sazonalidade da precipitação pluviométrica também influenciou a produção de raízes mortas, que foi maior nas estações secas do que nas estações chuvosas nos dois sítios estudados. Este padrão de crescimento também foi encontrado por outros autores em florestas tropicais (Silver *et al.* 2005, Sundarapandian & Swamy 1996). Maior mortalidade de raízes finas no período seco pode estar associada à redução da disponibilidade de água no solo (Eissenstat *et al.* 2000, Green *et al.* 2005). Além disso, como durante a estação seca a disponibilidade de nutrientes no solo é menor do que durante a estação chuvosa (Rangel Vasconcelos *et al.* 2005), as plantas devem investir mais na produção de raízes jovens, cuja capacidade de absorção de nutrientes é maior do que a de raízes mais antigas (Blair & Perfecto 2001)

A menor produção de raízes mortas no sítio de 18 anos se deve, provavelmente, ao microclima mais úmido promovido pela maior quantidade de serapilheira como sugerido por Visalakshi (1994). Entre os sítios estudados (FS<sub>10</sub> e FS<sub>18</sub>), Rangel-Vasconcelos *et al.* (2005) mostraram maior quantidade de matéria orgânica do solo no sítio mais velho.

Os valores de CRE registrados por nós para os dois sítios são maiores do que os encontrados por Jackson *et al.* (1997) em ecossistemas florestais (12,2 m g<sup>-1</sup>) e os encontrados por Metcalfe *et al.* (2008) na floresta tropical amazônica em solos arenosos (10 m g<sup>-1</sup>) e argilosos (9 m g<sup>-1</sup>). O CRE maior durante a estação seca ratifica a hipótese apresentada por Metcalfe *et al.* (2008) de que as plantas respondem a seca aumentando o CRE. Esta estratégia constitui em uma vantagem para as plantas que aumentam o potencial de absorção de água e nutrientes. A diferença entre os sítios pode ser o reflexo da quantidade de matéria orgânica no solo, que por ser maior no sítio de 18 anos proporciona maior conservação da umidade do solo durante a estação seca. Dados referentes ao CRE que dão uma idéia da morfologia radicular, são necessários para determinar como os sistemas radiculares variam entre ecossistemas e como respondem a mudanças ambientais (Metcalfe *et al.* 2008).

Em resumo, a produção de raízes finas neste estudo foi limitada provavelmente pela disponibilidade de água no solo associada à sazonalidade da precipitação pluviométrica. A produção de raízes finas não foi influenciada pela cronosequência dos sítios estudados, talvez a produção de raízes já esteja estabilizada nestes sítios ou a produção de raízes depende mais das condições de clima e solo. A biomassa e o comprimento das raízes finas foram indicadores de produção que, em geral, mostraram os mesmos padrões. Levando em consideração as dificuldades em medir a produção de raízes finas (Jordan & Escalante 1980, Norby *et al.* 2004), especialmente através de medidas de comprimento, sugerimos o uso da biomassa como um indicador de produção de raízes finas.

