



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

**AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DA REDUÇÃO DA PLUVIOMETRIA
NA BIOMASSA AÉREA FLORESTAL**

GLAYSON FRANCISCO BEZERRA DAS CHAGAS

CAMPINA GRANDE – PB

Fevereiro de 2010

GLAYSON FRANCISCO BEZERRA DAS CHAGAS

**AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DA REDUÇÃO DA PLUVIOMETRIA NA
BIOMASSA AÉREA FLORESTAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande em cumprimento às exigências para a obtenção do Grau de Mestre.

Área de concentração: Agrometeorologia

PROF. Dr. Vicente de Paulo Rodrigues da Silva
(Orientador)

PROF. DR. ANTONIO CARLOS LOLA DA COSTA
(Orientador)

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

C433a

2010 Chagas, Glayson Francisco Bezerra das

Avaliação dos impactos da redução da pluviometria na biomassa aérea florestal/ Glayson Francisco Bezerra das Chagas. — Campina Grande, 2010.

70 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Referências.

Orientadores : Prof. Dr. Vicente de Paulo Rodrigues da Silva e Prof. Dr. Antonio Carlos Lola da Costa.

1. Meteorologia Agrícola. 2. Biomassa Aérea. 3. Área Basal. 4. Mortalidade de Árvores. I. Título.

CDU – 551.5:631(043)

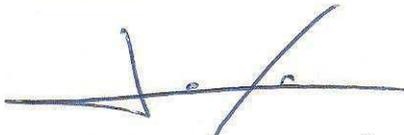
GLAYSON FRANCISCO BEZERRA DAS CHAGAS

AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DA REDUÇÃO DA PLUVIOMETRIA NA
BIOMASSA AÉREA FLORESTAL

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 22/02/2010

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. VICENTE DE PAULO RODRIGUES DA SILVA
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


Prof. Dr. ANTONIO CARLOS LÔLA DA COSTA
Departamento de Meteorologia
Universidade Federal do Pará


Prof. Dr. PEDRO VIEIRA DE AZEVEDO
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


Prof. Dr. MÁRIO DE MIRANDA VILAS BOAS RAMOS LEITÃO
Universidade Federal do Vale do São Francisco

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo fôlego de vida soprado em meus pulmões, pela saúde e sabedoria que possibilitaram com que eu fosse a busca do conhecimento necessário para o desenvolvimento desta pesquisa, amparado diariamente pela Palavra de Deus a qual era me dada como alimento.

À minha filha Jhéssyca, por ser a razão dos meus esforços e principalmente a razão da minha vida e ser a minha herança concedida por Deus.

A Angela Souza, por ter sido companheira no início da caminhada que me trouxe ao mestrado e ter me dado um dos maiores presentes que eu já recebi, minha filha.

Aos meus pais Isaias e Fátima Chagas, por terem sido escolhidos por Deus pra me darem vida e me fazerem crescer com todos os ensinamentos que alguém pode precisar para ser um bom servo do Senhor Jesus.

As minhas irmãs Simone e Cleonice por terem sido pontos de apoio nos momentos difíceis da minha vida e durante o curso.

Aos meus avós Juarez e Maria Amélia, Dias e Osmarina pelo apoio emocional e até mesmo financeiro na hora dos apertos.

Aos meus tios Fernando e Rejane (*in memoriam*), Hernany e Nilma, Joe e Mary, Francisca por todas as orações dispensadas ao meu favor que me deram alívio.

Aos meus primos Sérgio (Pereco), Gislene, Helen, Ramon (Monzito) e Renanda pelos momentos maravilhosos e conselhos bem ditos que sempre me deram, e ajudaram a suportar a distância da família.

Aos meus sobrinhos Júnior, Daniel, Asafe, Ester, Dan Kaliel, Kauan e Nicole e por serem meus amiguinhos dos momentos de descontração e responsáveis por vários sorrisos em horas de aflições.

A Vanessa Almeida pela dedicação, companheirismo e paciência durante todas as etapas deste mestrado, desde a inscrição até o recebimento do diploma.

A irmã Mara, Klayton, Klaycianne e Karol pelo amor dedicado a mim em fases importantíssimas da minha vida, como no final do curso, me concedendo alimento diário em forma de meditações bíblicas e orações.

A família Assembleiana templo antigo da Assembléia de Deus Almirante Barroso e Pedro Álvares Cabral, pelos momentos eternizados na Obra do Senhor e pelas orações incessantes (Wanderley e Linalva Santos).

A família Saldanha pelas orações e conselhos espirituais, em especial ao meu primo Rodrigo, pelas bênçãos que me enviou e mais ainda por ser meu amigo e principalmente irmão em Cristo Jesus.

Aos Professores Dr. Vicente de Paulo Rodrigues da Silva e Dr. Antonio Carlos Lola da Costa pela partilha de experiências e conhecimentos e pela orientação que foi de fundamental importância na elaboração deste estudo.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudo concedida.

A todos os professores e alunos do Curso de Mestrado em Meteorologia pela atenção e ensinamentos ministrados.

Aos amigos João e Rafael que me acolheram cedendo todo o suporte inicial e orientações para o bom início de curso.

Aos amigos ao longo dos dois anos de curso em Campina Grande (Ronaldo e família, Prof. Genival e família, David, Roberta, Andréa, Hallan, Jefferson, Nilzele e família, Ana Paula, Jonathan).

Ao amigo Manoel e família Pai Herói Futebol Clube que em todos os domingos pela manhã me acolheram em seu gramado.

A secretária e amiga Divanete, pela competência e dedicação aos alunos sendo um exemplo a ser seguido.

Ao Museu Paraense Emílio Goeldi – MPEG, pela oportunidade proporcionada em conhecer o mundo da pesquisa na Estação Científica Ferreira Penna – ECFPn. E, ainda, por ser ajudado por colegas na coleta dos dados (Alex Oliveira, Bruno Takeshi, João Athaydes, Maurício Castro e Rafael Ferreira, entre outros).

Obrigado e que Deus possa lhes recompensar com bênçãos sem medidas!

*A MINHA FILHA JHÉSSYCA E A TODOS QUE COMO ELA
ME AMAM VERDADEIRA E INCONDICIONALMENTE,*

Dedico

*“Deleita-te também no Senhor, e Ele te
concederá o que deseja o teu coração.*

*Entrega o teu caminho ao Senhor;
confia nele, e ele tudo fará”.*

Salmos 37: 4 e 5

*“Bem aventurado o homem que
acha sabedoria e o homem que
adquire conhecimento”.*

Provérbios 3: 13

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	IV
LISTA DE FIGURAS	X
LISTA DE TABELAS	XII
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	XIII
RESUMO	XIV
ABSTRACT	XV
1. INTRODUÇÃO.....	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	30
3.1. Localização geográfica e caracterização climática.....	30
3.2. Características da precipitação pluviométrica.....	31
4.3. Características do solo.....	32
3.4. Características do Projeto ESECAFLOR.....	33
3.5. A coleta de dados.....	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
5. CONCLUSÕES.....	61
6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Localização da FLONA de Caxiuanã e Estação Científica Ferreira Penna – ECFPn.....	31
Figura 2.	Total diário de precipitação para o período 1 janeiro de 2001 a 31 de dezembro de 2003 (adaptado de Fischer <i>et al.</i> , 2007)	32
Figura 3.	Projeto ESECAFLOR (parcela B)	33
Figura 4.	Torre micrometeorológica (parcela A)	34
Figura 5.	Posicionamento de cada árvore nas subparcelas das parcelas A e B do Projeto ESECAFLOR.....	35
Figura 6.	Cinta dendrométrica utilizada para a medição do diâmetro da planta a altura do peito nas duas parcelas experimentais.....	37
Figura 7.	Distribuição de frequência da altura das plantas nos parcelas experimentais A e B.....	39
Figura 8.	Distribuição de frequência diamétrica das parcelas A e B.....	40
Figura 9.	Variação da área basal durante o período de 2005 a 2009 na parcela A (A) e na parcela B (B)	41
Figura 10.	Taxa padronizada de incremento do DAP na parcela A (A) e na parcela B (B)	44
Figura 11.	Dinâmica mensal de biomassa para árvores com DAP entre 5 e 20 cm na parcela A (A) e na parcela B (B)	46
Figura 12.	Dinâmica mensal de árvores com DAP maior ou igual a 5 cm e maior ou igual a 20 cm na parcela A (A) e na parcela B (B).....	48
Figura 13.	Dinâmica anual de biomassa nas parcelas A e B.....	51

Figura 14.	Composição da dinâmica anual de biomassa para as parcelas A e B (2005 a 2009)	53
Figura 15.	Comparação da taxa de mortalidade anual das árvores das parcelas A e B.....	55
Figura 16.	Variação temporal da perda de biomassa nas parcelas A e B durante o período experimental.....	56
Figura 17.	Relacionamento entre a mortalidade e a biomassa das árvores na parcela A (A) e parcela B (B)	58
Figura 18.	Comportamento temporal da precipitação pluvial durante o período de 2005 a 2009 no site experimental em Caxiuanã, PA.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores médios e desvios padrão de biomassa das parcelas A e B e os totais anuais de precipitação pluvial de cada ano do período experimental (2005 - 2009).....	59
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CO ₂	Dióxido de carbono
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
ENSO	El Niño Oscilação Sul
ESECAFLOR	Estudo da Seca da Floresta
SAF	Sistema agroflorestal
DAP	Diâmetro à altura do peito
BS	Biomassa seca
EC	Estoque de carbono
FLONA	Floresta Nacional
ECFPn	Estação Científica Ferreira Penna
LBA	Projeto de Grande Escala Biosfera Atmosfera na Amazônia
G	Área seccional de uma árvore
AB	Área basal

RESUMO

Este estudo foi desenvolvido na Floresta Nacional de Caxiuanã, Pará, Brasil, com o objetivo de se analisar os efeitos da redução da precipitação pluvial na biomassa aérea, altura da planta, mortalidade das árvores e na área basal de uma floresta tropical, dentro do Projeto ESECAFLOR (LBA). Foram utilizadas duas parcelas experimentais, medindo um hectare de floresta tropical cada, sendo a parcela A submetida às condições normais do clima e a parcela B com exclusão de aproximadamente 90% de chuva. As análises dos parâmetros de crescimento da floresta apresentadas neste estudo se referem aos dados mensais obtidos durante o período experimental de 2005 a 2009 nas duas parcelas experimentais. Os resultados desta pesquisa permitem concluir que a redução da precipitação pluvial sobre a floresta afeta significativamente todos os parâmetros de crescimento das árvores. A principal evidência é que o efeito da exclusão de chuva provoca redução da área basal florestal, principalmente daquelas com DAP maior do que 10 cm. E, também, que o aumento na taxa de mortalidade das árvores, e a conseqüente perda de biomassa vegetal, são maiores na área com exclusão de chuva do que na floresta submetidas às condições naturais do clima;

Palavras-chave: Biomassa aérea, área basal, mortalidade de árvores.

ABSTRACT

This study was conducted out in Caxiuanã National Forest, Pará, Brazil, to analyze the effects of decrease in rainfall on biomass, tree height, tree mortality and basal area of tropical rainforest within of ESECAFLORE Project (LBA). The experimental design was two experimental sector with one hectare each of natural forest as following: sector A under normal conditions of climate and sector B with rainfall exclusion of about 90%. The growth parameters presented in this study refers the monthly data during the experimental period from 2005 to 2009 for the two experimental sector. Results showed that a decrease in rainfall affects significantly all tree growth parameters over forest. The main evidence for this is that rainfall exclusion provides a reduction in basal area especially with DAP higher than 10 cm. Also, an increase in tree mortality rate and consequently a loss in plant biomass are larger in forest area with rainfall exclusion than under natural conditions of climate.

Keywords: biomass, basal area, tree mortality.

1. INTRODUÇÃO

O homem vem alterando o seu próprio ecossistema de várias formas, e sua interferência no meio ambiente pode gerar mudanças climáticas de grande escala. Esses efeitos já são sentidos principalmente no regime pluviométrico, no fluxo de águas, energia, ciclo do carbono e ciclagem de nutrientes; e, mais ainda, na composição da atmosfera, provocados por desmatamentos e queimadas (Costa, 2008). Parte disso é provocado pelo crescimento desordenado da população que busca em meio às florestas espaço onde possa desenvolver culturas de subsistência. Por outro lado, a grande maioria dos responsáveis por esses efeitos ocupa grandes porções de terra, que na busca de mais áreas de pastagem contribui para os processos destrutivos, como as queimadas, que muitas vezes devastam muito mais do que o necessário. Esses processos destrutivos fazem com que as florestas tropicais úmidas, caracterizadas pela elevada biodiversidade e alta taxa de produtividade biológica com grande acúmulo de carbono, liberem e aumentem a concentração na atmosfera do dióxido de carbono (CO₂) presa em sua vegetação; ajudando, assim, a intensificar o efeito estufa (Salomão, 1994; Murillo, 1997).

A floresta amazônica representa 45% do total de florestas tropicais do mundo. Ela estoca um quinto do carbono total da vegetação terrestre global e processa três vezes mais carbono através da fotossíntese e da respiração do que o carbono liberado para a atmosfera através da queima de combustíveis fósseis (Malhi *et al.*, 2008). As culturas sustentáveis colaboram para a questão do efeito estufa, diminuindo o efeito das queimadas, gerando um incremento de biomassa que provém da captação de dióxido de carbono e também é uma fonte de renda. Neste contexto, várias pesquisas têm sido desenvolvidas na tentativa de entender as mudanças climáticas globais associadas aos impactos antrópicos e/ou naturais.

A região amazônica, além de receber elevada incidência de radiação solar na região tropical, sofre intensa influência da ZCIT (Zona de Convergência Intertropical), que favorece a ocorrência de grandes quantidades de precipitação pluvial praticamente em todas as épocas do ano (Hore *et al.*, 1989). Por outro lado, a ocorrência de El Niño – Oscilação Sul (ENSO), que está associado ao aquecimento diferencial das águas do Oceano Pacífico, provoca conseqüências drásticas na Amazônia brasileira, principalmente na redução das chuvas tropicais (Costa & Foley, 2000; Nobre *et al.*, 1991). A frequência e a intensidade das secas na Amazônia poderão vir a aumentar no futuro, provocando alterações consideráveis no comportamento da floresta, dentre elas o aumento de queimadas naturais. Nesse sentido, o Projeto ESECAFLOR (Estudo da Seca da Floresta) vem dando subsídios a estudos para a compreensão dos efeitos da seca sobre a floresta amazônica, na tentativa de compreender as conseqüências de mudanças nas temperaturas do ar e do solo, as quais têm fundamental importância no desenvolvimento da vegetação (Vianello & Alves, 1991).

Vários pesquisadores vêm estudando diversos sistemas agropecuários de uso da terra com o intuito de analisar qual desses sistemas tem a propriedade de acumular o maior ativo

de biomassa. Segundo Osterroht (2002) e Serrão (1995), as espécies florestais e não florestais cultivadas simultaneamente, ou em seqüência ou em associações planejadas com cultivos anuais ou perenes e/ou pastagens, são as melhores opções para geração de sumidouros de carbono que contribuem para reduzir o efeito estufa. Por esse motivo, eles são considerados como uma das formas mais adequadas de desenvolvimento dos trópicos úmidos, seguido pelas florestas secundárias e seus manejos de reflorestamentos, logo são alternativas viáveis do ponto de vista ambiental e econômico.

De acordo com resultados de muitos trabalhos publicados em revistas científicas internacionais e nacionais, o stress por falta de água causa redução na produção de biomassa em espécies de rápido crescimento, enquanto maior produtividade ocorre nas regiões de maior precipitação e menor déficit hídrico (Stape *et al.*, 2004). Segundo Jarvis & Leverenz (1983), a limitação de água reduz a eficiência de conversão de energia solar em biomassa ou reduz a quantidade de luz interceptada pela copa, devido à redução de área foliar, resultando em menor produtividade florestal. Por outro lado, o menor crescimento observado nas regiões com maior restrição hídrica tem como principal mecanismo responsável o fechamento dos estômatos, que contribui para a manutenção da umidade com conseqüente redução na absorção de CO₂ (Blake & Tschaplinski, 1992).

A hipótese de ocorrerem graves efeitos pelas mudanças climáticas sobre as florestas vem sendo reforçada no fato da motivação mundial por estudos das florestas tropicais. A redução da extensão das florestas pode contribuir aproximadamente em 20% para o aumento atual na concentração do CO₂ atmosférico (Houghton & Hackler 2006, Ramankutty *et al.*, 2007). Os ecossistemas dos países amazônicos são os maiores reservatórios de carbono no planeta, conseqüentemente, geram divisas e endossam a conservação da biodiversidade (Santilli *et al.*, 2005; Betts, 2006).

Alguns pesquisadores já alertam que o armazenamento do carbono em florestas tropicais esteja aumentando (Phillips *et al.*, 1998, Phillips *et al.*, 2002, Baker *et al.*, 2004b). Porém, há outros estudos que discordam dessa hipótese (Rice *et al.*, 2004, Feeley *et al.*, 2007). Segundo Taiz & Zeiger (1998), as plantas podem realizar fotossíntese em diferentes faixas de temperatura e, também, passar um período de tempo relevante realizando esse processo com temperaturas abaixo ou acima do ótimo, podendo levar à limitação da produtividade. Isso reforça a idéia que nas regiões tropicais, água e nutrientes são os dois principais fatores que limitam a produção florestal (Barros & Comerford, 2002).

