

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA – INPA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DE FLORESTAS TROPICAIS

Produção de serapilheira e incremento diamétrico em
uma Floresta de Terra Firme na Amazônia Central

Lucas Kosvoski de Ourique

Manaus, Amazonas
Março, 2014

Lucas Kosvoski de Ourique

Produção de serapilheira e incremento diamétrico em uma
Floresta de Terra Firme na Amazônia Central

Orientador: Dr. Joaquim dos Santos

Co-orientador: Dr. Niro Higuchi

Fonte financiadora: CAPES, Projeto CADAF

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências de Florestas Tropicais, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em CIÊNCIAS DE FLORESTAS TROPICAIS, área de concentração Manejo Florestal.

Manaus, Amazonas
Março 2014

O93 Ourique, Lucas Kosvoski de

Produção de serapilheira e incremento diamétrico de árvores em uma floresta de terra firme na Amazônia central / Lucas Kosvoski de Ourique. --- Manaus : [s.n], 2014.

xi, 51 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado) --- INPA, Manaus, 2013.

Orientador : Joaquim dos Santos.

Área de concentração : Manejo Florestal.

1. Serapilheira. 2. Incremento. 3. Bandas dendrométricas. I. Título.

CDD 634.9

Sinopse: Estudou-se a produção de serapilheira e o incremento diamétrico de uma floresta madura na Amazônia central. Procurou-se verificar as correlações existentes entre essas variáveis devido a sua importância no sistema florestal.

Palavras chaves: Serapilheira fina, Incremento em diâmetro, Incremento individual.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, a Deus, ele me deu o dom da vida e a saúde para realizar esse trabalho.

A família que é à base de tudo, minha mãe Madalena e meu Pai Cilon que são o motivo de eu estar aqui, sempre me ensinando que não existe nada tão difícil que não possa ser feito, um passo de cada vez.

Mano veio, meu irmão Douglas também sempre presente por mais longe que estamos, sempre do meu lado.

Ao meu bem Priscilla Maia Baggio, que logo vai virar Ourique, colega de profissão, engenheira espetacular, muita paciência e muito conhecimento, sempre fazendo de tudo para me dar suporte a continuidade no mestrado.

Os agradecimento são ainda maiores aos meus orientadores Niro Higuchi e Joaquim dos Santos. Muitas lições e ensinamentos. Pela oportunidade, todo o suporte e amizade agradeço.

A minha equipe “fine roots” , Adélia, Rosiane e Noguchi san, obrigado por todas os dias de convívio, as lições ensinadas e o constante apoio, amizade e companheirismo em um trabalho sempre árduo e intenso.

A Roseana Silva (Rose), grande engenheira e amiga, “sim”, apoio incondicional no trabalho com as bandas, sempre pronta para ajudar e ensinar.

Aos colegas do Laboratório de Manejo, pois todos de forma geral contribuirão para o meu trabalho. Flávia, Giga, Caique, Adriano, Alberto, Felipe, Bruno, Ana Carla, Márcio, Tati, Regininha, Raquelzinha, Mabiane, Villany, Ane, Luiza (Lu), Leandro Tata e Leandro Fafa, Milton san, Coquito, Edilene, Tapioca e as minhas pibics prediletas, Sheyenne e Thayana. Todos, sem dúvidas, importantes para o trabalho, grande colegas e amigos.

A turma da ZF2, que faz a coisa realmente funcionar. O meu muito obrigado aos mestres da Selva, Chicó, Wandeco, Geraldinho, Dila, Matapi, Seu Armando, Caroçada, Que-qué, Sélio, Mondrongo.

Aos Amigos e colegas de mestrado, Danilo, Sabine, Tayane, Rafa e Gel. A todos o meu muito obrigado, um prazer conhece-los e conviver com vocês durante esses 2 anos. Sem dúvidas, grande amigos que levarei para sempre.