### 3.5. LITERATURA CITADA

- AERTS, R., BAKKER, C. & CALUWE, H. 1992. Root turnover as determinant of the cycling of C, N and P in a dry heathland ecosystem. *Biochemistry* 15:175-190.
- ARAÚJO, M. M. A., TUCKER, J. M., VASCONCELOS, S. S., ZARIN, D. J., OLIVEIRA, W., SAMPAIO, P. D., RANGEL-VASCONCELOS, L. G., OLIVEIRA, F. A., COELHO, R. F. R., ARAGÃO, D. V. & MIRANDA, I. 2005. Padrão e processo sucessionais em florestas secundárias de diferentes idades na Amazônia Oriental. *Ciência Florestal* 15:343-357.
- BLAIR, B. C. & PERFECTO, I. 2001. Nutrient content and substrate effect on fine root density and size distribution in a Nicaraguan rain forest. *Biotropica* 33:697-701.
- CAIRNS, M. A., BROWN, S., HELMER, E. H. & BAUMGARDNER, G. A. 1997. Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia* 111:1-11.
- CASTELLANOS, J., JARAMILLO, V. J., SANFORD Jr, R. L. & KAUFFMAN, J. B. 2001. Slash-and-burn effects on fine root biomass and productivity in a tropical dry forest ecosystem in México. *Forest Ecology and Management* 148:41-50.
- CAVELIER, J., ESTEVEZ, J. & ARJONA, B. 1996. Fine-root biomass in three successional stages of an Andean cloud forest in Colombia. *Biotropica* 28:728-736.
- CAVELIER, J., WRIGHT, S. J. & SANTAMARÍA, J. 1999. Effects of irrigation on litterfall, fine root biomass and production in a semideciduous lowland forest in Panama. *Plant and Soil* 211:207-213.
- COELHO, R. F. R., ZARIN, D. J., MIRANDA, I. S. & TUCKER, J. M. 2003. Análise florística e estrutural de uma floresta em diferentes estágios sucessionais no município de Castanhal, Pará. *Acta Amazonica* 33:563-582.
- CUEVAS, E. & MEDINA, E. 1988. Nutrient dynamics within amazonian forests. II. Fine root growth, nutrient availability and leaf litter decomposition. *Oecologia* 76:222-235.
- DOWDY, R. H., NATER, E. A. & DOLAN, M. S. 1995. Quantification of the length and diameter of root segments with public domain software. *Communication in Soil Science and Plant Analysis* 26:459-468.
- EISSENSTAT, D. M., WELLS, C. E., YANAI, R. D. & WHITBECK, J. L. 2000. Building roots in a changing environment: implications for root longevity. *New Phytologist* 147:33-42.

- FELDPAUSCH, T. R., RONDON, M. A., FERNANDES, C.M., RIHA, S. J. & WANDELLI, E. 2004. Carbon and nutrient accumulation in secondary forests regenerating on pastures in central Amazonia. *Ecological Applications* 14:164-176.
- GOWER, S. T. 1987. Relations between mineral nutrient availability and fine root biomass in two Costa Rican tropical wet forests: A hypothesis. *Biotropica* 19:171-175.
- GOWER, S. I. & VITOUSEK, P. M. 1989. Effects of nutrient amendments on fine root biomass in a primary successional forest in Hawaii. *Oecologia* 81:566-568.
- GREEN, J. J., DAWSON, L. A., PROCTOR, J., DUFF, E. I. & ELSTON, D. A. 2005. Fine root dynamics in a tropical rain forest is influenced by rainfall. *Plant and Soil* 276:23-32.
- HENDRICK, R. L. & PREGITZER, K. S. 1996. Temporal and depth related patterns of the fine root dynamics in northern hardwood forests. *Journal of Ecology* 84:167-176.
- HOOK, P. B., LAUENROTH, W. K. & BURKE, I. C. 1994. Spatial patterns of roots in a semiarid grassland: abundance of canopy openings and regeneration gaps. *Journal Ecology* 82:485-404.
- HUGHES, R. F., KAUFFMAN, J. B. & JARAMILLO, V. J. 1999. Biomass, carbon, and nutrient dynamics of secondary forests in a humid tropical region of Mexico. *Ecology* 80:1892-1907.
- JACKSON, R. B., MOONEY, H. A. & SCHULZE, E. D. 1997. A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents. *Proceedings of the National Academy of Science* 94:7362-7366.
- JARAMILLO, V. J., AHEDO-HÉRNANDEZ, R. & KAUFFMAN, J. B. 2003. Root biomass and carbon in a tropical evergreen forest of Mexico: changes with secondary succession and forest conversion to pasture. *Journal of Tropical Ecology* 19:457-464.
- JORDAN, C. F. & ESCALANTE, G. 1980. Root productivity in an Amazonian rain forest. *Ecology* 61:14-18.
- JOSLIN, J. D., WOLFE, M. H. & HANSON, P. J. 2000. Effects of altered water regimes on forest root systems. *New Phytologist* 147:117-129.
- KÄTTERER, T., FABIÃO, A., MADEIRA, M., RIBEIRO, C. & STEEN, E. 1995. Fine-root dynamics, soil moisture and soil carbon content in a *Eucalyptus globulus* plantation under different irrigation and fertilization regimes. *Forest Ecology and Management* 74:1-12.
- KAVANAGH, T. & KELLMAN, M. 1992. Seasonal pattern of fine root proliferation in a tropical dry forest. *Biotropica* 24:157-165.