Santana *et al.* (2008) observaram que a biomassa do eucalipto aumenta com a sua idade, disponibilidade potencial de água, temperatura média anual e com o aumento da proporção da quantidade média de água disponível nos meses secos. A mesma tendência foi observada por Hingston & Galbraith (1998), os quais verificaram que de 89 a 95% da variação de crescimento em diâmetro e altura do *Eucalyptus globulus*, na Austrália, ocorre em virtude da idade e da precipitação média anual.

Este trabalho tem como hipótese analisar um incremento de biomassa positivo na parcela da floresta natural, haja vista que não havendo déficit hídrico todas as condições favoráveis para o desenvolvimento do ecossistema de floresta tropical são plenamente mantidas. Já em áreas com restrições hídricas poderá ocorrer redução de biomassa, devido às mudanças na temperatura do ar e do solo, que modificam as características gerais do ecossistema e prejudicam o desenvolvimento da floresta. Dessa forma, pretende-se avaliar se uma alteração na pluviosidade pode acarretar danos a um ecossistema florestal. Quando uma floresta tem seu desenvolvimento mantido sem perturbações na fase juvenil, grande parte dos assimilados são utilizados para a formação da copa. À medida que a floresta vai

se desenvolvendo, inicia-se uma concorrência entre a copa das árvores e a biomassa relativa dos troncos que aumenta enquanto a queda de folhas e ramos diminui (Cromer *et al.*, 1975; Andrae, 1982; Larcher, 1984; Fabião, 1986; Reis & Barros, 1990 e Otto, 1994).

Diante deste contexto, o presente estudo tem os seguintes objetivos:

(i) Geral:

Analisar a dinâmica do incremento de biomassa aérea em dois sítios experimentais da floresta tropical sob duas condições ambientais - uma natural e outra submetida à exclusão de parte da precipitação pluvial.

(ii) Específicos:

- a) Comparar a distribuição diamétrica e altura das árvores;
- b) Determinar a variação mensal da biomassa aérea total de árvores pequenas, árvores grandes e de todas as árvores;
- c) Determinar a variação mensal do peso das árvores e analisar a variação anual da área basal;
- d) Determinar a variação anual de biomassa aérea e a taxa de mortalidade das plantas nas duas parcelas experimentais.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A estimativa de biomassa de florestas pode proporcionar informações sobre o estoque de macro e micro nutrientes que são influenciados pelo clima. A biomassa é usada para estimar o estoque e a quantidade de CO₂ liberada para a atmosfera. O acúmulo de biomassa numa comunidade florestal ou agroflorestal é afetado por fatores ambientais, bem como por fatores inerentes a natureza da própria planta (Caldeira *et al.*, 2001). A medição da biomassa é um instrumento útil na avaliação de ecossistemas (Russo *apud* Campos, 1991), na conversão de energia e ciclagem de nutrientes (Golley *et al.*, 1971), na absorção e armazenamento de energia solar (Andrae & Krapfenbauer, 1983), possibilitando conclusões para o manejo racional dos ecossistemas. A biomassa pode ser determinada pela coleta destrutiva da árvore (método direto) ou pelas equações alométricas (método indireto) que são baseadas em árvores colhidas (Brown 1997; Chave *et al.*, 2005). Os modelos alométricos relacionam a massa seca da árvore (obtida pelo método direto) às variáveis mensuráveis tais como DAP (diâmetro na altura do peito), a altura total da árvore e a densidade de madeira (Brown *et al.*, 1989, King 1996; Abdala *et al.*, 1998; Delitti *et al.*,

2006). A maioria dos estudos da biomassa emprega modelos alométricos para determinar a biomassa na superfície, porque o processo de coleta do peso das árvores é destrutivo e caro. Como a produção de biomassa não é função apenas do processo hídrico, ela também pode ser determinada pelas características genéticas da espécie estudada (Santana *et al.*, 2002). No presente estudo não será abordada essa questão em face da inexistência de dados morfofisiológicos das plantas.

Santos *et al.* (2004) estimou a biomassa seca (BS) acima do solo e o estoque de carbono (EC) de SAF (sistemas agroflorestais) no rio Juba, Cametá, PA, através do método indireto (não destrutivo) a partir de dados de um inventário florestal realizado em sete parcelas de 0,25 ha. Nesse estudo, foram inventariados, em média, 2.594 indivíduos por hectare, com diâmetro à altura do peito igual ou maior que 5 cm. As espécies mais importantes foram a *Euterpe oleracea* Mart. (açai) e *Theobroma cacao* L. (cacau), que representaram 80% do total dos indivíduos estudados. Em média, a biomassa seca dos sistemas agroflorestais foi de 298,44 ton ha⁻¹, sendo que a espécie *Euterpe oleracea* (açai) apresentou biomassa seca de 4,47 ton ha⁻¹ (43% nas folhas e 57% nos estipes), o cacau 1,45 ton ha⁻¹ (18% nas folhas e 82% na madeira) e as demais árvores 292,52 ton ha⁻¹ (1% nas folhas e 99% na madeira). A partir desses dados, os autores observaram que o estoque de carbono nos SAF representa cerca de 100% do carbono estocado numa floresta primária de terra firme, aproximadamente 62% a mais do que em uma floresta secundária enriquecida e 23% a mais do que em florestas de várzeas na Amazônia. Desse modo, concluíram que os SAF das várzeas do rio Juba são importantes acumuladores de carbono, contribuindo com grande eficácia no seqüestro de carbono e redução do efeito estufa.

Oliveira *et al.* (2003) estudaram o impacto da exploração seletiva de madeira em áreas em processo de fragmentação florestal na Amazônia Ocidental. O estudo foi feito ao

longo dos principais eixos das rodovias BR-364 e BR-317, com duas amostras por eixo de florestas primárias em processo de fragmentação, e tipologias florestais semelhantes. As unidades amostrais estudadas, ao longo da BR-364, foram Catuaba e Floresta Estadual do Antimari, enquanto no trecho da BR-364 foram estudadas as unidades: Ponteio e Adélcio, cujas áreas variam entre 800 ha a 70.000 ha. A Floresta Estadual do Antimari foi utilizada como testemunha por ser uma área com efeitos antrópicos reduzidos. Foram avaliados, por meio de equações alométricas, os padrões de distribuição de biomassa das quatro áreas, o que possibilitou associar o processo de fragmentação florestal à dinâmica de biomassa em florestas primárias. Os efeitos da exploração seletiva de madeira foram evidentes e mostraram uma redução drástica de biomassa das espécies mais exploradas na área da Catuaba, com 3 ton ha⁻¹.

A hipótese da relação da mudança de clima global com o crescimento vegetal e o papel das florestas como locais de seqüestro de carbono encorajaram o refinamento das estimativas de biomassa de raízes finas e sua produção. Porém, existe controvérsia na literatura sobre qual é o melhor método para determinar a produção de biomassa de raízes finas (Vogt, 1998). Porém, alguns trabalhos mostram que a produção primária de nutrientes distribuídos no subsolo é freqüentemente maior do que sobre o solo, e as contribuições anuais de carbono e nutrientes do solo nas raízes finas freqüentemente se igualam ou excedem as das folhas. Por outro lado, a distribuição de carbono nas raízes apresenta um papel significativo no ciclo de carbono global (Jackson, 1997). A produção de raiz representa uma contribuição que equivale a metade do carbono, anualmente ciclado em muitas florestas. Desse modo, estimativas precisas de biomassa no subsolo são importantes para o entendimento da ciclagem de carbono em ecossistemas florestais.

A temperatura do solo pode influenciar o desenvolvimento das raízes de várias formas. Se a umidade do solo e a disponibilidade de nutriente são adequadas, as taxas de comprimento e de mortalidade de raiz crescem com o aumento da temperatura do solo. O crescimento e a mortalidade da raiz são altamente sazonais em plantas perenes, com uma alta taxa de crescimento na primavera e significativa mortalidade no outono (Pregitzer, 2000). Porém, as relações sazonais entre fonte-sumidouro e a utilização de reservas armazenadas na determinação de taxas de crescimento de raiz e do seu período de vida não é bem entendido e se esperam estudos mais definitivos de plantas maduras (Pregitzer, 2003). O efeito da respiração das raízes relacionadas com mudanças futuras na temperatura do ar será importante na determinação da resposta da vegetação à mudança climática global. Além de responder por 33 a 60% da respiração total do solo (Bowden *et al.*, 1993; Pregitzer *et al.*, 2000), a respiração das raízes também representa um sumidouro de CO₂ nas plantas, 8 a 52% do CO₂ fixados nas plantas pela fotossíntese, retorna para a atmosfera através da respiração de raízes (Lambers, 1996). Essa porcentagem provavelmente muda com flutuações na temperatura do solo, devido à respiração das raízes ser frequentemente mais sensível à temperatura do solo do que à fotossíntese líquida (Atkin, 2000). De acordo com Silva Júnior (2008), em estudo feito para a FLONA de Caxiuanã, PA, no período de novembro de 2004 a novembro de 2005, a respiração média do solo foi maior no período chuvoso (3,49 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) do que no período seco (3,41 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). O autor ainda encontrou 48% de correlação entre a respiração do solo e o peso total de biomassa aérea. Estudando a transpiração de floresta, Costa (2008) observou índices pluviométricos de 1.228,3 mm ano⁻¹ e 401,0 mm ano⁻¹ para as parcelas A (controle) e B (exclusão) o que representou 58,5 e 19,1%, respectivamente, da precipitação registrada nas parcelas.

Devido às dificuldades de se estudar a dinâmica de raízes, houve uma tendência em coletar dados da biomassa de raiz e de sua distribuição dentro dos perfis do solo (Böhm, 1979; Vogt & Person, 1991). Esse tipo de estudo é válido ao examinar o papel do ecossistema de raízes em ciclos de carbono de floresta; porém, ele não avalia as influências diretas ou indiretas que as raízes têm nas atividades biológicas e químicas no solo, ou até mesmo se as raízes podem ter outras adaptações para aumentar suas aquisições em recursos abióticos (por exemplo, mycorrhizas), pois não reflete a estimativa de biomassa (Caldwell, 1979; Eissenstat & Van Rees, 1994; Van Noordwijk, 1983; Vogt *et al.*, 1996). Jordan (1980) encontrou para a floresta tropical amazônica, perto de San Carlos de Rio Negro, Venezuela, uma taxa média de acumulação de biomassa em raízes superficiais de $117 \text{ g m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$, e incremento de biomassa de raiz total de $201 \text{ g m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$, bem como verificou que o crescimento foi mais elevado nas raízes superficiais quando a liteira fresca estava presente. Por outro lado, Jackson (1997) analisando vários biomas, encontrou variação da biomassa total de raízes finas de $0,27 \text{ kg m}^{-2}$ em desertos e de $1,5 \text{ kg m}^{-2}$ em gramados temperados, enquanto que as taxas biomassa de raízes finas vivas foram de 0,13 e $0,95 \text{ kg m}^{-2}$ nos mesmos biomas. No mesmo estudo, os perfis calculados por profundidade mostraram que a tundra tem os perfis de raízes finas mais superficiais do que qualquer bioma, com 94% de raízes acima de 30 cm do solo. Florestas boreais e gramados temperados também mostraram perfis relativamente rasos. Os perfis mais fundos foram observados em florestas tropicais decíduas (folhas que caem anualmente, no outono), florestas temperadas coníferas, florestas tropicais, gramíneas tropicais, savanas tropicais e desertos (Jackson, 1997).

A capacidade da floresta Amazônica em se desenvolver sobre solos com baixa disponibilidade de nutrientes e com grande produção de biomassa se deve a eficiente

deposição e rápida liberação dos elementos minerais mediante a decomposição da serrapilheira e reabsorção através das raízes superficiais (Neves *et al.*, 2001). A quantidade do material vegetal que se deposita no solo resulta dos componentes senescentes da parte aérea das plantas, que ao caírem sobre o solo forma uma camada denominada liteira, que compreende as folhas, caules, flores e frutos (Goley *et al.*, 1978). A serrapilheira ou liteira fina atua na superfície do solo como um sistema de entrada e saída de nutrientes no ecossistema, através de processos de produção e decomposição. Esses processos são importantes na restauração da fertilidade do solo em áreas em início de sucessão ecológica (Ewel, 1976).

Com o crescimento e o aumento da idade das árvores, inicia-se a queda de folhas, gravetos e partes reprodutivas para formar a camada de liteira, sendo que sua decomposição e liberação de nutrientes constituem os principais processos dos ciclos biogeoquímicos (Silva & Costa, 2004). O processo inicia-se com a absorção após a decomposição da serrapilheira e, também, com o escoamento de água pelos diferentes compartimentos da planta, concluindo-se com o retorno deles ao solo (Neves *et al.*, 2001).

Pesquisas recentes apontam para uma assimetria no seqüestro de carbono em florestas tropicais, onde a floresta funciona como um sumidouro de carbono. No entanto, não há evidências de como se comportaria a dinâmica da produção primária líquida, especialmente a queda de liteira e a velocidade de decomposição da matéria orgânica. Além das taxas de queda de liteira, o ritmo de crescimento da floresta e os pulsos diários dos troncos devido ao fluxo de seiva são importantes para se avaliar a dinâmica de florestas tropicais (Costa, 2008).

A sazonalidade na queda de detritos vegetais pode estar relacionada a diversos fatores, tais como, fotoperíodo, deficiência hídrica, condições climáticas, competições

intercopas, dentre outros. Em condições tropicais é comum, no decorrer de cada ano, a intensificação da deposição de material orgânico na estação de menor precipitação, devido ao aumento do componente foliar. Estima-se que a floresta esteja produzindo $0,799 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ (79,9 kg) de liteira, nas condições normais de temperatura, umidade e pluviosidade. Porém, quando submetida à exclusão de água da chuva, estima-se que apenas $0,575 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ (57,5 kg) de liteira seja produzida (Medeiros & Almeida, 2003). O estudo qualitativo e quantitativo da serrapilheira é importante para a compreensão dos ecossistemas florestais (Alves *et al.*, 2006).

A influência da floresta no recebimento e na distribuição da água das chuvas é de importância significativa para o estudo do balanço hídrico de um determinado local. A água da chuva que se precipita sobre a floresta pode assumir dois caminhos distintos: voltar para a atmosfera por evapotranspiração, onde as taxas são em torno de quatro mm dia⁻¹ (Fisch *et al.*, 1998), assim como atingir o solo, através do gotejamento direto e da folhagem e escorrimento pelos troncos das árvores. Deste modo, a água proveniente das chuvas tem papel fundamental no desenvolvimento de uma floresta, logo qualquer alteração no ciclo hidrológico pode influenciar seu desenvolvimento, comprometendo o crescimento de biomassa e estoque de carbono pela biomassa verde, conseqüentemente, potencializando o efeito estufa.

A interceptação da água da chuva pelo dossel vegetativo é um dos principais componentes do ciclo hidrológico. Essa interceptação varia de acordo com vários aspectos, tal como a morfologia da floresta e o regime de precipitação predominante. De acordo com Ubarana (1994), a interceptação pluviométrica pela copa das árvores vai interferir na água que atingirá o solo, que varia em função da natureza e densidade da cobertura vegetal, pois ela tem a capacidade de reter a água, que é armazenada temporariamente. Em estudos

hidrometeorológicos realizados em Caxiuanã, PA, Costa *et al.*, (2006) observaram uma taxa média da variação da interceptação de 18,2%, para o total médio anual de 14,6% para a época chuvosa, mas especificamente no mês de fevereiro. Nesse mesmo experimento, os autores encontraram um escoamento pelo tronco (stemflow) da ordem de 3,3%.

A interceptação da água da chuva pela floresta favorece a renovação de massas atmosféricas úmidas e minimiza a agressão do solo causada pela chuva direta. As gotículas que conseguem ultrapassar a camada de folhagem (precipitação interna), juntamente com a água resultante do escoamento pelo tronco das árvores, ao atingirem o solo, uma parte esco superficialmente até atingir um curso d'água e outra se infiltra para as partes mais profundas do solo, alimentando os lençóis subterrâneos.