Frase

“Com as primeiras árvores derrubadas começou a civilização,
com as últimas árvores derrubadas a civilização terminará”

Der Baum

“A lição número um, eu aprendi com meu pai,
Quem não sabe pra onde vai, não vai a lugar nenhum”

Jayme Caetano Braun

Resumo

A produção da floresta acima do solo tem a serapilheira e o incremento das árvores como os componentes principais da produção primária líquida. O crescimento do tronco é a forma captar carbono da atmosfera e alocar em tecidos lenhosos. A serapilheira funciona como perda de carbono no sistema, porém é essencial para a reciclagem de nutrientes, o que mantém a floresta amazônica com alta biomassa em solos pobres. Os diferentes tipos de solos e a sazonalidade das chuvas da Amazônia central exigem diferenças adaptativas da vegetação, sendo nesse sentido, o crescimento e a produção das árvores variável em função da sua posição. Assim, este estudo teve como objetivo quantificar a produção de serapilheira e o incremento de árvores em duas classes topográficas (platô e baixo), com solos distintos e as suas relações com a precipitação e a umidade dos solos em uma floresta madura na Amazônia central. A área de estudo encontra-se na estação de silvicultura tropical do INPA no ramal ZF2, em duas transecções com (20x2500m). A coleta de serapilheira foi realizada com 120 coletores (60 platô, 60 baixo) com dimensões de 0,5 x 0,5 metros, com área de 0,25 m² que foram dispostos sistematicamente em 2 linhas equidistantes em 40 metros. O material foi coletado em período de 15 a 30 dias, foi secado 65°C até obter peso constante, sendo separado em folhas, galhos (diâmetro < 2cm) e miscelânea e pesado. A coleta de incremento diamétrico foi realizada em 250 árvores com bandas dendrométricas, sendo 125 em cada classe topográfica (platô e baixo), distribuídas aleatoriamente entre indivíduos arbóreos de diferentes diâmetros. Os dados de precipitação acumulada e potencial hídrico dos solos foram coletados com o auxílio de equipamentos automáticos instalados na área de estudo. A produção de serapilheira e o incremento em diâmetro foram analisados com uma análise de variância fatorial, com medidas repetidas. As correlações de Pearson com a probabilidade de Bonferroni foram feitas para verificar a relação entre as variáveis analisadas no estudo. As coletas foram realizadas entre o mês de setembro de 2012 a outubro de 2013. A produção de serapilheira no platô foi de $7,1 \pm 0,2 \text{ t.ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ (IC 95%) e foi significativamente maior do que no baixo $6,3 \pm 0,1 \text{ t.ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ (n=120 p = 0,008). A produção de serapilheira para o período foi variável durante o ano, tendo pico de produção no período mais seco (junho a outubro), com uma correlação com a precipitação (r=-0,77, p =0,0029). A produção de folhas com aproximadamente 70% do total da serapilheira foi a maior parte da produção. O incremento em diâmetro médio foi de $1,43 \pm 0,18 \text{ milímetros.ano}^{-1}$, que não diferiram entre as topografias. Porém, os incrementos foram levemente superiores no platô. As taxas de incremento seguiram as tendências das chuvas, onde o crescimento do diâmetro foi maior no período chuvoso do que no período mais seco (r=0,56, p=0,005). As árvores com diâmetro acima de 30 cm apresentaram maiores taxas de incrementos. O incremento e a produção de serapilheira não apresentaram correlações com o potencial hídrico dos solos. A correlação entre a produção de serapilheira e o incremento foi de (r=-0,60, p=0,06) sendo que os maiores valores de serapilheira se correlacionaram com os menores valores de incremento. Estes resultados sugerem que as árvores no local de estudo investem em crescimento em momentos propícios, principalmente com a presença de água abundante. Quando há menores quantidades de água disponível, a planta diminui a atividade cambial e destina investimento em manter ao mínimo a sua fisiologia, dispersando material senil e se preparando para renovar suas folhas e reproduzir.