- LIMA, A. J. N., TEIXEIRA, L. M., CARNEIRO, M. C., SANTOS, J. & HIGUCHI, N. 2007. Análise da estrutura e do estoque de fitomassa de uma floresta secundária da região de Manaus AM, dez anos após corte raso seguido de fogo. *Acta Amazonica* 37:49-54.
- LIMA, M. A. 2002. Agropecuária brasileira e as mudanças climáticas globais: caracterização do problema, oportunidades e desafios. *Cadernos de Ciência & Tecnologia* 19:451-472.
- LIMA FILHO, D. A., REVILLA, J., COELHO, L. S., RAMOS, J. F., SANTOS, J. L. & OLIVEIRA, J. G. 2002. Regeneração natural de três hectares de floresta oombrófila densa de terra firme na região do rio urucu - AM, Brasil. *Acta Amazonica* 32:555-569.
- LU, D., MAUSEL, P., BRONDÍZIO, E. & MORAN, E. 2003. Classification of sucesional forest stages in the Brazilian Amazzon basin. *Forest Ecology and Management* 181:301-312.
- MAKKONEN, K. & HELMISAARI, H. 1999. Assessing fine-root biomass and production in a Scots pine stand - comparison of soil core and root ingrowth core methods. *Plant and Soil* 210:43-50.
- MARTORANO, L. G. & PEREIRA, L. C. 1993. Estudos climáticos do Estado do Pará, classificação climática (Köppen) e deficiência hídrica (Thorntwaite, Mater). Sudam/Embrapa, Belém. 89pp.
- MAYCOK, C. R. & CONGDON, R. A. 2000. Fine root biomass and soil N and P in north Queensland rain forest. *Biotropica* 32:185-190.
- METCALFE, D. B., MEIR, P., ARAGÃO, L. E. O. C., COSTA, A. C. L., BRAGA, A. P., GONÇALVES, P. H. L., SILVA JUNIOR, J. A., AIMEIDA, S. S., DAWSON, L. A., MALHI, Y. & WILLIAMS, M. 2008. The effects of water availability on root growth and morphology in an Amazon rainforest. *Plant and Soil* 311:189-199.
- McCLAUGHERTY, C. A., ABER, J. D. & MELILLO, J. M. 1982. The role of fine roots in the organic matter and nitrogen budgets of two forested ecosystems. *Ecology* 63:1481-1490.
- MCGRODDY, M. & SILVER, W. L. 2000. Variations in belowground carbon storage and soil CO<sub>2</sub> flux rates along a wet tropical climate gradient. *Biotropica* 32:614-624.
- NELSON, B. W., MESQUITA, R. PEREIRA, J. L. G., SOUZA, S. G. A., BATISTA, G. T. & COUTO, L. B. 1999. Allometric regressions for improved estimate of secondary forest biomass in the central Amazon. *Forest Ecology and Management* 117:149-167.
- NORBURY, R. J., LEDFORD, J., RELLY, C. D., MILLER, N. E. & O'NEILL, E. G. 2004. Fine-root production dominates response of a deciduous forest to atmospheric CO<sub>2</sub> enrichment. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 101:9689-9693.