O crescimento e o desenvolvimento das espécies vegetais é consequência de vários processos fisiológicos controlados pelas condições ambientais e as características genéticas de cada espécie vegetal. Portanto, para melhor compreender o crescimento, o desenvolvimento e o impacto hidrológico de uma floresta, faz-se necessário conhecer os processos sofridos pela água da chuva que atinge a superfície vegetada da floresta. A conservação dessa água não pode ser obtida independentemente da conservação dos outros recursos naturais. O comportamento da água na terra reflete diretamente as condições e os usos dos terrenos (solo, vegetação e homem) de onde ela emana (Pereira, 1973). Após vários estudos a cerca da hidrologia florestal, a expressão “Influências da Floresta” (Kittredge, 1948) foi utilizada para incluir o estudo de todos os efeitos resultantes da presença da floresta sobre o clima, o ciclo da água, a erosão, as enchentes, a produtividade do solo, etc. O acúmulo de conhecimentos gerado permitiu o esclarecimento de inúmeros pontos duvidosos de experimentos pioneiros em florestas tropicais. Esses estudos estão em sintonia com uma afirmação antiga de Zon (1927) – “de todas as interferências diretas da

floresta, a influência sobre os rios e a regularidade de seus escoamentos é uma das mais significativas para a economia humana”.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização geográfica e classificação climática

O presente estudo foi desenvolvido na FLONA de Caxiuanã (Floresta Nacional) que está localizada no Município de Melgaço, no Estado do Pará, cujas coordenadas são as seguintes: latitude 01° 42' 30" S e longitude 51° 31' 45" W (Figura 1). O sítio experimental se encontra distante 400 km, em linha reta, da Capital do Estado, Belém. Limite-se ao Norte com divisor de águas entre a bacia do rio Caxiuanã e rio Amazonas, ao Sul com rio Caxiuanã, a Leste com a bacia de Caxiuanã e o igarapé Laranjal e a Oeste com igarapé Grande. A região de Caxiuanã apresenta segundo a classificação de Köeppen o tipo climático **Am**, ou seja, clima tropical quente, com curto período de estiagem (Costa & Moraes, 2003).

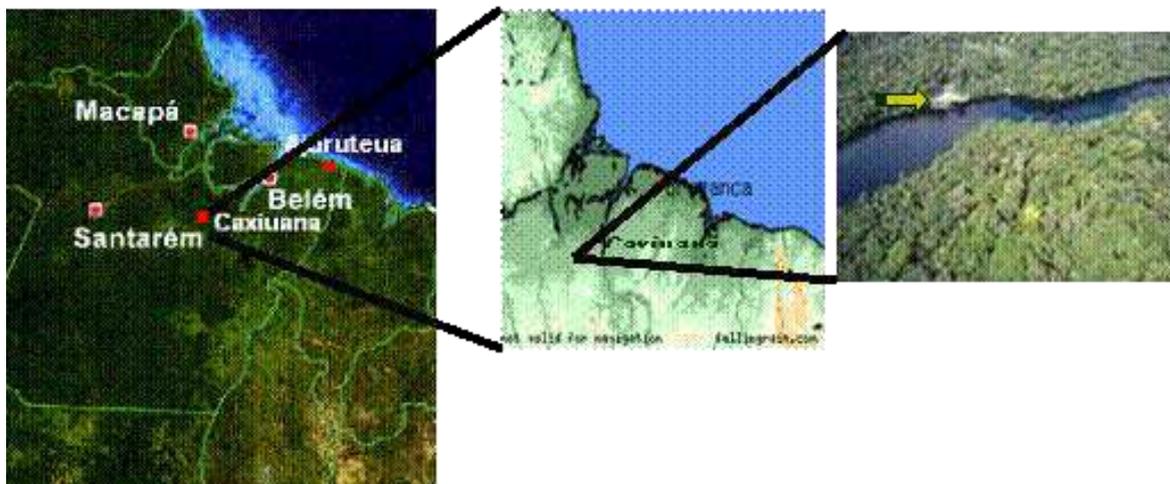


Figura 1. Localização da FLONA de Caxiuana e Estação Científica Ferreira Penna – ECFPn

3.2. Características da precipitação pluviométrica

A FLONA de Caxiuana tem um regime pluviométrico bastante irregular, apresenta grande variabilidade espacial e temporal e uma média anual de 1.920 mm de chuva. O mês de março é o mais chuvoso, com média de 337 mm, enquanto que em novembro ocorre a maior escassez de chuva, com média de 62 mm. Aproximadamente 74% da precipitação anual ocorrem entre janeiro e junho (1.443 mm), enquanto que de julho a dezembro chove em média 512 mm, ou seja, apenas 26% do total médio anual (Costa, 2003). De acordo com Fisher *et al.*, (2007), a região de Caxiuana tem duas estações no ano: a úmida que compreende os meses de janeiro a julho, com uma precipitação média de $9,4 \pm 11,0$ mm dia^{-1} (média de 24 dias com chuva), e estação seca, que vai de agosto a dezembro com $3,0 \pm 9,9$ mm dia^{-1} (média de 11 dias com chuva) (Figura 2).

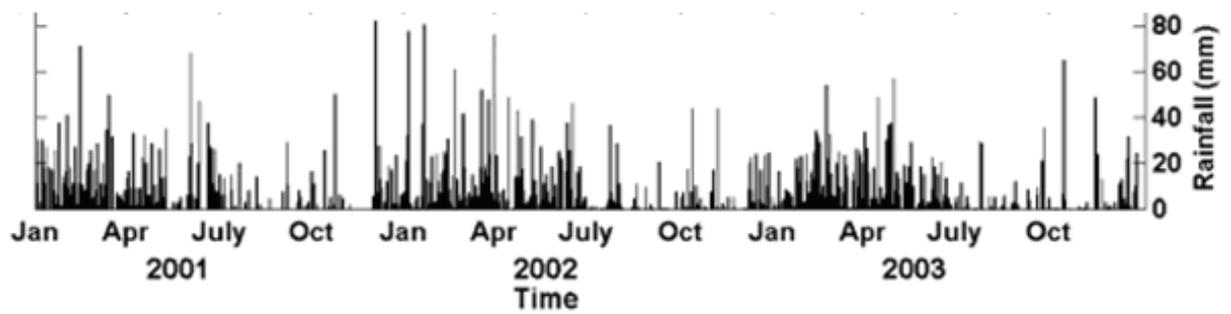


Figura 2. Total diário de precipitação para o período 1 janeiro de 2001 a 31 de dezembro de 2003 (adaptado de Fischer *et al.*, 2007)

Estudos realizados por Costa *et al.* (2006) indicam que a distribuição irregular de chuvas na região amazônica, marcada, principalmente, por dois períodos de chuva, apresenta considerável variabilidade anual, que corresponde a 23,1 %.

3.3. Características do solo

A região de estudo apresenta relevo relativamente plano que sustenta um Latossolo Amarelo, profundo e de origem terciária, tendo como características marcantes a acidez, solos argilo-arenosos e bastante vulneráveis à erosão laminar. Também são encontrados outros tipos de solos, como Plintossolos e Terra Preta arqueológica (Kern, 1996). De acordo com estudos realizados para Caxiuanã, PA, os solos vão de bem drenados a moderadamente drenados e são pobres em nutrientes. A base do perfil constitui-se de um horizonte de areia e/ou argila caulínica, intercalada com um horizonte laterítico. O solo tem pH que varia de 3,5 muito ácido, a 5,5 moderadamente ácido. Estudos mostraram que a parcela sem exclusão de chuva em relação à parcela com exclusão de chuva contém - 9,3% areia, +4,8% silte e +35,7% argila (Ruivo *et al.*, 2002; Ruivo & Cunha, 2003).

3.4. Características do Projeto ESECAFLOR

O projeto ESECAFLOR (Estudo da Seca da Floresta) consiste na simulação de um período de seca prolongada na floresta para avaliar o impacto nos fluxos de água e dióxido de carbono em uma floresta tropical amazônica. Além disso, ele investiga a influência da exclusão de água no solo sobre o ciclo da floresta, e suas alterações, o que consiste em algo semelhante ao que ocorre em anos de fenômeno El Niño. Em sua estrutura física, o ESECAFLOR é composto por duas parcelas (A e B), de um hectare cada. Essas áreas são delimitadas por trincheiras que variam de 50 a 150 cm de profundidade. A parcela A foi usada como referência para os experimentos realizados na parcela B, na qual foi efetuada a exclusão de parte da água da chuva, utilizando-se cerca de 6.000 painéis plásticos colocados a uma altura de 1,5 a 4 metros de altura acima do solo (Figura 3).



Figura 3. Projeto ESECAFLOR (parcela B)

Uma torre micrometeorológica instalada na área (Figura 4) permite o acesso fácil às árvores para análises de fotossíntese e de outras variáveis, além do monitoramento meteorológico por estações automáticas. As parcelas foram mantidas permanentemente

limpas e os painéis plásticos substituídos sempre que necessário, quando danificados pela queda de galhos, frutos e eventualmente de árvores.



Figura 4. Torre micrometeorológica (parcela A)

3.5. A coleta de dados

A diversidade de espécies vegetais varia de 150 a 160 plantas por hectare, e a densidade de indivíduos de 450 a 550 árvores ha^{-1} . As espécies predominantes na floresta de terra-firme são a *Eschweilera coriacea* (Lecythidaceae), *Voucapoua americana* (Caesalpinaceae) e *Protium pallidum* (Burseraceae) (Viana *et al.*, 2003). No estudo de Silva *et al.* (2003) foram registradas na ECFPn (Estação Científica Ferreira Penna) 1.054 espécies pertencentes a 393 gêneros e 102 famílias. A ECFPn tem 663 espécies arbóreas predominantes que representam 62,9% das espécies registradas no local.

Na parcela A foram monitoradas 532 árvores, a qual tem como espécies de maior predominância a *Escheweileira*, *Licania octandra*, *Lecythis*, *Pouteria decorticans*, *Swartzia racemosa*, *Rinoria guianensis* e *Vouacapoua americana*. Por outro lado, na parcela B foram monitoradas 502 árvores, que tem como espécies de maior predominância a

Escheweileira coriacea, *Manilkara bidentata*, *Swartzia racemosa* e *Tetragastris panamensis*. A Figura 5 exibe o posicionamento de cada exemplar dentro das subparcelas das parcelas A e B.

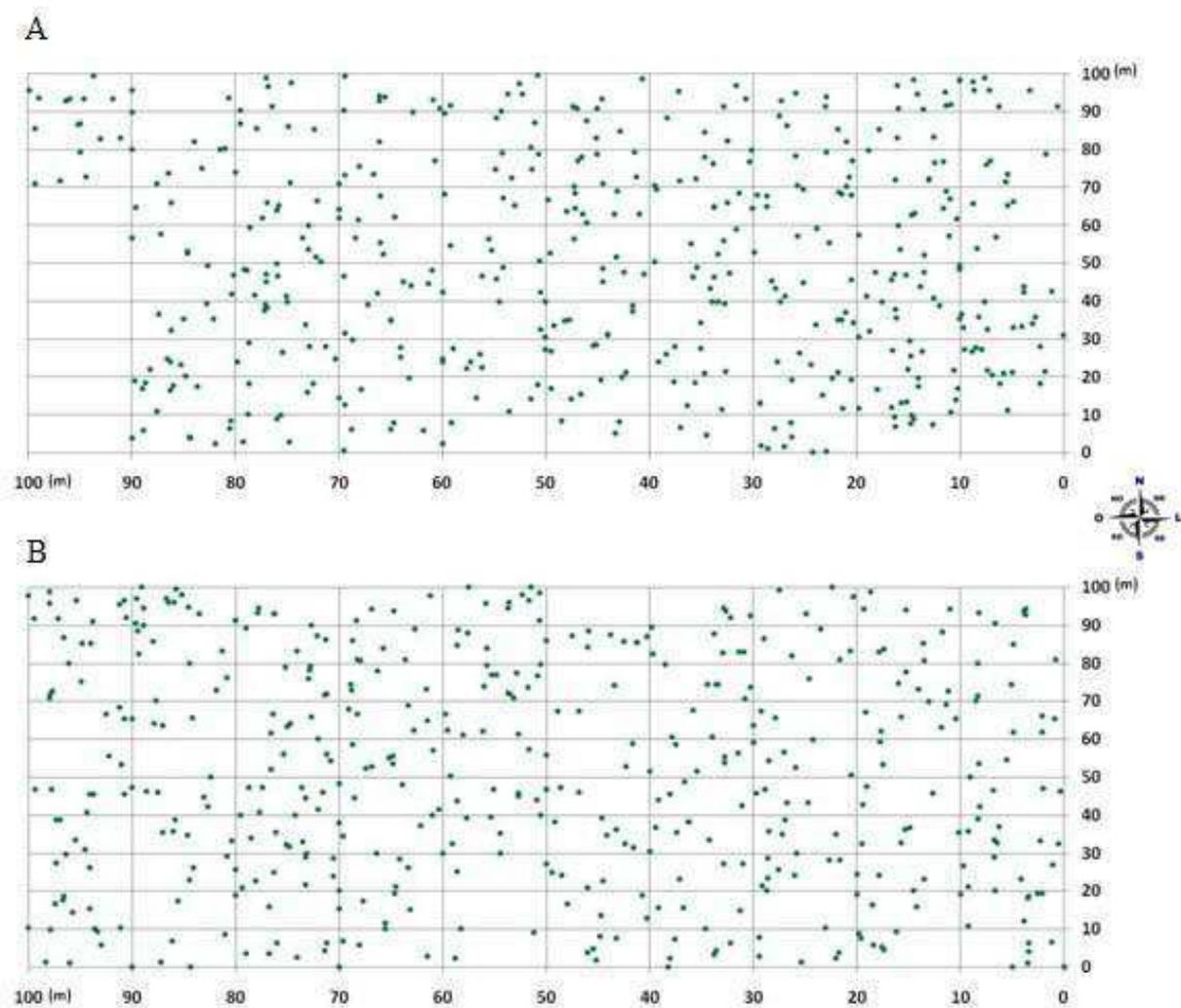


Figura 5. Posicionamento de cada árvore nas subparcelas das parcelas A e B do Projeto ESECAFLOR

Em cada árvore foi colocada uma cinta dendrométrica (Figura 6) para medir o DAP (diâmetro à altura do peito), bem como foram realizadas medidas do crescimento do DAP (mm) usando-se um paquímetro digital.

As medições do DAP são fundamentais nos cálculos dos outros parâmetros que expressam o desenvolvimento da floresta. A área seccional à altura do peito, usada no cálculo do volume das árvores, foi obtida pela Eq. (1); enquanto que a área basal, calculada pelo somatório das áreas seccionais das árvores expressa o grau de ocupação das árvores, foi obtida pela Eq. (2) (Soares, 2006):

$$g = \frac{\pi \cdot DAP^2}{40.000} \quad (1)$$

$$AB = \sum_{i=1}^n g_i \quad (2)$$

em que g é a área seccional à altura do peito (m^2), $\pi = 3,1416$, AB é a área basal da árvores ($m^2 \text{ ha}^{-1}$).

A partir dos valores obtidos, os incrementos de biomassa foram calculados em cada uma das árvores que compõem as duas parcelas, com base nas equações propostas por Higuchi *et al.* (1998):

$$\text{Ln } P = -1,754 + 2,665 \ln DAP; \text{ para } \text{árvores com } 5 \leq DAP < 20 \text{ cm} \quad (3)$$

$$\text{Ln } P = -0,151 + 2,170 \ln DAP; \text{ para } \text{árvores com } DAP \geq 20 \text{ cm} \quad (4)$$

$$\text{Ln } P = -1,497 + 2,548 \ln DAP; \text{ para } \text{árvores com } DAP \geq 5 \text{ cm} \quad (5)$$

em que DAP é o diâmetro a altura do peito a 1,30 m e P é o peso da matéria fresca (kg).

Também foi avaliado o incremento de biomassa relacionando com a precipitação em ambas as parcelas experimentais. Essas equações foram utilizadas por requererem apenas o DAP como variável independente, que é fácil de ser medido no campo e sem erros amostrais (Higuchi *et al.*, 1998).

Os dados obtidos para a execução deste projeto se referem às medidas efetuadas em todas as árvores catalogadas no sítio do Projeto ESECAFLOR, no período de janeiro de 2005 a maio de 2009. Dessa forma, este trabalho é uma das diversas atividades de pesquisa realizadas dentro do Projeto de Grande Escala Biosfera Atmosfera na Amazônia (LBA), que trata da temática discutida nas reuniões que enfocam questões ambientais globais. Assim, foi possível observar variabilidade na biomassa total na parcela de exclusão da água no solo (B), em bases mensais, períodos secos e chuvosos, e período anual comparada com a variabilidade na parcela de controle (A).

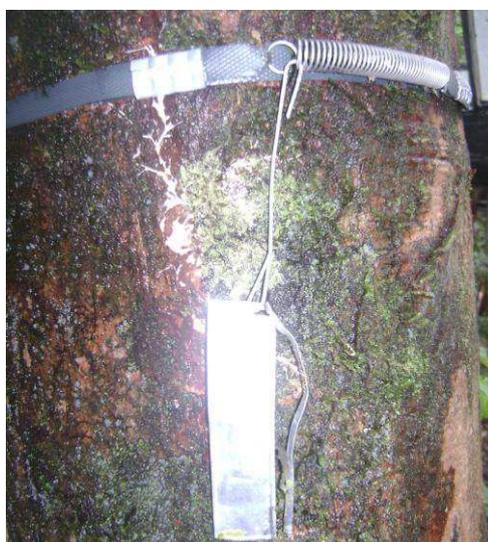


Figura 6. Cinta dendrométrica utilizada para a medição do diâmetro da planta a altura do peito nas duas parcelas experimentais

Neste estudo, também foi analisada a distribuição das alturas das árvores no sítio do Projeto ESECAFLOR, avaliando a predominância de árvores com altura entre 10 e 20 metros, em ambas as parcelas. A hipótese é que existe uma maior variabilidade na biomassa das árvores na parcela que não apresenta deficiência hídrica; enquanto na parcela com restrições hídricas, a taxa de incremento de biomassa é menor que na parcela de controle.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A grande maioria de árvores analisadas, 295 na parcela A e 281 na parcela B tem altura entre dez e vinte metros em ambas as parcelas (Figura 7). A diferença do número de árvores nessa classe de altura foi de apenas 5%, enquanto na classe entre 20 e 30 metros de altura a diferença foi 20%. Por outro lado, a classe com altura de árvores entre 0-10 m foi a que apresentou maior diferença entre as duas parcelas (27%), com 103 e 76 árvores nas parcelas A e B, respectivamente. Já a classe que abrange as árvores com 40-50 m possuem a menor diferença (8%) entre as parcelas, com 22 árvores na parcela A e 31 árvores na parcela B.