Abstract

The above ground production in tropical forest has the litter and trunk increment of trees the main components of net primary production. The growth in the trunk is the way to capture carbon from the atmosphere and allocate in woody tissues. The litter fall is like as loss of carbon in the system, but is essential for the recycling of nutrients, which keeps the Amazon forest with high biomass in poor soils. The different types of soils and rainfall seasonality in central Amazon require adaptive differences of vegetation, and thus, the growth and yield of trees variable depending on their position. Therefore, the study objects to quantify litter fall production and the trunk increment of trees in two topographic classes (plateau and "baixio"), with different soils and their relations with precipitation and soil moisture in an old growth forest in central Amazon. This study was carried out in the ZF-2 Experimental Station of the National Institute for Research in the Amazon (INPA), some 90 km North of Manaus, Brazil. Litter production and diameter increment in two transects with (20x2500m) were monitored. The collection was performed with 120 litter traps (60 plateau, 60 "baixio") with dimensions of 0.5 x 0.5 meters, with an area of 0.25 m² were systematically arranged in two equidistant lines at 40 meters. The material was collected in the period 15-30 days, dried 65°C until constant weight, and separated into leaves, twigs (diameter < 2cm) and miscellaneous for weight. The collection of diametric increment was performed in 250 trees with "dendrometer" bands, with 125 in each topographic class (plateau and valley), randomly distributed among individual trees of different diameters. The data accumulated rainfall and soil water potential were collected with the aid of automatic equipment installed in the study area. Litter production and diameter increment were analyzed with a factorial analysis of variance with repeated measures. Pearson correlations with Bonferroni probability were performed to verify the tightness of the relationships analyzed in the study. Sampling was conducted between September 2012 and October 2013. Litter production on the plateau was $7.1 \pm 0.2 \text{ Mg. ha}^{-1}.\text{yr}^{-1}$ (CI=95%) and was significantly higher than in the valley $6.3 \pm 0.1 \text{ Mg. ha}^{-1}.\text{yr}^{-1}$ (n = 120 p = 0.008). Litter production for the period was variable during the year, with peak production in the dry season (June to October), with a correlation with rainfall (r = -0.77, p = 0.0029). Litter production had leaf production with approximately 70% of the total, with most of the production. The increase in mean diameter was 1.43 ± 0.18 millimeters.yr⁻¹ did not differ between the topographies. However, the increments were slightly higher on the plateau. Rates increase followed trends in rainfall, where diameter growth was higher in the rainy season than in the dry season (r=0.56, p = 0.005). Trees with a diameter greater than 30 cm showed higher increments. The increment and litter fall showed no correlation with soil water potential. The correlation between litter production and the increment was (r=-0.60, p=0.06) where as the highest values for litter fall with to the smallest increment values. These results suggest that trees in the study site invest in growth propitious moments, especially with the presence of abundant water. When there is less water available, the plant decreases the cambial activity and is intended to maintain the minimum investment in your physiology, senile dispersing equipment and preparing to new phenology event.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivos Específicos.....	3
3. REVISÃO LITERATURA	4
3.1 Produtividade da floresta amazônica	4
3.2 Produção de serapilheira em florestas tropicais.....	5
3.3 Crescimento e Incremento de Florestas Tropicais Úmidas.....	8
3.4 Crescimento individual de árvores em florestas tropicais.....	9
4. MATERIAL E MÉTODOS	11
4.1 Área de Estudo.....	11
4.2 Serapilheira	12
4.3 Incremento em diâmetro	15
4.4 Razão C:N.....	16
4.5 Variáveis climáticas.....	17
4.6 Tratamento dos dados	18
4.6.1 Correlação incremento, serapilheira, precipitação e potencial hídrico.....	18
4.6.2 Comparação da produção de serapilheira entre as classes topográficas.....	19
4.6.3 Incremento corrente	19
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
5.1. Caracterização do período de coletas	21
5.2 Produção de serapilheira	22
5.2.1 Produção de serapilheira por partes	26
5.2.2 Razão C:N da serapilheira	30
5.3 Correlação entre serapilheira total, partes, precipitação e potencial hídrico do solos.....	32
5.3.1 Serapilheira e precipitação.....	32
5.3.2 Serapilheira e potencial hídrico	34
5.4 Incremento em diâmetro	35
5.4.1 Caracterização indivíduos arbóreos monitorados	35
5.4.2 Incremento médio em diâmetro.....	36
5.4.3 Incremento por classe de diâmetro	38
5.4.4 Incremento individual por espécie.....	40
5.5 Correlação entre o incremento, precipitação e o potencial hídrico dos solos.	42
5.5.1 Incremento e precipitação	43
5.5.2 Incremento e potencial hídrico	45
5.6 Serapilheira e Incremento	46
6. CONCLUSÕES	50
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51