- PREGITZER, K. S., KING, J. S., BURTON, A. J. & BROWN, S. E. 2000. Responses of tree fine roots to temperature. *New Phytologist* 147:105–115.
- RANGEL-VASCONCELOS, L. G. T., ZARIN, D. J., CARVALHO, C. J. R., DEL SANTOS, M. M., VASCONCELOS, S. S. & OLIVEIRA, F. A. 2005. Carbono, nitrogênio e atividade da biomassa microbiana de um solo sob vegetação secundária de diferentes idades na Amazônia Oriental. *Revista de Ciências Agrárias* 44:49-63.
- RODRIGUES, M. A. C. M., MIRANDA, I. S. & KATO, M. S. A. 2007a. Estrutura de florestas secundárias após dois diferentes sistemas agrícolas no nordeste do estado do Pará, Amazônia Oriental. *Acta Amazonica* 37:591-598.
- RODRIGUES, M. A. C. M., MIRANDA, I. S. & KATO, M. S. A. 2007b. Flora e estrutura da vegetação secundária após o uso de diferentes trituradores florestais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 42:459-465.
- SANFORD Junior., R. L. 1990. Fine root biomass under light gap openings in the Amazon rain forest. *Oecologia* 83:541-545.
- SILVER, W. L., THOMPSON, A. W., MCGRODDY, M. E., VARNER, R. K., DIAS, J. D., SILVA, H., CRILL, P. M. & KELLER, M. 2005. Fine root dynamics and trace gas fluxes in two lowland tropical forests soils. *Global Change Biology* 11:290-306.
- SMITH, J., FERREIRA, S., KOP, P. van de, FERREIRA, C. P. & SABOGAL, C. 2003. The persistence of secondary forests on colonist farms in the Brazilian Amazon. *Agroforestry Systems* 58:125-135.
- STEININGER, M. K. 2000. Secondary forest structure and biomass following short and extended land-use in central and southern Amazonia. *Journal of Tropical Ecology* 16: 689-708.
- STEWART, C. G. 2000. A test of nutrient limitation in two tropical montane forests using root ingrowth cores. *Biotropica* 32:369-373.
- SUNDARAPANDIAN, S. M. & SWAMY, P. S. 1996. Fine root biomass distribution and productivity patterns under open and closed canopies of tropical forest ecosystems at Kodayar in Western Ghats, South India. *Forest Ecology and Management* 86:181-192.
- TENÓRIO, A. R. D. M., GRAÇA, J. J. D. C., GÓES, J. E. M., MENDEZ, J. G. R., GAMA, J. R. M. F., SILVA, P. R. O. D., CHAGAS, P. S. M. D., SILVA, R. N. P. D., AMÉRICO, R. R. & PEREIRA, W. L. M. 1999. Mapeamento dos solos da estação de piscicultura de Castanhal, PA. *FCAP Informe Técnico* 25:5-26.