A maior concentração de árvores foi observada na classe 10-20 metros em ambas as parcelas e a menor frequência é de árvores com tamanho superior a 50 metros. Com relação às árvores mais altas (classe 40-50 metros), identificaram-se somente duas árvores na parcela A e nenhuma na parcela B. Por outro lado, foi encontrada apenas uma árvore com mais de 50 m na parcela B e nenhuma na parcela A. A parcela com exclusão de parte da chuva (B) apresentou maior frequência de árvores na classe 30-40 metros. Portanto, o

efeito da exclusão de parte da chuva provocou redução das alturas das árvores, principalmente daquelas com tamanho de até 30 metros.

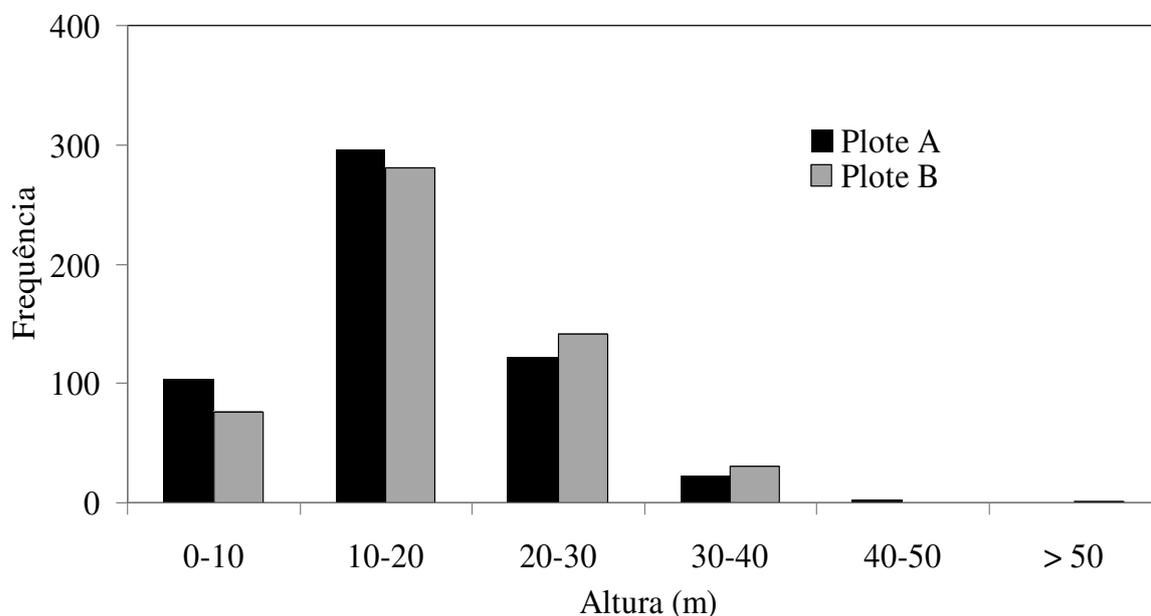


Figura 7. Distribuição de frequência da altura das plantas nas parcelas experimentais A e B

Ao se analisar a frequência das classes diamétricas, em ambas as parcelas, também se verificou o efeito da redução da precipitação sobre a floresta, principalmente nas árvores com diâmetro de até 30 cm. Em ambas as parcelas, o número de árvores com diâmetros maiores decresce quase que exponencialmente (Figura 8). A maior classe a de árvores com DAP entre 10 e 20 cm (301 e 284 árvores nas parcelas A e B, respectivamente) o que representa uma diferença de aproximadamente 6% entre as parcelas.

Por outro lado, a menor frequência é de árvores com DAP entre 40 e 50 cm, 25 árvores na parcela A e 31 árvores na parcela B, cuja diferença representa apenas 6%. Nas outras classes diamétricas, os valores são muito próximos. Por exemplo, a classe de 20-30 cm tem 112 árvores na parcela A e 90 árvores na parcela B; a classe 30-40 cm tem 25

árvores na parcela A e 31 na parcela B e na classe de árvores com diâmetros maiores do que 50 cm foram encontradas 34 árvores na parcela A e 33 árvores na parcela B.

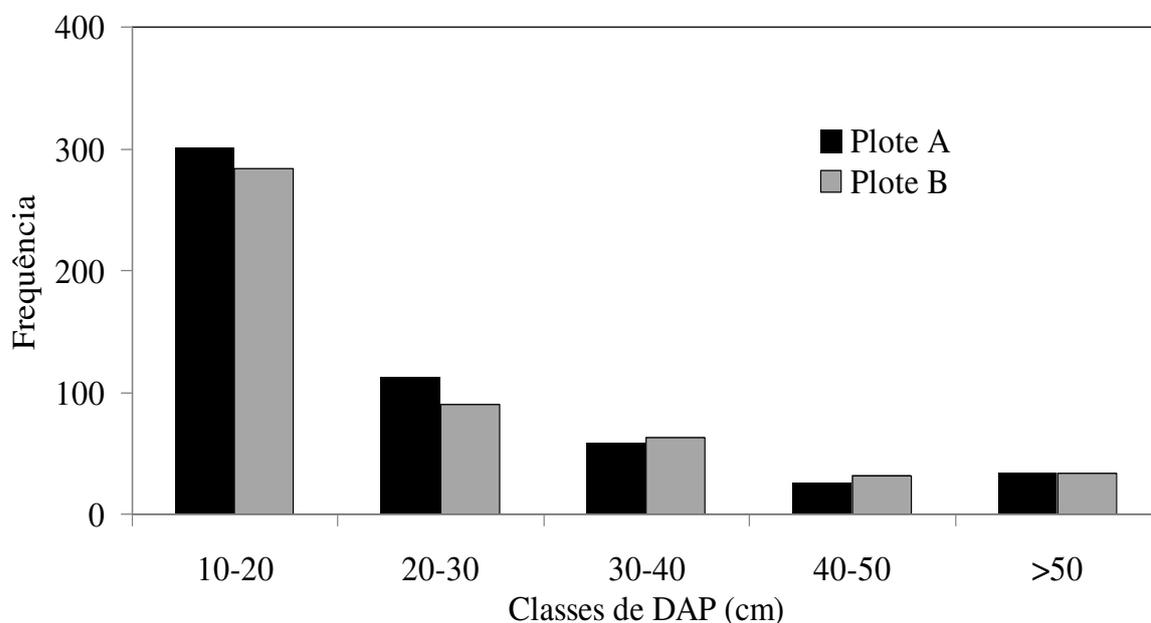


Figura 8. Distribuição de frequência diamétrica das parcelas A e B

A Figura 9 exibe a variação da área basal nos dois sites experimentais no período de janeiro de 2005 a maio de 2009. A média da área basal da parcela A, para todo o período estudado, foi de $32,2898 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, com desvio padrão de $\pm 0,46569 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$. Os dados de 2005 apresentaram uma área basal de $32,9944 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ e em 2006 de $31,8588 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, que corresponde um decréscimo de $1,1356 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (ou seja, 4%). Em janeiro de 2007, foi observada uma área basal de $32,3053 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, significando um incremento de em torno de 4% com relação ao ano anterior e de $32,4787 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ em janeiro de 2008, que corresponde um incremento de $0,1734 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (0,5%). No final do período estudado, maio de 2009, observou-se um decréscimo de $0,6046 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (2%) em relação ao ano anterior. De forma geral, houve um decréscimo na área basal na parcela A no período de 2005 para 2009. A

análise da variabilidade intra-anual indica que a área basal decresce nos meses de julho-agosto, em face da proximidade de período seco na região de estudo.

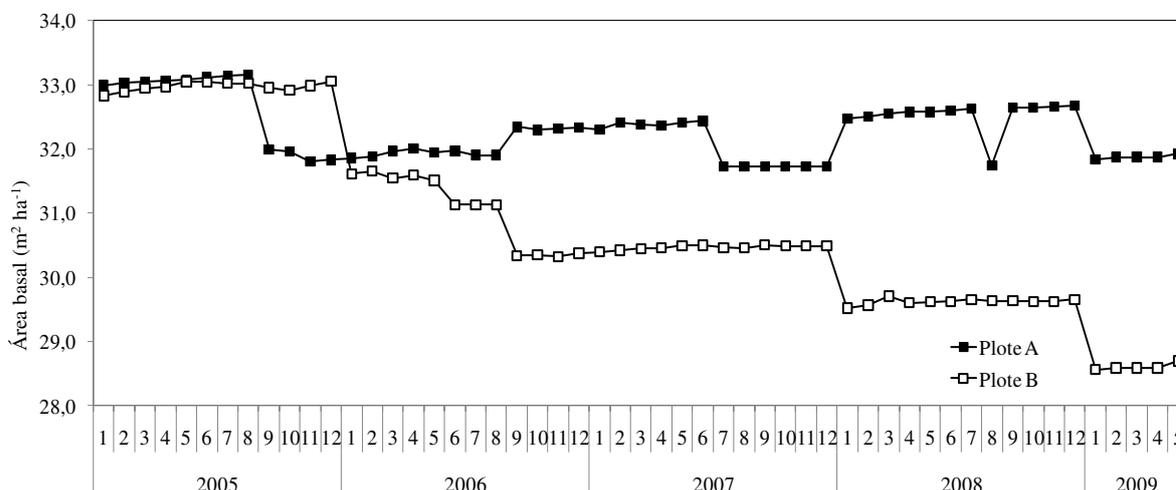


Figura 9. Variação da área basal durante o período de 2005 a 2009 na parcela A (A) e na parcela B (B)

Na área com exclusão parcial de chuva (parcela B), a área basal também apresenta um comportamento decrescente desde o mês de janeiro de 2005 até maio de 2009 (Figura 9). O decréscimo da área basal nessa parcela durante todo o período de estudo foi de 13%. Por exemplo, a área basal em 2005 foi $32,8338 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ e em 2009 foi $28,5600 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, que corresponde uma redução em todo período analisado de $4,2738 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$. Nesse período as médias das áreas basais nas parcelas A e B foram de $32,2898$ e de $30,8010 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, respectivamente. A diminuição de área basal foi observada em todos os anos analisados. Por exemplo: de 2005 a 2006 o decréscimo da área basal foi de $1,2226 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (4%), com média de $31,10584 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$; já entre 2006 e 2007 o decréscimo foi levemente menor $1,2171 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (4%), com média de $30,4666 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$. A menor taxa de decréscimo foi registrada entre 2007 e 2008 de $0,8775 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (3%), com média de $29,6209 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$. O valor

registrado em janeiro de 2008, de $29,5166 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, decresceu 3%, ou seja, $0,9566 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ em maio de 2009. Dessa forma, comparando a média da área basal das duas parcelas durante o período de observação, verifica-se que houve um decréscimo de $1,4888 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$. Esse resultado, portanto, comprova que uma redução na pluviometria na região também reflete de forma significativa na área basal das árvores da floresta.

Analisando o curso mensal da área basal nas parcelas A e B, observa-se que a parcela B começa a apresentar uma redução na área basal a partir de dezembro de 2005, diferentemente da parcela A que mantém um comportamento estacionário dessa variável ao longo do período de estudo, apenas com pequenas variações sazonais. A diferença de área basal entre as duas parcelas no mês de janeiro de 2005 foi de $0,1606 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, sugerindo certa homogeneidade das árvores no início do período experimental. Já em janeiro de 2006, essa diferença aumentou para $0,2476 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (aproximadamente 1%), pois nesse período a área basal da parcela A foi de $31,8588 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ e na parcela B de $31,6112 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$. Em janeiro de 2007, a área basal da parcela A aumentou novamente para $32,3053 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, enquanto que a parcela B se manteve com tendência decrescente, com o valor de $30,3941 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ nessa data. Nesse ano a diferença de biomassa entre as parcelas foi de $1,9112 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (6%). Comportamento semelhante ocorreu em janeiro de 2008, porém com diferença da área basal ampliada para $2,9621 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (9%), pois a parcela A apresentou área de $32,4787 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ e a parcela B de $29,5166 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$. No final do período experimental, em maio de 2009, foi registrado a maior diferença entre os valores de área basal das parcelas A e B, de $3,2304 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (11%). Nessa data, a área basal na parcela A foi $31,9224 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ e na parcela B foi $28,6920 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, como resultado dos comportamentos decrescente dessa variável na parcela B e estacionário na parcela A.

Na Figura 10 são apresentadas as variações das taxas padronizadas de incremento do DAP nas duas parcelas experimentais durante os anos de 2005 a 2009. Verificam-se poucas oscilações durante os anos estudados no período chuvoso. Essas taxas não apresentaram qualquer tendência durante os anos analisados. Algumas oscilações são observadas no mês de agosto de 2005, cujo valor padronizado é de aproximadamente -2,14 cm (167 cm). Após esse decréscimo, em agosto de 2006, ocorreu um incremento padronizado de 1,57 cm (102,23 cm). Os anos de 2005 e 2006 apresentaram médias reais do DAP de -1,60 e 4,76 cm, respectivamente. No ano de 2007, a média do DAP foi de -2,15 cm, embora tenha sido o único ano em que não se notou nenhuma anomalia no desenvolvimento dessa variável. Já o ano de 2008 apresentou mais anomalias no desenvolvimento do DAP; em seguida decresceu com valor padronizado de -3,01 cm (228,94 cm). Em dezembro desse ano ocorreu o maior decréscimo de todos os anos analisados, cujo valor padronizado foi de -4,24 cm (-317,92 cm). O mais elevado decréscimo do DAP foi no mês de agosto de 2008, com valor de 3,39 cm (234,15 cm). No ano de 2009 ocorreu ainda um pequeno decréscimo da dinâmica do DAP, com um valor padronizado de -1,63 cm (-129,29 cm), com média de -33,05 cm.

Na Figura 10 B consta a variação mensal da taxa padronizada de incremento do DAP na parcela B. Percebe-se elevada variabilidade dessa variável no período estudado. No ano de 2005, o mês de janeiro apresentou um decréscimo padronizado de -1,94 cm (147,46 cm) e, em seguida, apresentou uma tendência negativa, atingindo os valores padronizados de -1,7 cm (-70,89 cm) em abril e de -1,0 cm (-66,68 cm) em junho. Dessa forma, em 2005 foi o ano que apresentou o maior decréscimo no DAP, com uma média de -40,49 cm. Essa tendência diminuiu no ano de 2006, com média de -23,22 cm; também com decréscimo no

DAP. Porém, nesse ano os meses com reduções significativas foram maio e agosto, com valores padronizados de -1,45 cm (104,55 cm) e -2,61 cm (206,44 cm), respectivamente.