Lista de Tabelas

TABELA 1: DADOS DE PRECIPITAÇÃO MENSAL (MM) DA SÉRIE HISTÓRICA 1971-2010, COLETADOS NA EMBRAPA E OS DADOS PELO PLUVIÔMETRO AUTOMÁTICO DA ZF-2.....	22
TABELA 2: ANÁLISE DE VARIÂNCIA(ANOVA) FATORIAL COM MEDIDAS REPETIDAS PARA A PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA NAS DIFERENTES TOPOGRAFIAS E NO TEMPO.	23
TABELA 3: ESTIMATIVAS DE PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA PARA A AMAZÔNIA BRASILEIRA.....	24
TABELA 4: CONTEÚDO MÉDIO DE CARBONO E NITROGÊNIO NAS DIFERENTES PARTES DA SERAPILHEIRA E MÉDIA PONDERADA PARA O TOTAL DA SERAPILHEIRA NO PLATÔ E BAIXIO.....	30
TABELA 5: ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A PORCENTAGEM DE CARBONO E NITROGÊNIO NAS DIFERENTES TOPOGRAFIAS PLATÔ E BAIXIO.	31
TABELA 6: ÍNDICE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON (R) ENTRE A PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA TOTAL E POR PARTES, PRECIPITAÇÃO NO PLATÔ E BAIXIO.	32
TABELA 7: ANÁLISE DE VARIÂNCIA FATORIAL COM MEDIDAS REPETIDAS PARA O INCREMENTO EM DIÂMETRO ENTRE AS TOPOGRAFIAS, CLASSES DE DIÂMETRO (DAP) E NO TEMPO.	36
TABELA 8: INCREMENTO DIAMÉTRICO COM BANDAS DENDROMÉTRICAS NA AMAZÔNIA BRASILEIRA.....	37
TABELA 9: ESPÉCIES COM REPETIÇÃO MAIOR QUE 5 INDIVÍDUOS E SEU INCREMENTO SEGUIDO DO COEFICIENTE DE VARIAÇÃO E A MÉDIA DOS DIÂMETROS.	41
TABELA 10: INCREMENTO EM DIÂMETRO NAS ESPÉCIES COM REPETIÇÃO ($N \geq 5$) DIVIDIDAS ENTRE AS CLASSES TOPOGRÁFICAS PLATÔ E BAIXIO.	42