- TUCKER, J. M., BRONDIZIO, E. S. & MORÁN, E. F. 1998. Rates of forest regrowth in eastern Amazônia: a comparison of Altamira and Bragantina regions, Pará state, Brazil. *Interciencia* 23:64-73.
- VALVERDE-BARRANTES, O. J., RAICH, J. W. & RUSSELL, A. E. 2007. Fine-root mass, growth and nitrogen content for six tropical tree species. *Plant and Soil* 290:357-370.
- VASCONCELOS, S. S., ZARIN, D. J., ARAÚJO, M. M., RANGEL-VASCONCELOS, L. G. T., CARVALHO, C. J. R., STAUDHAMMER, C. L. & OLIVEIRA, F. A. 2008. 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.
- VIEIRA, I. C. G., ALMEIDA, A. S., DAVIDSON, E. A., STONE, T. A., CARVALHO, C. J. R. & GUERRERO, J. B. 2003a. Classifying successional forests using Landsat spectral properties and ecological characteristics in eastern Amazônia. *Remote Sensing of Environment* 87:470-481.
- VIEIRA, G. & HOSOKAWA, R. T. 1989. Composição florística da vegetação da regeneração natural. 1 ano após diferentes níveis de exploração de uma floresta úmida. *Acta Amazonica* 19:401-413.
- VIEIRA, I. C. G. & PROCTOR, J. 2007. Mechanisms of plant regeneration during succession after shifting cultivation in eastern Amazonia. *Plant Ecology* 192:303-315.
- VIEIRA, I. C. G., TOLEDO, P. M. & ALMEIDA, A. 2003b. Análise das modificações da paisagem da região bragantina, no Pará, integrando diferentes escalas de tempo. *Ciência e Cultura* 59:27-30.
- VISALAKSHI, N. 1994. Fine root dynamics in two tropical dry evergreen forests in southern India. *Journal of Biosciences* 19:103-116.
- VITOUSEK, P. M. & SANFORD Jr, R. L. 1986. Nutrient cycling in moist tropical forest. *Annual Review of Ecology and Systematics* 17:137-167.
- VITOUSEK, P.M. 1984. Litterfall, nutrient cycling, and nutrient limitation in tropical forests. *Ecology* 65:285-298.
- VOGT, K. A., VOGT, D. J., PALMIOTTO, P. A., BOON, P., O'HARA, J. & ASBJORNSEN, H. 1996. Review of root dynamics in forest ecosystems grouped by climate, climatic forest type and species. *Plant and Soil* 187:159-219.
- VOGT, K. A., VOGT, D. J. & BLOOMFIELD, J. 1998. Analysis of some direct and indirect methods for estimating root biomass and production of forests at an ecosystem level. *Plant and Soil* 200:71-89.

YAVITT, J.B. & WRIGHT, S. J. 2001. Drought and irrigation effects on fine root dynamics in a tropical moist forest, Panama. *Biotropica* 33:421-434.

ZANGARO, W., NISHIDATE, F. R., VANDRESEN, J., ANDRADE, G. & NOGUEIRA, M. A. 2007. Root mycorrhizal colonization and plant responsiveness are related to root plasticity, soil fertility and successional status of native woody species in southern Brazil. *Journal of Tropical Ecology* 23:53-62.

Tâmara Thaiz Santana Lima - Dissertação de Mestrado UFRA 2008

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho mostramos que a produção de raízes finas foi marcadamente sazonal, com maior produção em comprimento e em biomassa de raízes vivas e mortas na estação seca do que na estação chuvosa. A produção maior na estação seca constitui em uma estratégia da planta para prover sua necessidade por água em ambientes com déficit hídrico.

A produção de raízes não foi influenciada pela irrigação durante a estação seca, ou devido a fatores ontogênicos ou devido ao fato de que a irrigação foi deficiente para tirar as plantas do déficit hídrico.

A produção de raízes foi limitada pelo déficit nutricional provocado pela remoção da serapilheira. Esse resultado indica que provavelmente, o uso intenso do solo para a implantação de cultivos agrícolas e pastagens, pode limitar a produção de raízes finas nestes ambientes, por causarem um esgotamento nutricional.

A diferença de idade entre os sítios estudados mostrou influenciar o comprimento radicular específico o qual foi maior no sítio de 10 anos, mostrando que as raízes neste sítio são mais finas do que as raízes do sítio de 18 anos. Os valores de produção de biomassa registrados neste trabalho para os sítios de 10 e 18 anos podem estar de acordo com o estágio sucessional em que estes sítios se encontram, porém mais estudos sobre a produção de raízes finas em florestas secundárias são necessários para uma conclusão mais substancial.

A biomassa e o comprimento das raízes finas foram indicadores de produção e em geral, mostraram os mesmos padrões. Portanto, sugerimos o uso da biomassa como um indicador de produção de raízes finas, uma vez que estimar a produção de raízes finas através de medidas de comprimento requer mais tempo e equipamentos.