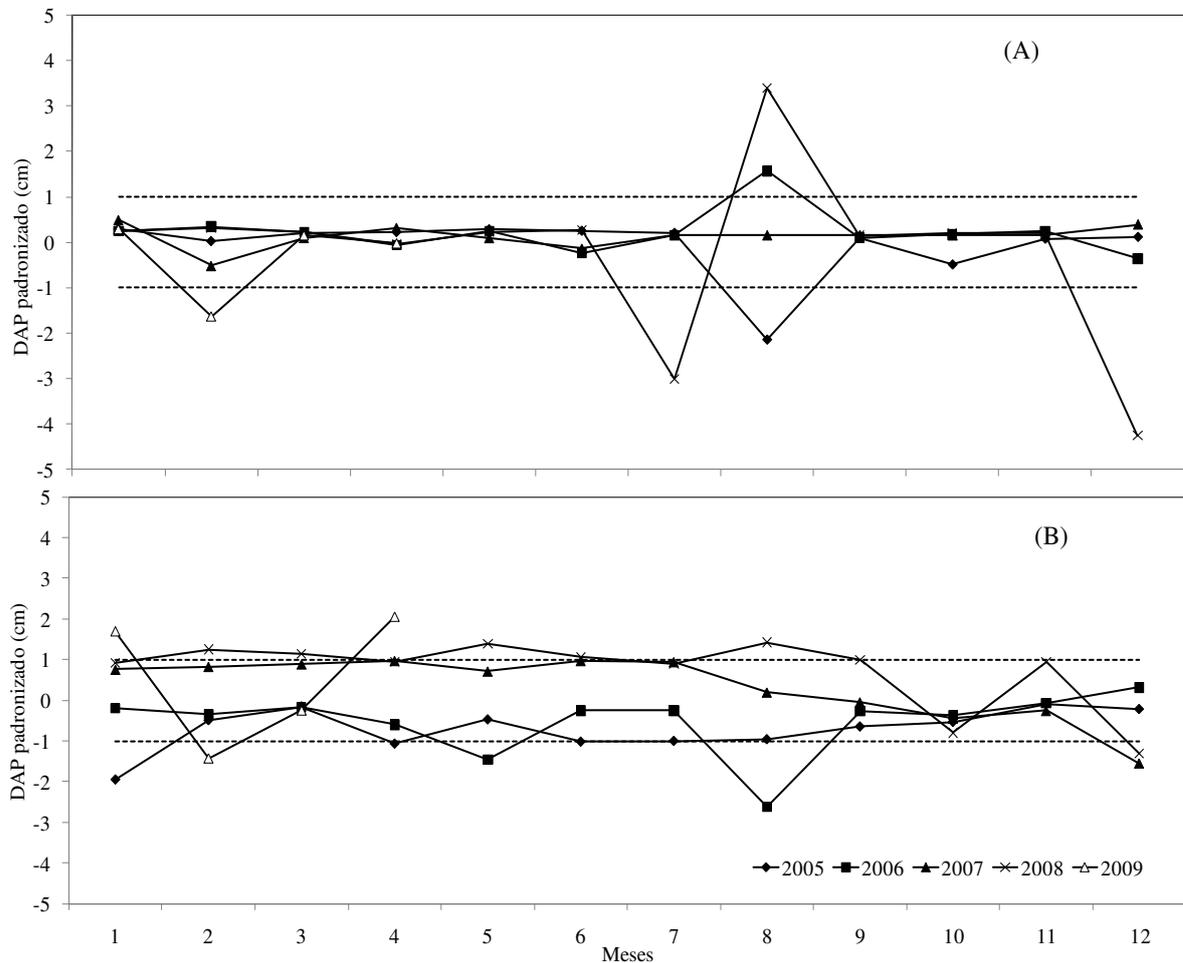


Figura 10. Taxa padronizada de incremento do DAP na parcela A (A) e na parcela B (B)

Portanto, nesse ano houve um decréscimo do diâmetro das árvores à altura do peito na parcela com exclusão de parte da chuva. A partir do ano de 2007, observam-se médias positivas do DAP, porém houve um decréscimo acentuado no mês de dezembro de -1,55 cm (-113,22 cm). Entretanto, esse valor não influenciou significativamente na média que foi de 51,62 cm. Já para o ano de 2008, observa-se um incremento bem amplo no DAP, com valores padronizados dos meses de fevereiro com 1,25 cm (131,77 cm), em março

com 1,14 cm (122,12 cm), em maio com 1,38 cm (143,61 cm) e em agosto com 1,42 cm (146,95 cm). Como consequência desses incrementos mensais, observou-se nesse ano a maior média do DAP dentre todas as séries estudadas, atingindo o valor de 86,77 cm de incremento, representando uma diferença de aproximadamente 40% do valor referente à média de 2007. Percebe-se a mesma tendência no ano de 2009, ou seja, um amplo incremento no DAP nos primeiros cinco meses do ano. Por exemplo, em fevereiro ocorreu um decréscimo padronizado do DAP de -1,44 cm (103,51 cm). Por outro lado, ocorreram altos incrementos do DAP nos meses de janeiro e abril, respectivamente, de 1,7 cm (170,99 cm) e de 2,06 cm (202,47 cm). A média de todo o período foi de 67,49 cm.

A comparação da variabilidade no incremento de biomassa das árvores com DAP entre 5 e 20 cm nas parcelas A e B é apresentada na Figura 11. No ano de 2005, a parcela A apresentou regularidade na quantidade de biomassa, pois em janeiro foi de 60 ton ha⁻¹, chegando a 61 ton ha⁻¹ em julho e diminuiu para 59 ton ha⁻¹ no período seco (Figura 11 A). Por outro lado, em 2006, nessa parcela experimental, observa-se um crescimento de 3 ton ha⁻¹, com maior incremento no mês de junho de 2007. Em seguida, as árvores apresentaram uma redução de 5 ton ha⁻¹ entre janeiro e dezembro desse ano. Em janeiro de 2008, ocorreu outro incremento, porém acima de 60 ton ha⁻¹, que decresceu em agosto para 58 ton ha⁻¹. No mês de setembro, a biomassa foi de 63 ton ha⁻¹; já no ano de 2009, houve um decréscimo de apenas 1 ton ha⁻¹ até o mês de maio. Para todos os anos analisados, a média da biomassa das árvores da parcela A foi 61 ton ha⁻¹ e o desvio padrão foi de $\pm 1,86$ ton ha⁻¹. A análise da parcela com exclusão de parte das chuvas evidencia que as árvores com DAP entre 5 e 20 cm apresentaram um decréscimo de uma ton ha⁻¹ no ano de 2005 (Figura 11B). No ano de 2006 ocorreu um forte decréscimo de biomassa a partir do mês de maio; enquanto nos anos de 2007 e 2008 as biomassas das árvores permaneceram quase

inalteradas praticamente durante todo o ano. Já em 2009 houve um leve incremento na biomassa das árvores de uma ton ha^{-1} . Os resultados indicam que houve um decréscimo de aproximadamente 6% da biomassa com DAP entre 5 e 20 cm durante o período analisado de 2005 a 2009.

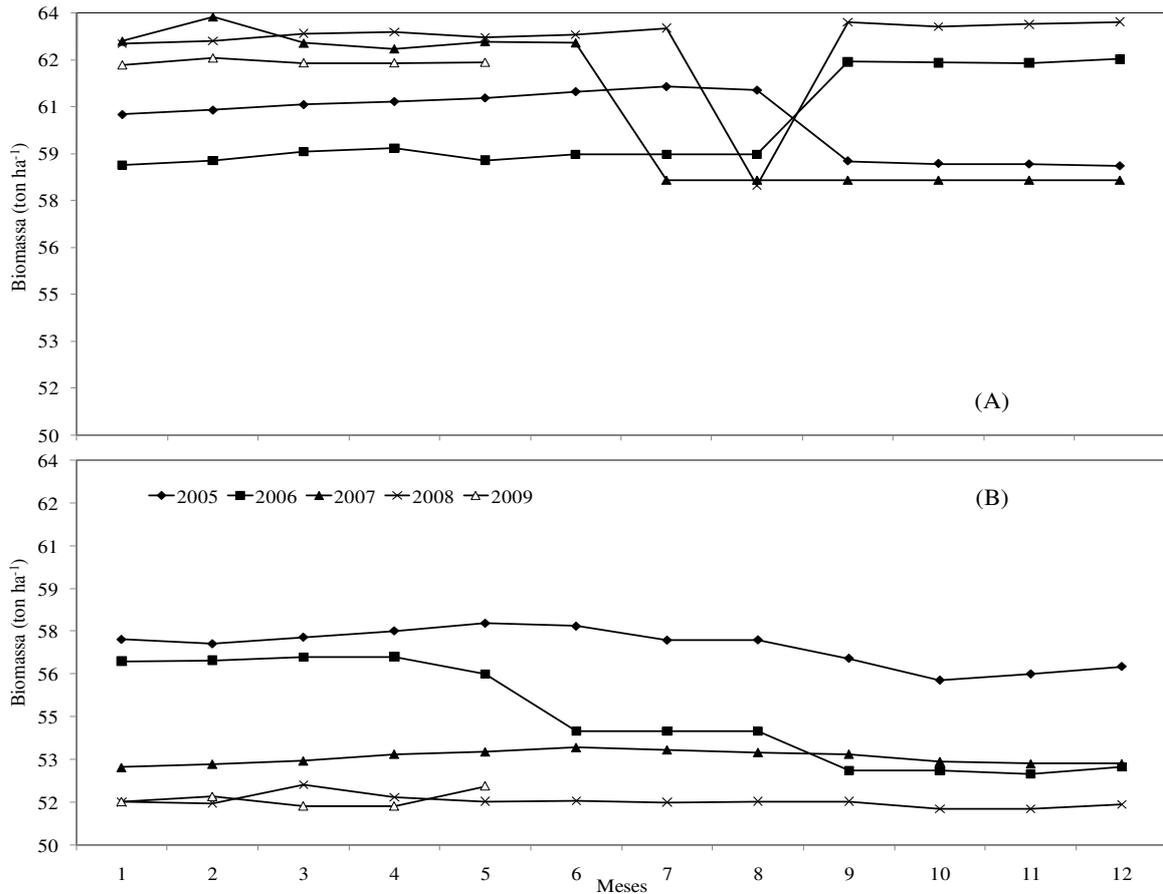


Figura 11. Dinâmica mensal de biomassa para árvores com DAP entre 5 e 20 cm na parcela A (A) e na parcela B (B)

Nesse período, a média da biomassa das árvores da parcela B foi 54 ton ha^{-1} e o desvio padrão foi de $\pm 2,23 \text{ ton ha}^{-1}$. Observa-se, ainda, que a parcela B produziu uma quantidade de biomassa bem menor do que a parcela A em todos os anos. A parcela B apresentou acentuada tendência decrescente para as árvores com DAP entre 5 e 20 cm

(Figura 11), enquanto que para a parcela A essa tendência foi levemente crescente, com pequenas variações intra anuais. Entre janeiro de 2005 e abril de 2006, as parcelas apresentaram comportamentos semelhantes, com leves variações positivas e negativas. A partir de maio de 2006, as parcelas A e B começaram a apresentar tendências opostas. A parcela A passou a ter contribuições positivas de até 10 ton ha^{-1} , representando 16% a mais do que a parcela B. Isso ocorreu em face do comportamento sempre decrescente da parcela B. A diferença de biomassa nessa classe de DAP entre as duas parcelas foi de 10 ton ha^{-1} . No primeiro semestre de cada ano, os valores de biomassa nessa classe de DAP apresentam um acréscimo acentuado, tanto na parcela A quanto no B, em face da alta disponibilidade de vapor de água nessa época do ano na floresta.

A Figura 12 exhibe a evolução mensal das árvores com DAP maior ou igual a 5 cm e maior ou igual 20 cm nas parcelas A e B. Observa-se uma similaridade entre os valores dos DAP's, sob as duas condições climáticas, nas duas parcelas experimentais durante o período experimental. Portanto, as árvores de grande porte são responsáveis pela maior parte da quantidade de biomassa entre as parcelas A (média de 720 ton ha^{-1} com um desvio padrão de $\pm 9,58 \text{ ton ha}^{-1}$) e B (média de 757 ton ha^{-1} e desvio de $10,73 \text{ ton ha}^{-1}$). A análise das duas classes de DAP da parcela A indica que somente 38 ton ha^{-1} de biomassa são das árvores acima de 5 cm, que corresponde a uma diferença de 5% entre as classes para o mês de janeiro de 2005 (Figura 12A). Por outro lado, em janeiro de 2006, as árvores de grande porte produziram 709 ton ha^{-1} ; enquanto que todas as árvores selecionadas apresentaram uma produção de 745 ton ha^{-1} . Essa diferença corresponde a 36 ton ha^{-1} (aproximadamente 5%) e se manteve durante todo o período estudado na parcela A. No ano de 2007, as árvores com DAP maior ou igual a 5 cm apresentaram uma biomassa de 757 ton ha^{-1} ; enquanto que as árvores com DAP maior ou igual a 20 cm apresentaram uma biomassa de

718 ton ha⁻¹. Essa é a maior diferença (39 ton ha⁻¹) de biomassa entre as árvores de grande porte e com DAP maior do que 5 cm dentre os anos analisados. Por outro lado, a biomassa total de todas as árvores em 2008 foi de 762 ton ha⁻¹ e as de grande porte foi de 724 ton ha⁻¹, com diferença de 38 ton ha⁻¹.

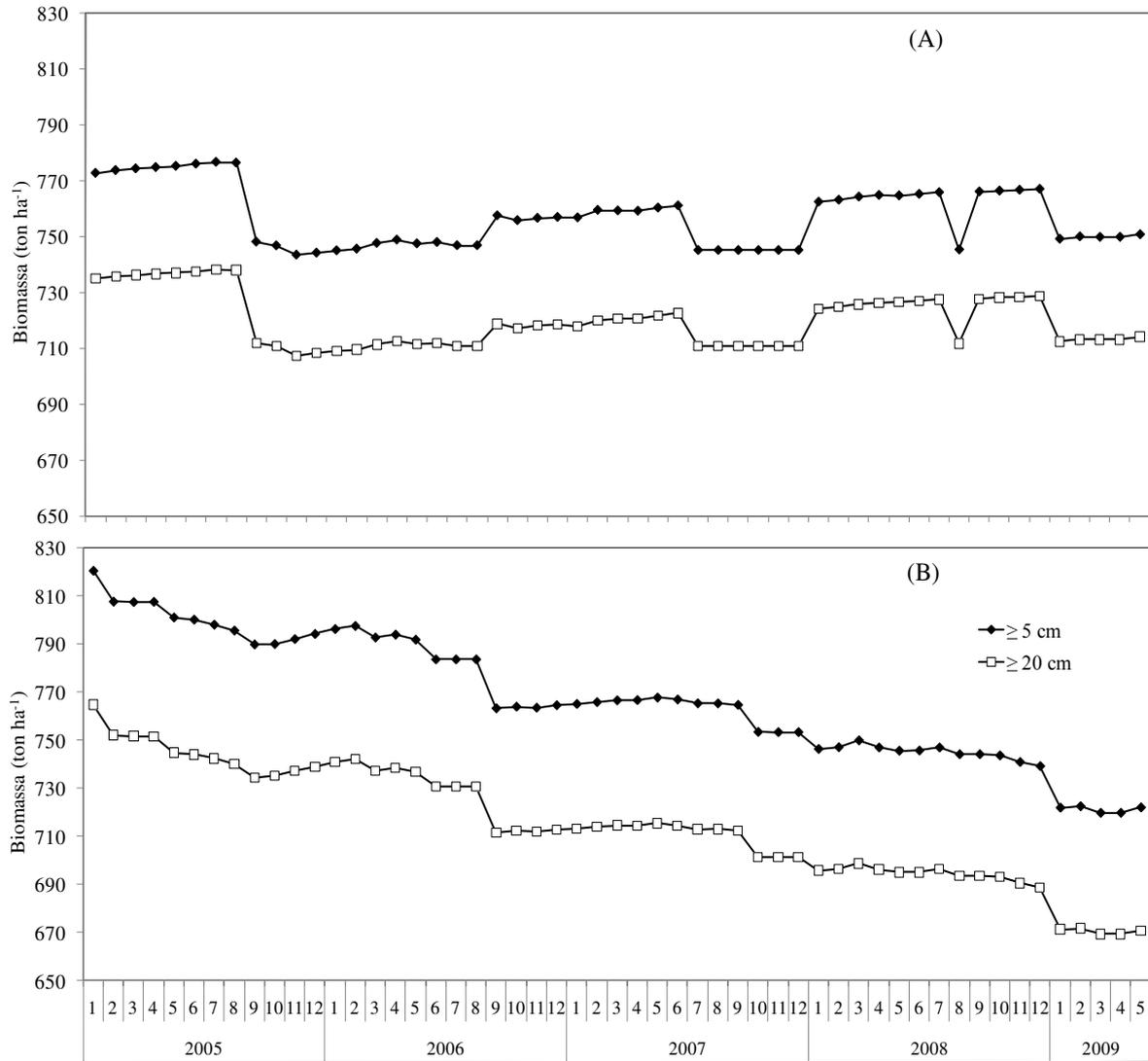


Figura 12. Dinâmica mensal de árvores com DAP maior ou igual a 5 cm e maior ou igual a 20 cm na parcela A (A) e na parcela B (B)

No último mês do período de estudo (maio de 2009) ocorreu um leve decréscimo da biomassa em ambas as classes, ou seja, as árvores com DAP maior ou igual a 20 cm apresentaram biomassa de 751 ton ha⁻¹ e as árvores maior ou igual a 5 cm apresentaram biomassa de 714 ton ha⁻¹; logo um decréscimo de 23 ton ha⁻¹ nesse curto período do ano. Por outro lado, a parcela B apresentou um decréscimo de aproximadamente 13% de árvores com DAP maior ou igual a 20 cm (94 ton ha⁻¹) e 12 % com DAP maior ou igual a 5 cm (98 ton ha⁻¹) (Figura 12B). Essa parcela experimental apresentou comportamentos decrescentes semelhantes para as classes de DAP > 5 cm e DAP > 20 cm durante o período experimental.