Lista de figuras

FIGURA 1: 1A- ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DE SILVICULTURA TROPICAL DO INPA, MANAUS-AM, NÚCLEO ZF-2 E 1B OS TRANSECTOS (N-S) E (L-O). IMAGEM OBSERVADA POR SATÉLITE. -----	11
FIGURA 2: COLETORES USADOS NA COLETA DE SERAPILHEIRA. -----	13
FIGURA 3: PERFIL TOPOGRÁFICO DO TRANSECTO NORTE SUL E LESTE – OESTE. -----	14
FIGURA 4: EXEMPLO DO MATERIAL ENCONTRADO NA SERAPILHEIRA E A FORMA DE SEPARAÇÃO DO MATERIAL CONTIDO NOS COLETORES DEPOIS DA SECAGEM PARA PESAR. -----	15
FIGURA 5: ESQUEMA DE FABRICAÇÃO MANUAL DAS BANDAS DENDROMÉTRICAS USADAS NO MONITORAMENTO DO INCREMENTO EM DIÂMETRO. -----	16
FIGURA 6: ANALISADOR ELEMENTAR PERKIN HELMER CHNO/S NO LABORATÓRIO TEMÁTICO DE PLANTAS E SOLOS.-----	17
FIGURA 7: A) PLUVIÔMETRO AUTOMÁTICO PARA QUANTIFICAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO ACUMULADA NA ÁREA DE ESTUDO(TRANSECTO NORTE-SUL) E B) TENSÍOMETRO PARA MEDIR O POTENCIAL HÍDRICO DOS SOLOS, COM DETALHE DA COLETA DE DADOS. -----	18
FIGURA 8: PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA NO PERÍODO DE ESTUDO (OUTUBRO 2012 A SETEMBRO DE 2013) NAS CLASSES TOPOGRÁFICAS PLATÔ E BAIXIO. -----	25
FIGURA 9: PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA POR DIA NAS DIFERENTES PARTES DIVIDIDAS (FOLHAS, GALHOS E MISCELÂNEA) NAS DIFERENTES CLASSES TOPOGRÁFICAS (PLATÔ E BAIXIO). -----	27
FIGURA 10: POTENCIAL HÍDRICO DOS SOLOS EM RELAÇÃO A PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA MENSAL EM ÁREAS DE PLATÔ (ESQUERDA) E BAIXIO (DIREITA) RESPECTIVAMENTE.-----	34
FIGURA 11: DISTRIBUIÇÃO DAS ÁRVORES AMOSTRADAS POR CLASSES DE DIÂMETRO MONITORADAS COM BANDAS DENDROMÉTRICAS.-----	35
FIGURA 12: INCREMENTO DIAMÉTRICO MONITORADO COM AS BANDAS DENDROMÉTRICAS DURANTE O PERÍODO DE UM ANO NAS DIFERENTES CLASSES TOPOGRÁFICAS.-----	38
FIGURA 13: INCREMENTO MENSAL MÉDIO PARA AS ÁRVORES SUBDIVIDIDAS EM CLASSES DE DIÂMETRO.---	39
FIGURA 14: INCREMENTO MÉDIO DA FLORESTA, PRECIPITAÇÃO ACUMULADA PARA O PERÍODO DE OUTUBRO DE 2012 A SETEMBRO DE 2013 E A PRECIPITAÇÃO HISTÓRICA DA EMBRAPA 1970-2010.-----	43
FIGURA 15: INCREMENTO MENSAL E POTENCIAL HÍDRICO DOS SOLOS NAS DIFERENTES CLASSES TOPOGRÁFICAS PLATÔ E BAIXIO, RESPECTIVAMENTE. -----	45
FIGURA 16: PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA NO PLATÔ E BAIXIO (GRÁFICO SUPERIOR) E INCREMENTO DIAMÉTRICO NO PLATÔ E NO BAIXIO NO GRÁFICO INFERIOR. -----	48

1. INTRODUÇÃO

A floresta amazônica é um ambiente chave na dinâmica do carbono global. Um desequilíbrio no ciclo do carbono nas florestas tropicais como a Amazônia, têm consequências globais, pois, as florestas tropicais possuem na biomassa de suas árvores 40% do total do carbono terrestre (Philips *et al.*, 1998). Ademais, além de um grande estoque, quando a floresta cresce sequestra mais carbono na sua biomassa. Nesse sentido, a exploração e mudança no uso do solo em áreas tropicais podem ter efeitos grandiosos para o clima global, onde a liberação deste carbono retido poderia potencializar os efeitos de uma mudança climática. Em função disso é cada vez mais urgente, compreender melhor o funcionamento da floresta e seus mecanismos ecológicos que propiciam o seu desenvolvimento.

A produção primária líquida da floresta é a soma de toda a energia fotossintética transformada em tecidos, sendo essa a variável para monitorar os fluxos do carbono dentro das florestas (Clark *et al.*, 2001a; Chambers *et al.*, 2001). Acima do solo, a dinâmica do carbono tem a produção de serapilheira e o incremento das árvores os componentes principais da produção primária líquida. O diâmetro do tronco é comumente mensurado para verificar a quantidade de carbono que as árvores tem estocado, fazendo uso de equações alométricas. Quando o diâmetro da árvore é medido em intervalo de tempo, as diferenças nessas medições é o incremento, que indica a produtividade das árvores.

A serapilheira pode chegar a ser até 90% do total da produção primária líquida acima dos solos em florestas tropicais (Clark *et al.*, 2001b). Na dinâmica do carbono, a serapilheira é considerada perda do sistema, pois é o carbono que retorna ao ambiente. Entretanto, na região da Amazônia central onde os solos são pobres, os nutrientes estão na biomassa da vegetação, sendo a ciclagem de nutrientes via serapilheira vital para sua manutenção e produção, formando uma relação de dependência entre a vegetação e os solos (Herrera *et al.*, 1978; Vitousek, 1984; Ferraz *et al.*, 1998).