As árvores com DAP maior do que 20 cm apresentaram média de 715 ton ha⁻¹ e desvio padrão de $\pm 24,34$ ton ha⁻¹; enquanto as árvores com DAP maior do que 5 cm apresentaram 768 ton ha⁻¹ e desvio padrão de $\pm 26,29$ ton ha⁻¹. Em janeiro de 2005, as árvores com DAP maior ou igual a 20 cm totalizavam 765 ton ha⁻¹ (com média de 745 ton ha⁻¹) e as árvores com DAP maior ou igual a 5 cm 820 ton ha⁻¹ (com média de 800 ton ha⁻¹). Já em janeiro de 2006, as árvores de maior porte totalizavam 741 ton ha⁻¹ (com média de 728 ton ha⁻¹) e todas as árvores juntas tinham 796 ton ha⁻¹ (com média de 782 ton ha⁻¹) de biomassa. Pode-se, ainda, ressaltar que a menor diferença entre as duas classes foi em maio de 2009, com 722 ton ha⁻¹ para as árvores com DAP maior ou igual a 5 cm e de 671 ton ha⁻¹ para as árvores de grande porte (DAP maior ou igual a 20 cm). Essa diferença foi de 51 ton ha⁻¹ entre as classes, que representa uma redução de aproximadamente 7% entre as biomassas das parcelas B e A. Nesse mesmo ano, a diferença de biomassa entre as parcelas diminuiu para 51 ton ha⁻¹ (7%), com 796 ton ha⁻¹ na parcela B e 745 ton ha⁻¹ na parcela A. Por outro lado, em janeiro de 2007, observa-se que a parcela B produziu 8 ton ha⁻¹, a mais do que a parcela A, que representa apenas 1%. Mesmo com a continuação do

decréscimo, em janeiro de 2008, a parcela A produziu mais do que a parcela B 16 ton ha⁻¹ de biomassa com relação a dezembro de 2007. No ano de 2008, a parcela A produziu 762 ton ha⁻¹ e a parcela B 746 ton ha⁻¹ de biomassa. Essa mesma tendência se observa em janeiro de 2009, cuja diferença de biomassa entre as parcelas foi de 29 ton ha⁻¹ (4%). Assim, constata-se que a redução de chuva provoca uma menor quantidade de biomassa em face do estresse hídrico imposto à floresta.

Em todo o período estudado, a parcela A apresentou uma grande variabilidade de sua biomassa total (árvores com DAP maior ou igual a 5 cm), com média de 757 ton ha⁻¹ e desvio padrão de $\pm 10,73$ ton ha⁻¹. Por outro lado, a biomassa na parcela B decresceu de forma mais acentuada (média de 768 ton ha⁻¹ e desvio padrão de $\pm 26,29$ ton ha⁻¹). As médias anuais da biomassa para a parcela B (Figura 12B), durante o período experimental foram decrescentes, como seguem: 800 ton ha⁻¹ (2005); 782 ton ha⁻¹ (2006); 763 ton ha⁻¹ (2007); 745 ton ha⁻¹ (2008). Em 2005, a biomassa da parcela B foi de 820 ton ha⁻¹ e na parcela A foi de 773 ton ha⁻¹, com diferença de aproximadamente 6% (47 ton ha⁻¹). Entretanto, no primeiro semestre de 2006, a parcela B produziu mais biomassa do que a parcela A, com diferença de 24 ton ha⁻¹ (3%). Em janeiro de 2006, o total de biomassa na parcela A foi de 745 ton ha⁻¹ e na parcela B de 796 ton ha⁻¹. A partir de agosto de 2006, a biomassa da parcela B decresceu em torno de 19 ton ha⁻¹ e a parcela A apresentou um incremento de 10 ton ha⁻¹ quando comparado com os valores de janeiro de 2007. Em janeiro de 2008, a diferença de biomassa entre as parcelas foi de 16 ton ha⁻¹ (2%) e aumentou até maio de 2009, chegando ao valor de 29 ton ha⁻¹, com 751 ton ha⁻¹ na parcela A e 772 ton ha⁻¹ na parcela B, ou seja, no final do período analisado a parcela A produziu 4% de biomassa a mais do que na parcela B.

A Figura 13 oferece uma melhor compreensão da dinâmica anual de biomassa das parcelas analisados. Essa figura expressa a diferença de biomassa entre os anos. A diferença de biomassa na parcela B foi decrescente ao longo do período estudado, exceto para o ano de 2008. No ano de 2005, ocorreu uma redução de biomassa de 26 ton ha⁻¹ (3%) na parcela B e de 29 ton ha⁻¹ (4%) na parcela A. Em 2006, a dinâmica da biomassa da floresta foi diferente, já que houve um incremento de 12 ton ha⁻¹ (2%) na parcela A e uma redução 32 ton ha⁻¹ (4%) na parcela B. Portanto, as duas parcelas apresentaram uma diferença de 44 ton ha⁻¹ de biomassa nesse ano. Por outro lado, no ano de 2007 o decréscimo de biomassa foi aproximadamente 12 ton ha⁻¹ (2%). Já no ano de 2008, a parcela A voltou a apresentar um incremento na biomassa de 5 ton ha⁻¹ (1%) e a parcela B apresentou um decréscimo de 7 ton ha⁻¹ (1%).

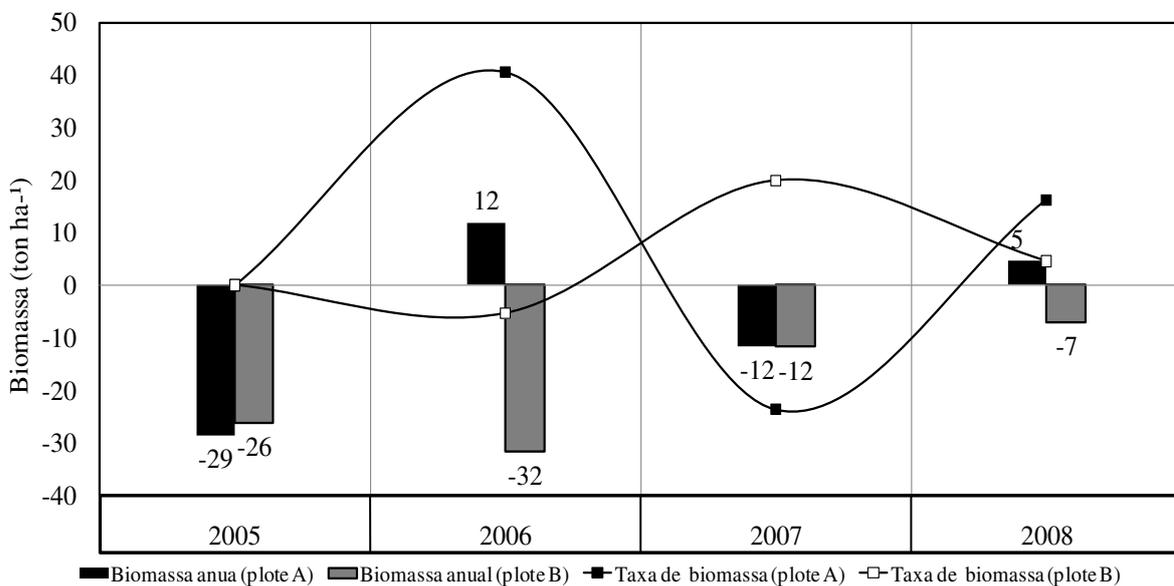


Figura 13. Dinâmica anual de biomassa nas parcelas A e B

Na Figura 14 é apresentado o curso intra-anual da biomassa bruta nas duas parcelas analisados. As duas parcelas apresentaram tendências crescentes semelhantes ao longo do

período analisado. Apesar de algumas falhas nas séries temporais de biomassa bruta, essa tendência crescente é evidente. Como esperado, os valores de biomassa na parcela A foram maiores do que aqueles da parcela B. Entretanto, no período de outubro de 2005 a abril de 2006 esse comportamento é inverso, ou seja, a biomassa na parcela com exclusão de parte da chuva é maior do que na área de floresta natural. Isso pode ser explicado pela existência de um possível escoamento pelo caule (stemflow) mais elevado com relação aos outros anos. Na parcela A ocorreu um incremento de 40 ton ha^{-1} , cerca de 6%, enquanto que a parcela B apresentou uma leve tendência de decréscimo de biomassa, para todo o período experimental, apesar da variabilidade anual ter apresentado 7 ton ha^{-1} , cerca de 1% do total.

Em dezembro de 2006 a parcela B produziu 3% (712 ton ha^{-1}) menos biomassa do que na parcela A (734 ton ha^{-1}); esse comportamento se repete nos três anos seguintes. Em dezembro de 2007, a parcela A apresentou 726 ton ha^{-1} ; enquanto que a parcela B apresentou 715 ton ha^{-1} . Já no ano de 2008, a parcela B produziu 32 ton ha^{-1} ; portanto, menos do que na parcela A. A diferença de biomassa entre as parcelas em 2009 foi de 4%, sendo também a tal produção de biomassa menor na parcela B. Os valores encontrados para biomassa variaram entre 774 a 751 ton ha^{-1} (parcela A); enquanto que a parcela B ela variou de 820 a 722 ton ha^{-1} , para áreas basais entre $32,9944$ e $31,9223 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, na parcela A, e entre $32,8338$ e $28,6920 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, na parcela B. Os valores de biomassa e de área basal encontrados na presente pesquisa são compatíveis com aqueles encontrados na literatura da floresta amazônica em outros estudos (Brown *et al.*, 1989; Araújo *et al.*, 1999). Esses autores encontraram valores de biomassa (peso fresco) de 846 ton ha^{-1} , para uma área basal de $38,9966 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$.

A comparação da taxa de mortalidade anual nas parcelas A e B é apresentada na Figura 15. A taxa de mortalidade é maior na parcela com exclusão de parte das chuvas do que na floresta natural, exceto no ano de 2009. No ano de 2007, a taxa de mortalidade foi praticamente igual em ambas as parcelas; porém, a maior diferença na taxa de mortalidade foi no ano de 2005, possivelmente em função da baixa pluviometria (2062,4 mm com média de 171,9 mm) na região de estudo durante esse período. Efetivamente, a parcela A teve 31 árvores mortas em 2005 e 5 em 2006, sendo que na parcela B a mortalidade das árvores foi maior tanto em 2005 (39 árvores) como em 2006 (8 árvores).

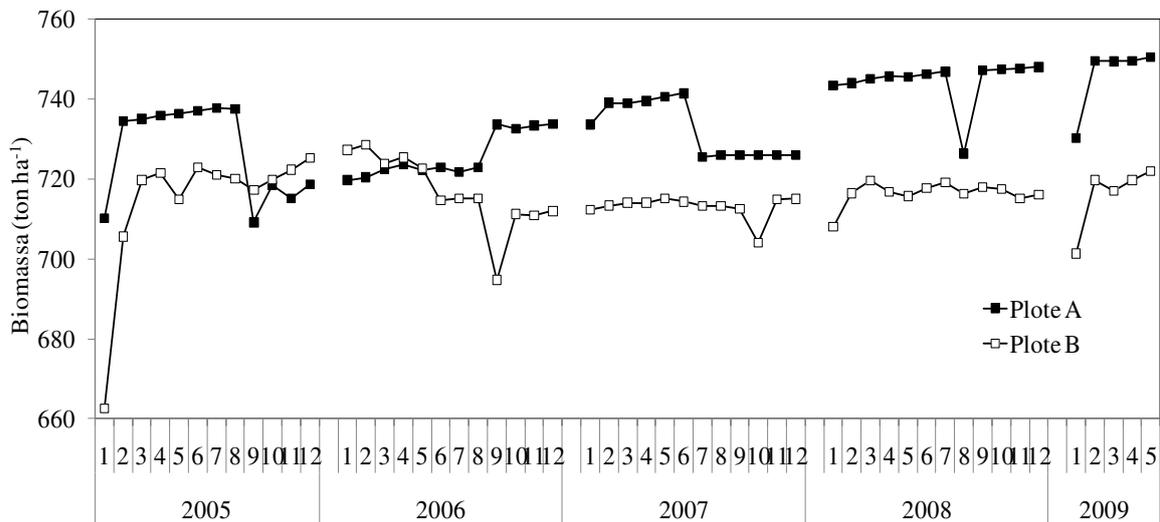


Figura 14. Composição da dinâmica anual de biomassa para as parcelas A e B (2005 a 2009)

No ano de 2007 ocorreu a mortalidade de nove árvores em cada parcela analisada. Já no ano de 2008, novamente a taxa de mortalidade foi maior na parcela B, com 17 árvores, do que na parcela A, que teve somente uma árvore morta. Por outro lado, nos primeiros cinco meses do ano de 2009 ocorreu uma inversão nesse comportamento de mortalidade de árvores, não sendo representativo para avaliação nesse estudo, haja vista, que não está

completo, dessa forma na parcela A ocorreram 16 mortalidades e na parcela B apenas 10 árvores morreram. De forma geral, do total de 532 árvores existentes inicialmente na parcela A, em 2005, 12% (62 árvores) morreram até o final do período experimental em maio de 2009; enquanto que no mesmo período ocorreram 17% de mortalidade do total de 502 árvores na parcela B. Outro aspecto importante dessa análise é que a maior taxa de mortalidade ocorreu para árvores com DAP maior que 10 cm. Pesquisas anteriores para florestas tropicais mostram que as taxas de mortalidade são constantes para essa classe de DAP (Lieberman & Lieberman, 1987; Lieberman & Marengo, 2001 e Putz & Milton, 1982). No entanto, essas taxas podem sofrer alterações em resposta aos eventos de estresse, que ocorrem em anos mais secos (Condit *et al.*, 1995).

A taxa média de mortalidade anual durante o período estudado foi de 2,6% na parcela A e de 3,7% na parcela B. Essas taxas de mortalidade são similares àquelas encontradas na literatura. Por exemplo, Higuchi *et al.* (1997) obtiveram taxas anuais de 1,03% com um desvio padrão de $\pm 0,38\%$ em florestas tropicais úmidas de terra firme na Amazônia. Por outro lado, Carey *et al.* (1994) encontraram taxas anuais de mortalidade de árvores variando entre 0,5 e 3,3% em florestas tropicais da Venezuela. Já Manokaran & Kochummen (1987), estudando a biomassa em florestas da Malásia, observaram uma taxa de mortalidade anual de 2,0%.

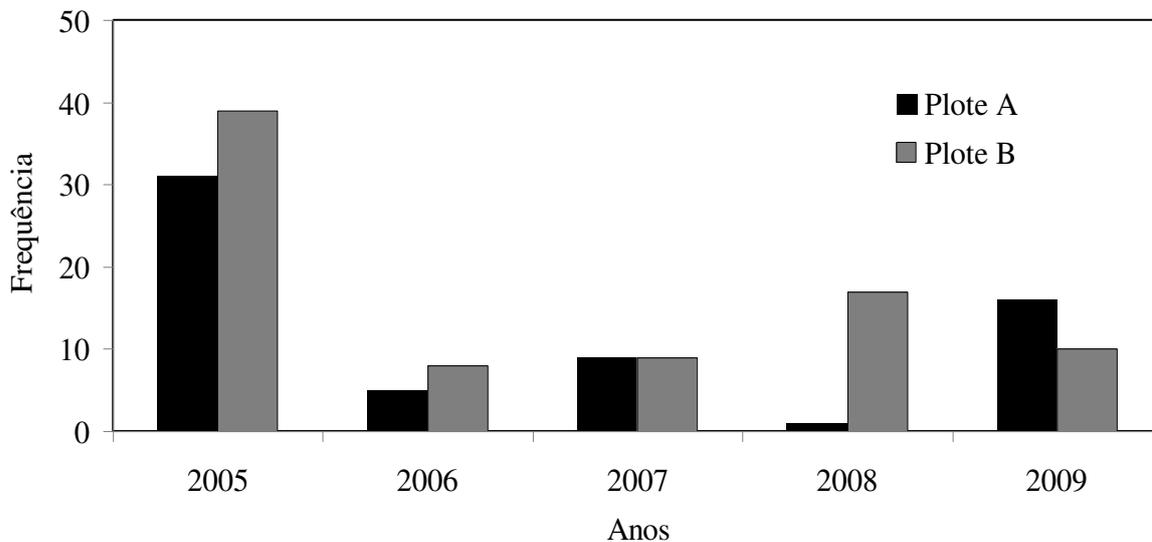


Figura 15. Comparação da taxa de mortalidade anual das árvores das parcelas A e B

A Figura 16 exibe a variação temporal da perda de biomassa das árvores nas parcelas A e B no período de 2005 a 2009. Verifica-se que a taxa de mortalidade das árvores em ambas as parcelas decrescem exponencialmente durante o período experimental. Entretanto, também como evidenciado na figura anterior, a taxa de mortalidade foi sempre maior na parcela B do que na parcela A, exceto no final do período experimental.