A relação entre os solos, vegetação e a reciclagem de nutrientes ganha contexto diferenciado em função das contrastantes texturas dos solos da Amazônia

central. O platô apresenta uma textura com 80% de argila, porém em poucos metros no baixo, pode-se encontrar solos com mais de 80% de areia (Freitas, 2013). A vegetação reflete as características físicas e químicas dos solos. Solos com menores teores de nitrogênio por exemplo, refletem essa proporção na sua vegetação. Nesse sentido, a serapilheira resultante dessa interação apresenta as relações nutricionais C:N maiores, dificultando a decomposição desse material e imobilizando temporariamente parte dos nutrientes (Luizão *et al.*, 2004; Neff *et al.*, 2004).

As características físicas dos solos também são importantes para a produtividade da floresta, principalmente quanto à sazonalidade do clima, em especial as chuvas. A textura argilosa, com a maior presença de micro-poros, faz com que a retenção de umidade seja prolongada quando há diminuição de precipitação (Marques *et al.*, 2010). Nesse sentido, em solos arenosos, as árvores apresentam uma maior produtividade em raízes finas, pois, esse tipo de solo não retém umidade por tanto tempo quanto os solos argilosos (Aragão *et al.*, 2009; Noguchi *et al.*, dados não publicados).

Todos essas diferenças fazem com que a produção e alocação do carbono se diferenciem em locais distintos. As árvores estão adaptadas a cada tipo de solo, onde desenvolvem diferentes estratégias para habitar e crescer em cada ambiente. Entretanto, há espécies que desenvolvem bem em ambos os ambientes, apresentando uma elasticidade referente às condições. Porém, pela necessidade de adaptação a cada local, o crescimento individual é muito variável para cada espécie e também para a mesma espécie (Silva *et al.*, 2002; Miranda, 2002).

Para o manejo florestal, essas diferenças devem ser amplamente estudadas e destacadas. Conhecer o comportamento individual das árvores em respostas ao local é essencial para subsidiar operações nas florestas, principalmente no que diz respeito a exploração e ou conservação, ciclos de corte, produtividade e espécies a serem exploradas ou protegidas. Assim, a proposta deste estudo foi investigar o balanço do sistema florestal, correlacionando o crescimento em diâmetro das árvores com o retorno de biomassa ao sistema por meio da serapilheira e os efeitos da sazonalidade das chuvas.

2. OBJETIVOS

Avaliar as relações entre a produção de serapilheira fina e incremento diamétrico em áreas de platô e baixio em uma floresta de terra firme na Amazônia central.

2.1. Objetivos Específicos

- Quantificar a produção de serapilheira fina mensal e anual na área em estudo.
- Avaliar os padrões de crescimento em diâmetro mensal e incremento corrente anual.
- Avaliar a relação da produção de serapilheira, precipitação, potencial hídrico e incremento diamétrico.

3. REVISÃO LITERATURA

3.1 Produtividade da floresta amazônica

A floresta amazônica é um ambiente chave, mas pouco compreendido do ciclo global de carbono (Philips *et al.*, 2009). Nos últimos anos, as florestas tropicais tem sido foco de atenção global, pois exercem um papel importante na qualidade ambiental do planeta, este ecossistema muito complexo e frágil está sendo rapidamente modificado e explorado (Santos, 1996). O papel destas florestas como um sumidouro de carbono atmosférico é tema de intenso debate. Os dados de parcelas permanentes na região tropical sugerem que estas florestas apresentam um papel importante na dinâmica global do carbono atmosférico (Philips *et al.*, 1998).

Estudar a produtividade em florestas tropicais é relevante pelo grande potencial mundial da produção primária e estoque de carbono. A dinâmica desses ecossistemas pode ter grande influência nas mudanças climáticas globais e composição atmosférica (Andrade e Higuchi, 2009). Existe ainda a oportunidade de negócios, fazendo com que agregue valor à floresta em pé, como os REDD - redução de emissões pelo desmatamento e degradação florestal em países em desenvolvimento (Higuchi *et al.*, 2011).