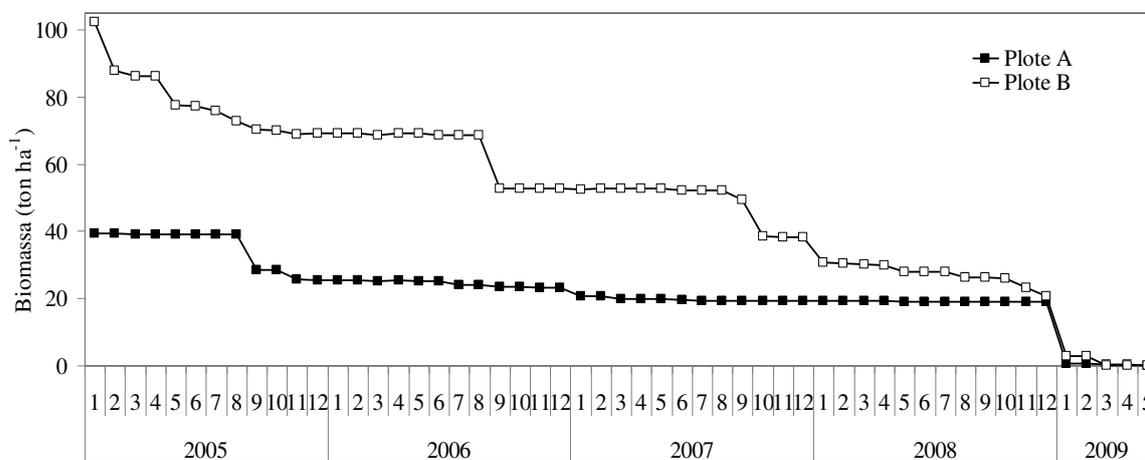


Figura 16. Dinâmica da perda de biomassa nas parcelas A e B durante o período experimental

No início de 2005, as árvores da parcela A, que chegaram no final do experimento mortas, somavam 39 ton ha⁻¹ e, no período de um ano, ocorreu um decréscimo de 14 ton ha⁻¹ (35%). E, até janeiro de 2007, ocorreu uma perda de 4 ton ha⁻¹ (16%); enquanto que até janeiro de 2008 o decréscimo foi de 2 ton ha⁻¹ (9%). Da mesma forma, em 2009 ocorre uma diminuição acentuada da biomassa em torno de 19 ton ha⁻¹. Portanto, o decréscimo mais acentuado ocorreu entre os anos de 2005 e 2006. Evidentemente, essa perda de biomassa na floresta é diretamente relacionada com a mortalidade das árvores.

Na parcela B durante todo o período experimental morreram 83 árvores que totalizavam 102 ton ha⁻¹. Especificamente, entre os anos de 2005 e 2006 ocorreu uma perda de biomassa de em torno de 32% (33 ton ha⁻¹). Já em 2007, a perda foi de 17 ton ha⁻¹ (25%) na parcela B, sendo, portanto, esse decréscimo quatro vezes maior do que a perda registrada na parcela A no mesmo período. Em 2008, ocorreu uma perda de biomassa de 21 ton ha⁻¹ (40%) na parcela B, que corresponde um decréscimo dez vezes maior do que o que se verificou na parcela A. As árvores que morreram no mês de janeiro de 2009 representaram 28 ton ha⁻¹ (90%) de biomassa aérea.

A Figura 17 exibe a correlação entre a biomassa e a mortalidade das parcelas A e B. Na parcela A (Figura 17A) se obteve uma correlação de aproximadamente 25%; dessa forma, a mortalidade que ocorreu nessa parcela não foi totalmente influenciada pela diminuição de biomassa. Portanto, outros fatores devem ter contribuído para tal mortalidade, que devem ser convenientemente investigados. Já para a parcela B (Figura

17B), 97% do decréscimo de biomassa é explicado pela mortalidade que ocorreu na área de exclusão de parte das chuvas.

Na Figura 18 é apresentado comportamento temporal da precipitação durante o período experimental. Nessa figura nota-se que os maiores totais de chuvas foram registrados nos meses de dezembro e mínimos no período de julho a novembro. Esse comportamento da precipitação está de acordo com a climatologia da região. Portanto, durante o período experimental não ocorreu nenhuma variação do regime de chuvas que justifique qualquer alteração dos parâmetros analisados. Essa constatação também é comprovada com os dados de precipitação anual registrados durante o período do experimento exibidos na Tabela 1. Os totais anuais de precipitação pluvial e seus respectivos desvios padrão de cada ano são os seguintes: $2.062,4 \pm 137,7$ (2005); $2.143,0 \pm 123,7$ (2006); $2.079,8 \pm 122,7$ (2007) e $2.130,2 \pm 168,5$ (2008).

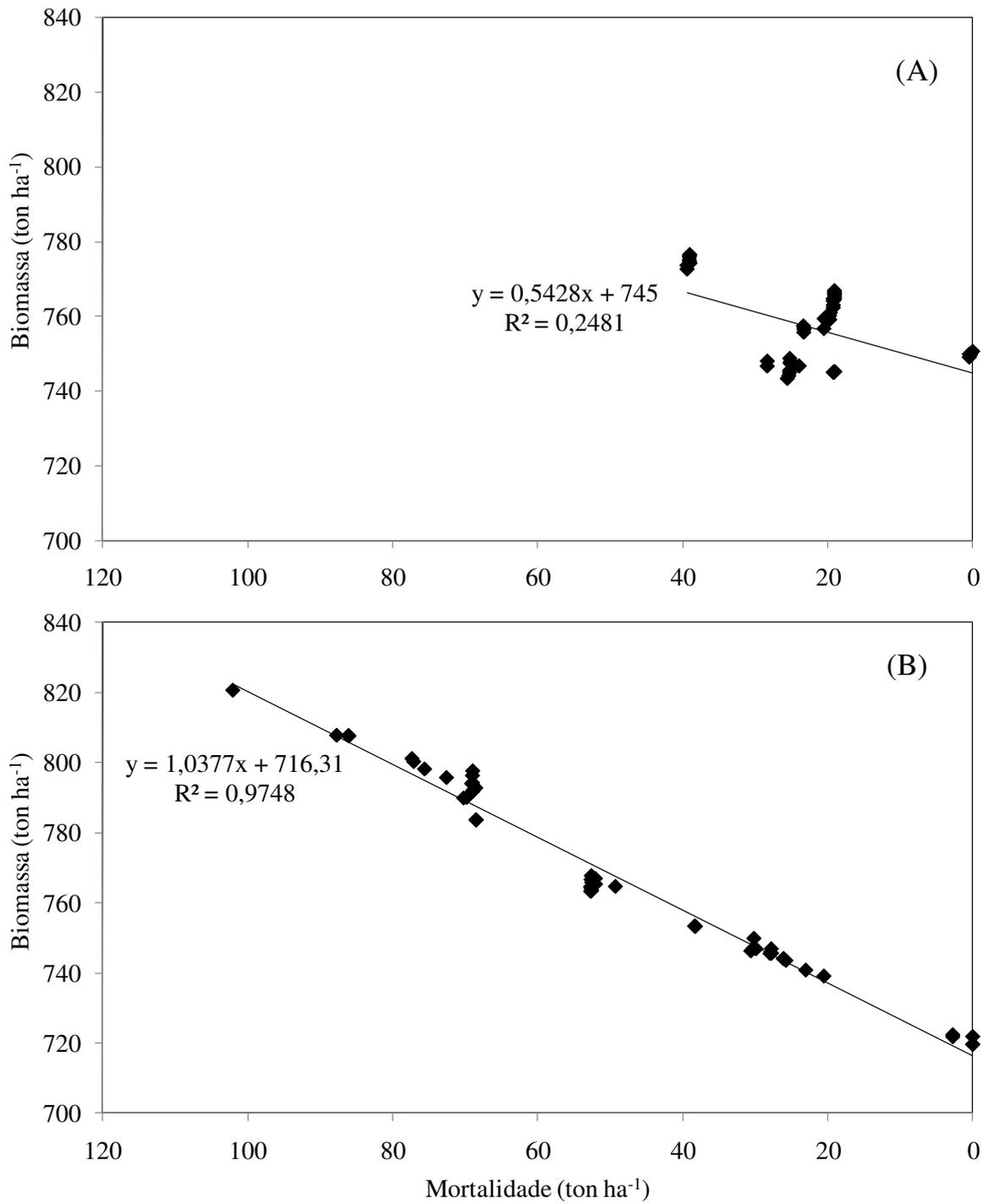


Figura 17. Relacionamento entre a mortalidade e a biomassa das árvores na parcela A (A) e parcela B (B)

Portanto, os totais anuais de chuva foram muito próximos da média do período do experimento que foi de 2.103,9 mm e desvio padrão de $\pm 38,8$ mm. A Tabela 1 também exhibe os valores médios e desvios padrão da biomassa das parcelas A e B de cada ano do período experimental e proporciona uma análise mais detalhada da influência da precipitação sobre a biomassa da floresta.

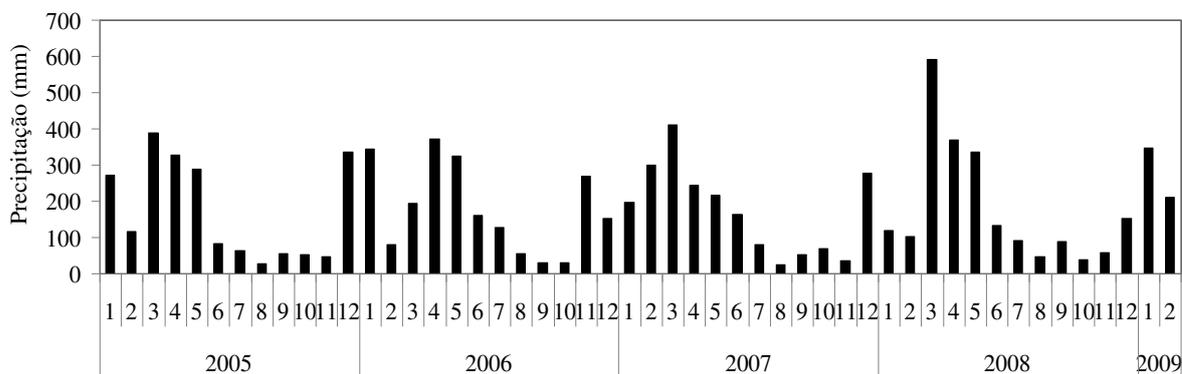


Figura 18. Comportamento temporal da precipitação pluvial durante o período de 2005 a 2009 no site experimental em Caxiuanã, PA

Tabela 1. Valores médios e desvios padrão de biomassa das parcelas A e B e os totais anuais de precipitação pluvial de cada ano do período experimental (2005-2009)

	Biomassa (ton ha ⁻¹)				
	2005	2006	2007	2008	2009
Parcela A					
Média	765	750	763	745	721
Desvio padrão	14,6	4,9	7,5	5,9	0,6
Parcela B					
Média	800	782	763	745	721
Desvio padrão	9,1	13,9	5,8	2,9	1,3
Precipitação pluvial (mm)					
Total anual	2.062,4	2.143,0	2.079,8	2.130,2	*
Desvio padrão	137,7	123,7	122,7	168,5	*

* Os dados de precipitação do ano de 2009 não são representativos por que o período experimental foi encerrado em março desse ano

As médias anuais e os desvios padrão dos valores da biomassa da parcela A foram os seguintes: 765 \pm 14,6 (2005); 750 \pm 4,9 (2006); 763 \pm 7,5 (2007); 745 \pm 5,9 (2008) e 721 \pm 0,6 (2009). Por outro lado, as médias anuais e os desvios padrão da biomassa da parcela B foram: 800 \pm 9,1 (2005); 782 \pm 13,9 (2006); 763 \pm 5,8 (2007); 745 \pm 2,9 (2008) e 721 \pm 1,3 (2009). Os baixos valores dos desvios padrão da biomassa registrados no ano de 2009 nas parcelas A e B estão associados ao fato que o final do período experimental foi em maio de 2009. Apesar dos valores médios da biomassa das parcelas A e B serem rigorosamente iguais nos anos de 2007, 2008 e 2009, os seus desvios padrão são diferentes. Assim, os valores da biomassa da parcela A e da precipitação pluvial praticamente não variaram ao longo do período de estudo. Entretanto, a biomassa das árvores da parcela B decresceu significativamente no mesmo período. Esse resultado confirma a hipótese original deste trabalho que a exclusão parcial de chuvas reduz significativamente a biomassa da floresta.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos com a simulação de seca na floresta amazônica permitem concluir o seguinte:

1. A redução da biomassa e da área basal das árvores da floresta amazônica está diretamente relacionada com o déficit hídrico no solo, provocado pela redução da precipitação pluvial;
2. O aumento na taxa de mortalidade das árvores, e a conseqüente perda de biomassa vegetal, foi maior na área com exclusão de parte da chuva do que na floresta submetidas às condições naturais do clima;
3. A redução de biomassa na floresta submetida às condições normais do clima não pode ser associada à redução da pluviometria. E, ainda, que tal redução é explicada pelo decréscimo da mortalidade em apenas 25% dos casos;
4. O efeito da exclusão parcial da chuva provoca redução da área basal florestal, principalmente daquelas árvores com DAP maior do que 10 cm.

6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- Abdala, G. C.; Caldas, L. S.; Haridasan, M.; Eiten, G. Above and belowground organic matter and root: shoot ratio in a cerrado in Central Brazil. *Brazilian Journal of Ecology*, v.1, n.1, p.11-13, 1998.
- Alves, A. R.; Souto, J. S.; Souto, P. C.; Hollanda, A. C. Aporte e decomposição de serrapilheira em área de caatinga, na Paraíba. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v.6, n.2, 2006.
- Andrae, F. H. Zweitinventur eines Eucalyptus saligna Bestandes in Suedbrasilien. *Centralblatt fuer das Gesamte Forstwesen*, v.99, n.4, p.193-217, 1982.
- Andrae, F.; Krapfenbauer, A. Inventário de um reflorestamento de araucária de 17 anos em Passo Fundo, Rio Grande do Sul. Parte II: inventário de nutrientes In: *Pesquisa austro-brasileiras 1973-1982 sobre Araucaria angustifolia, Podocarpus lambertii e Eucalyptus saligna*. Santa Maria: UFSM, p.30-55, 1983.
- Araújo, T. M.; Higuchi, N.; Carvalho Jr, J. A. de. Comparison of formulae for biomass content determination in a tropical rain forest site in the state of Pará, Brazil. *Forest Ecology and Management*, v.117, n.1/3, p.43-52, 1999.
- Atkin, O. K.; Edwards, E. J. & Loveys, B. R. Response of root respiration to changes in temperature and its relevance to global warming. *New Phytologist*, v.147, p.141-154, 2000.

- Baker, T. R.; Phillips, O. L.; Malhi, Y.; Almeida, S.; Arroyo, L.; Di Fiore, A.; Erwin, T.; Higuchi, N.; Killeen, T. J.; Laurance, S. G.; Laurance, W. F.; Lewis, S. L.; Monteagudo, A.; Neill, D. A.; Vargas, P. N.; Pitman, N. C. A.; Silva, J. N. M. & Vasquez Martinez, R. Increasing biomass in Amazonian forest plots. *Philosophical Transactions of the Royal Society*. v.359, n.1443, p.353-365, 2004b.
- Barros, N. F.; Comerford, N. B. Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região tropical. In: ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V. & COSTA, L. M. eds. *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Folha de Viçosa, v.2. p.487-592, 2002.
- Betts, R. A. Forcings and feedbacks by land ecosystem changes on climate change. *Journal de Physique IV*. v.139, n.1, p.119-142, 2006.
- Blake, T. J.; Tschaplinski, T. J. Water relations. In: MITCHELL, J. B.; ROBERTSON, F.; HINCKLEY, T.; FORSSE, L. S. (Ed.). *Ecophysiology of short rotation forest crops*. Elsevier Applied Science, p.66-94, 1992.
- Böhm, W. *Methods of Studying Root Systems*. Ecological Studies. Berlin, Germany: B V A Springer-Verlag, v.33, 1979.
- Bowden, R.D.; Nadelhoffer, K.J.; Boone, R.D.; Melillo, J.M. & J.B. Garrison, Contributions of above ground litter, belowground litter, and root respiration to total soil respiration in a temperate mixed hardwood forest. *Canadian Journal of Forest Research*. v.23, p.1402-1407, 1993.
- Brown, S.; Gillespie, A. J. R.; Lugo, A. E. Biomass estimation methods for tropical forest with applications to forest inventory data. *Forest Science*. v.35 n.4 p.881-902, 1989.
- Brown, S. *Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: a Primer* (FAO Forestry Paper-134), FAO, United Nations, Rome, p.55, 1997.
- Caldeira, M. V. W.; Schumaker, M. V.; Neto, R. M. R.; Watzlawick, L. F.; Santos, E. M. Quantificação da biomassa acima do solo de *Acácia mearnsii*, De Wild., procedência Batemans Bay-Austrália. *Ciência Florestal*, v.11, n.2, p.79-91, 2001.
- Caldwell, M. M. Root structure: the considerable cost of belowground functions. In: SOLBRIG, O. T; JAIN, S; JOHNSON, G. B; RAVEN, P. H. (Eds.). *Topics in Plant Population Biology*. U.S.A: B V A Columbia University Press, p.408-427, 1979.

- Campos, M. A. A. Balanço de biomassa e nutrientes em povoamentos de *Ilex paraguariensis*: avaliação na safra e na safrinha. 1991. 106p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Carey, E. V.; Brown, S.; Gillespie, A. J. R.; Lugo, A. E. Tree mortality in mature lowland tropical moist and tropical lower montane moist forests of Venezuela. *Biotropica*, Rio Piedras, v.26, n.3, p.255-264, 1994.
- Chave, J.; Andalo, C.; Brown, S.; Cairns, M.; Chambers, J. C.; Eamus, D.; Fölster, H.; Fromard, F.; Higuchi, N.; Kira, T.; Lescure, J.; Nelson, B. W.; Ogawa, H.; Puig, H.; Riéra, B.; Yamakura, T. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*. v.145, n.1, p.87-99, 2005.
- Costa, A. C. L. Relatório final do ESECAFLOR – CNPQ, 2008.
- Costa, A. C. L.; Braga, A. P.; Conçalves, P. H. L.; Costa, R. F.; Silva Júnior, J. A.; Malhi, Y. S.; Aragão, L. E. O. C.; Meir, P. Estudos hidrometeorológicos em uma Floresta Tropical chuvosa na Amazônia – Projeto ESECAFLOR. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.21, n.3b, p.283-290, 2006.
- Costa, J. P. R.; Moraes, J. C. Médias mensais de variáveis meteorológicas (1996-1999). In: LISBOA, P. L. B. (Org.). *Caxiuanã: populações tradicionais, meio físico e diversidade biológica*. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, p.227, 2003.
- Costa, M. H.; Foley, J. A. Combined effects of deforestation and doubled atmospheric CO₂ concentrations and the climate of Amazonia. *Journal of Climate*, v.13, n.1, p.18-34, 2000.
- Costa, R. F.; Costa, A. C. L.; Meir, P.; Malhi, Y.; Fisher, R.A. Projeto LBA/ESECAFLOR em Caxiuanã: características, atividades e resultados. Seminário de 10 anos de atividades da Estação Científica Ferreira Penna, Caxiuanã, Pará. Belém, Pará, Brasil. Museu Paraense Emílio Goeldi, CCTE_005, 2003a.
- Costa, R. F. Efeito da exclusão parcial da chuva na transpiração de espécies vegetais da flona de Caxiuanã (Projeto ESECAFLOR/LBA), Pará. Campina Grande-PB, UFCG/DCA, 2008. 96p. Tese de Doutorado.
- Cromer, R. N.; Raupach, M., Clarke; A. R. P.; Cameron, J. N. *Eucalyptus* plantations in Australia. The potential for intensive production. *Appita*, v.29, p.165-173, 1975.

- Condit, R.; Hubbell, S. P.; Foster, R. B. Mortality-rates of 205 neotropical tree and shrub species and the impact of a severe drought. *Ecological Monographs*, v.65, p.419-439, 1995.
- Delitti, W. B. C; Meguro, M.; Pausas, J. Biomass and mineralmass estimates in a cerrado ecosystem. *Revista Brasileira de Botânica* v.29, n.4, p.531-540, 2006.
- Eissenstat, D. M.; Van Rees, K. C. J. The growth and function of pine roots. In: GHOLZ, H. L.; LINDER, S; McMURTRIE, R. E. (Eds.). *Environmental Constraints on the Structure and Productivity of Pine Forest Ecosystems: A Comparative Analysis*. Copenhagen, Denmark: B V A Ecology Bull, v.43, p.76-91, 1997.
- Ewel, J. J. Litter fall and leaf decomposition in a tropical forest succession in eastern Guatemala. *Journal of Ecology*, v.64, n.1, p.293-308, 1976.
- Fabião, A. M. D. Contribuição para o estudo da dinâmica da biomassa e produtividade primária líquida em eucaliptais. Região Litoral do Centro de Portugal. - Instituto Superior de Agronomia, 1986. Tese de Doutorado
- Feeley, K. J.; Wright, S. J.; Supardi, M. N.; Kassim, A. R. & Davies, S. J. Decelerating growth in tropical forest trees. *Ecology Letters*. v.10, n.6, p.461-469. 2007.
- Fisch, G.; Marengo, J. A.; Nobre, C. A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. *Acta Amazônica*, v.28, n.2, p.101-126, 1998.
- Fisher, R. A. ; Williams, M.; Costa, A. C. L.; Malhi, Y.; Costa, R. F.; Almeida, S. & Meir, P. The response of an Eastern Amazonian rain forest to drought stress: results and modelling analyses from a throughfall exclusion experiment. *Global Change Biology*, v.13, n.1, p.1-18, 2007.
- Golley, F. B.; McGinnis, J. T.; Clements, R. G.; Child, I. & Duever, J. Ciclagem de minerais em um ecossistema de floresta tropical úmida. São Paulo, EPU-EdUSP, p.256, 1978.
- Golley, F. B.; McGinnis, J. T.; Clements, R. D. La biomassa y la estructura mineral de alguns bisques de Darién, Panamá. *Turrialba*, v.21, n.2, p.189-196, 1971.
- Higuchi, N.; Santos, J. dos; Ribeiro, J. R.; Freitas, J. V.; Vieira, G.; Coic, A. Minette. Crescimento e incremento de uma floresta amazônica de terra-firme manejada experimentalmente. *BIONTE Relatório Final*. Manaus: INPA/DIFID, p.59-65. 1997.

- Higuchi, N.; Santos, J.; Ribeiro, R.J.; Minette, L.J.; Biot, Y. Biomassa da parte aérea da vegetação da Floresta Tropical Úmida de Terra-Firme da Amazônia Brasileira. *Acta Amazonica*, v.28, n.2, p.153-166, 1998.
- Hingston F. J.; Galbraith J. H. Application of the process-based model BIOMASS to *Eucalyptus globulus ssp. globulus* plantations on ex-farmland in southwestern Australia II. Stemwood production and seasonal growth. *Forest Ecology and Management*, n.106, p.157–168, 1998.
- Houghton, R. A.; Hackler, J. L. Emissions of carbon from land use change in sub-Saharan Africa. *Journal of Geophysical Research – Biogeosciences*. v.111, n.G2, Art. No. G02003. 2006.
- Horel, J. D.; Hahmann, A. N.; Geisler, J. E. An investigation of the annual cycle of convective activity over the tropical Americas. *Journal of climate*, v.2, n.11, p.1388-1403, 1989.
- Jackson, R. B.; Mooney H. A.; Schulze, E. D. A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents. *Ecology*, .v.94, p.7362–7366, 1997.
- Jarvis, P. G.; Leverenz, J. W. Productivity of temperate, deciduous and evergreen forests. *Encyclopedia of Plant Physiology (New Series)*, n.12D, p.233-280, 1983.
- Jordan, C. F.; Escalante, G. Root productivity in a Amazonian Rain forest. *Ecology*, v.61, n.1, p.14-18, 1980.
- Kern, D. C. Geoquímica e pedoquímica em sítios arqueológicos com terra preta na Floresta Nacional de Caxiuanã, Portel, PA. Belém: UFPA, p.119, 1996. Tese Doutorado
- King, D. A. Allometry and life history of tropical trees. *Journal of Tropical Ecology*, v.12, n.1, p.25-44, 1996.
- Kittredge, J. *Forests Influences*. McGraw-Hill, 394 pp. 1948.
- Lambers, H.; Atkin, O. K.; Scheuwater, I. Respiratory patterns in roots in relation to their functioning. In: WAISEL, Y.; ESHEL, A.; KAFTAKI, U. (Eds.). *Plant roots. The hidden half*. New York, U.S.A.: B V A: Marcel Dekker, p.323-362. 1996.
- Larcher, W. *Ökologie der Pflanzen*. Stuttgart. Eugen Ulme GmbH & Co. 320p. 1984.
- Lieberman, M.; Lieberman, D. Forest tree growth and dynamics at La Selva, Costa Rica. *Journal of Tropical Ecology*. v.3, p.347-359, 1987.
- Lieberman, B.; Marengo, J. A. Interannual variability of the rainy season and rainfall in the Brazilian Amazon Basin. *Journal of Climate*, v.14, p.4308-4318, 2001.

- Malhi, Y.; Roberts, J. T.; Betts, R. A.; Killeen, T. J.; Li, W.; Nobre, C. A. Climate Change, Deforestation, and the Fate of the Amazon. *SCIENCE*, v.319, p. 169-172, 2008.
- Manokaran, N.; Kochummen, K. M. Recruitment, growth and mortality of trees in a lowland dipterocarp forest in Peninsular Malaysia. *Journal of Tropical Ecology*, New York, v.3, n.4, p.315-330, Nov. 1987.
- Medeiros, R.; Almeida, S. S. Queda de liteira e a exclusão de água numa Floresta Densa de Terra Firme da Estação Científica Ferreira Penna - ECFPn, Caxiuanã, Município de Melgaço – PA. In: CBO_006 - ESTAÇÃO CIENTÍFICA FERREIRA PENNA - DEZ ANOS DE PESQUISA NA AMAZÔNIA. 2003.
- Murillo, M. A. Almacenamiento y fijación de Carbono em ecosistemas forestales. *Revista Florestal Centroamericana*, v.6, n.19, p.9-12, 1997.
- Neves, E. J.; Martins, E. G.; Reissman, C. B. Deposição de serrapilheira e de nutrientes de duas espécies da Amazônia. In: *Ciência Florestal*, v.12, n.2, p.9-16, Santa Maria, 2001.
- Nobre, C. A.; Sellers, P. J.; Shukla, J. Amazonian deforestation and regional climate change. *Journal of Climate*, v.4, p.957-988, 1991.
- Oliveira, L. C.; Valentim, N. W.; Figueiredo, E.; Franke, I. L. Impactos da exploração seletiva de madeira em áreas em processo de fragmentação na Amazônia Oriental. *Cerne*, v.9, n.2, p.213-220, 2003.
- Oosterrooht, Von M. Manejo de SAF's. *Agroecologia Hoje*, v.15, n.1, p.12-13, 2002.
- Otto, H. J. *Waldökologie*. Stuttgart: Ulmer. 391p, 1994.
- Pereira, H. C., *Land Use and water Resources*. Cambridge University Press. 246p. 1973.
- Phillips, O. L.; Malhi, Y.; Higuchi, N.; Laurance, W. F.; Nunez, P. V.; Vasquez, R. M.; Laurance, S. G.; Ferreira, L. V.; Stern, M.; Brown, S.; Grace, J. Changes in the carbon balance of tropical forests: Evidence from long-term plots. *Science*. v.282, n.5388, p.439-442, 1998.
- Phillips, O. L.; Martinez, R. V.; Arroyo, L.; Baker, T. R.; Killeen, T.; Lewis, S. L.; Malhi, Y.; Mendoza, A. M.; Neill, D.; Vargas, P. N.; Alexiades, M.; Ceron, C.; Di Fiore, A.; Erwin, T.; Jardim, A.; Palacios, W.; Saldias, M.; Vinceti, B. Increasing dominance of large lianas in Amazonian forests. *Nature*, v.418, n.6899, p.770-774, 2002.
- Pregitzer, K. S.; King, J. S.; Burton, A. J.; Brown, S. E. Responses of tree fine roots to temperature. *New Phytology*, v.147, p.105-115, 2000.

- Pregitzer, K. S. Woody plants, carbon allocation and fine roots. *New Phytologist*, v.158, p.421-424, 2003.
- Putz, F. E.; Milton, K. Tree mortality rates on Barro Colorado Island. In: Leigh, E. G.; Rand, A. S.; Windsor, S. M. *The ecology of a tropical forest: seasonal rhythms and long-term changes*. Smithsonian Institution Press, Washington, D. C., p. 95-100, 1982.
- Ramankutty, N.; Gibbs, H. K.; Achard, F.; Defriess, R.; Foley, J. A.; Houghton, R. A. Challenges to estimating carbon emissions from tropical deforestation. *Global Change Biology*, v.13, n.1, p.51-66, 2007.
- Reis, M. G. F.; Barros, N. F. Ciclagem de nutrientes em plantios de eucalipto. In: Barros, N. F.; Novais, R. F. *Relação solo-eucalipto*. Viçosa: Ed. Folha de Viçosa, p.265-301, 1990.
- Rice, A. H.; Pyle, E. H.; Saleska, S. R.; Hutyra, L.; Palace, M.; Keller, M.; De Camargo, P. B.; Portilho, K.; Marques, D. F.; Wofsy, S. C. Carbon balance and vegetation dynamics in an old-growth Amazonian forest. *Ecology Applied*, v.14, n.4, p.S55 - S71. 2004.
- Ruivo, M. L. P.; Cunha, E. S. Mineral and organic components in archaeological Black earth and yellow latossol in Caxiuanã, Amazon, Brazil, *Ecosystems and Sustainable Development IV*, (Eds.) E. Tiezzi C. A. Brebbia, and J. L. Usó, v.2, n.1, p.1113-1121, 2003.
- Ruivo, M. L. P.; Pereira, S. B.; Bussetti, E. P. C.; Costa, R. F.; Quanz, B.; Nagaishi, T. Y.; Oliveira, P. J.; Meir, P.; Malhi, Y.; Costa, A. C. L. Propriedades do solo e fluxos de CO₂ em Caxiuanã, Pará: Experimento LBA-ESECAFLOR. In: *Contribuições a geologia da Amazônia, (CGA-3)*, Sociedade Brasileira de Geologia, Belém, v.3, p.291-299, 2002.
- Salomão, R. P. Estimativas de biomassa e avaliação do estoque de carbono da vegetação de florestas primárias e secundárias de diversas idades (capoeiras) na Amazônia Oriental, município de Peixe-boi, Pará. UFPA/MPEG, Belém. 53pp. 1994. Dissertação de Mestrado
- Santana, R. C.; Barros, N. F.; Leite, H. G.; Comerford, N. B.; Novais, R. F. Estimativa de biomassa de plantios de eucalipto no Brasil. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.32, n.4, p.697-706, 2008.
- Santana, R. C.; Barros, N. F.; Neves, J. C. L. Eficiência nutricional e sustentabilidade da produção em procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em sítios

- florestais do estado de São Paulo. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.26, n.4, p. 447-457, 2002.
- Santilli, M.; Moutinho, P.; Schwartzman, S.; Nepstad, D.; Curran, L.; Nobre, C. Tropical deforestation and the Kyoto Protocol: An editorial essay. *Climatic Change*. v.71, n.3, p.267-276, 2005.
- Santos, S. R. M.; Miranda, I. S.; Tourinho, M. M. Estimativa de biomassa de sistemas agroflorestais das várzeas do rio Juba, Cametá, Pará. *ACTA AMAZÔNICA*, v.34, n.1, p.1-8, 2004.
- Serrão, E. A. Desenvolvimento agropecuário e florestal na Amazônia: proposta para o desenvolvimento científico e tecnológico. In: Costa, J.M.M. (org.). *Amazônia. Desenvolvimento econômico, desenvolvimento sustentável e sustentabilidade de recursos naturais - Pará*. NUMA/UFPA, Belém. p.57-104, 1995.
- Silva, A. S. L.; Almeida, S. S.; Rosário, C. S. Flórua fanerogâmica da Estação Científica Ferreira Penna (ECFPN): Caracterização dos ecossistemas e lista preliminar de espécies. In: *Seminário de 10 anos de atividades da Estação Científica Ferreira Penna, Caxiuanã, Pará*. Belém, 2003.
- Silva, M. M. & Costa, A. C. L. Estudo comparativo da evapotranspiração em área de floresta de manguezal na região Bragantina - PA. I: *XI Congresso Brasileiro de Meteorologia*, Rio de Janeiro, 2004.
- Silva Júnior, J. A. Efeitos da exclusão da chuva no fluxo de CO₂ do solo na Floresta Nacional de Caxiuanã, Pará. *Campina Grande-PB, UFCG/DCA*, 2008. Dissertação de Mestrado
- Soares, C. P. B.; Neto, F. P.; Souza, A. L. *Dendrometria e inventário florestal*, Viçosa: Ed. UFV, 276p. 2006.
- Stape, J. L.; Binkley, D.; Ryan, M. G. Eucalyptus production and the supply, use and efficiency of use of water, light and nitrogen across a geographic gradient in Brazil. *Forest Ecology and Management*, v.193, p.17-31, 2004.
- Taiz, L.; Zeiger, E. *Plant physiology*. Second edition. Massachusetts, Publishers Sunderland, Sinauer Associates, Inc.. p.792,1998.
- Ubarana, V. N. Experimentos observacionais e modelagem das perdas por interceptação da precipitação na Floresta Amazônica. MSc. Tese. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE 5583 TDI / 545. São José dos Campos, SP. Brasil, 1994.

- Van Noordwijk, M. Functional interpretation of root densities in the field for nutrient and water uptake. In: BÖHM, W.; KUTSCHERA, L.; LICHTENEGGER, E.(Eds.). *Wurzelökologie und Ihre Nutzenanwendung*. Irdning, Austria: BVA Gumpenstein, p.207–226, 1983.
- Viana, J. S.; Almeida, S. S.; Conceição, C.; Ferreira, E.; Alves, N. E.; Silva, R. Comparação estrutural e florística entre os ambientes de terra-firme e igapó do entorno da Estação Científica Ferreira Penna – ECFPn. In: *Seminário de 10 anos de atividades da Estação Científica Ferreira Penna, Caxiuanã, Pará*. Belém, 2003.
- Vianello, C. L. & Alves, A. R. *Meteorologia básica e suas aplicações*. Imprensa Universitária, Viçosa, MG, UFV, 1991.
- Vogt, K. A.; Vogt, D. A.; 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, n.1, p.71–89, 1998.
- 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. & H. Persson. Measuring growth and development of roots. p.447- 501. In J.P. Lassoie and T.M. Hinckley (ed.) *Techniques and approaches in forest tree ecophysiology*. CRC Press, Boca Raton, FL. 1991.
- Zon, R. *Forests and Water in the Light of Scientific Investigation*. USDA Forest Service. p.106, 1927.