A produtividade primária líquida (PPL) de florestas tropicais é um dos mais importantes componentes do ciclo global de carbono, mas muito pouco estudado (Aragão *et al.*, 2009). A escassez de dados sobre o incremento diamétrico, o crescimento e a respiração das raízes dificultam a quantificação e os padrões sazonais da PPL (Nepstad *et al.*, 2002). Alguns modelos de mudanças climáticas preveem um crescimento maior das florestas tropicais como a Amazônia em resposta ao aumento das concentrações de CO₂ atmosférico (Malhi *et al.*, 2009). Estudo como de torres de fluxos e monitoramento com parcelas permanentes na Amazônia encontram o fluxo de carbono nas florestas, mas ainda destoam sobre a quantidade de carbono fixada. As torres medem uma quantidade maior de carbono fixado, enquanto os monitoramentos têm uma medida menor de carbono, assim um método ainda não consegue explicar o outro (Nobre e Nobre, 2002).

As florestas, de alguma forma, podem estar sendo vítimas das mudanças climáticas globais, principalmente, pela ocorrência mais frequente de eventos de falta de chuva ou muita chuva. Em geral, a falta de chuva está atrelada ao El Niño e ao La Niña está indexada há anos com muita chuva. Os dois fenômenos estão associados a mudanças na temperatura do Oceano Pacífico, que interfere na evaporação das águas (Higuchi *et al.*, 2011). Se as previsões estiverem corretas, eventos de seca mais frequentes, podem acelerar a mudança climática através de perdas de carbono e alteração nos balanços energéticos na superfície das florestas tropicais como a Amazônica (Philips *et al.*, 2009).

Em termos mundiais, a Amazônia brasileira é a maior floresta tropical, representando 33% das florestas tropicais úmidas do planeta (IBGE, 2010). Dentro do Brasil, a divisão geopolítica da Amazônia legal representa 59% da área do Brasil, sendo que a floresta amazônica originalmente tinha cerca de quatro milhões de quilômetros quadrados (49,3%) do território do Brasil. Na região amazônica, a vegetação é influenciada pela proximidade da rede de drenagem, diferenciando platô, vertente e baixio com características estruturais e fisionomia florestal inerentes a cada unidade topográfica (Luizão *et al.*, 2004). Na Amazônia central, os solos são na maioria pobres, variam muito quanto à textura e nutrientes nas diferentes topossequências platô-encosta-baixio (Ferraz *et al.*, 1998).

3.2 Produção de serapilheira em florestas tropicais

O ecossistema florestal tem como alguns de seus compartimentos o solo, a serapilheira e a biomassa arbórea vegetal, constituindo um sistema aberto, que permite a troca de massa e energia com os sistemas adjacentes, de onde recebe e exporta energia, nutrientes e água (Schubart *et al.*, 1984). O sistema florestal é mantido por este fluxo de entrada e saída, sendo que, no seu interior, grande parte da energia é dissipada para promover uma forte circulação, a qual faz com que se reduzam as perdas, tanto de nutrientes como de compostos ricos em energia (Ferreira *et al.*, 2006). A produção de serapilheira fina é uma das variáveis mais acessíveis para estimar a produção primária, os ciclos de nutrientes e a transferência de carbono em ecossistemas florestais (Scheer *et al.*, 2009).

Melhorar a compreensão da função biogeoquímica das florestas amazônicas, estudando os efeitos do tempo é uma necessidade para o conhecimento da produtividade desses ecossistemas (Aragão *et al.*, 2009). Os solos da Amazônia central são em grande parte, caracteristicamente ácidos, com reduzidos níveis de fertilidade e possuem baixa disponibilidade de nutrientes para suprir as necessidades das plantas, como o Ca, P e K. Essa baixa capacidade é decorrente dos efeitos das altas temperaturas e fortes chuvas que ocorrem na Amazônia, juntamente com a formação geológica da região. Em decorrência disso, ocorre um intenso intemperismo e a lixiviação. Estudos sobre os processos de crescimento e nutrição das florestas tropicais sobre solos distróficos e álicos e sobre deposição e decomposição de serapilheira no Brasil são relativamente limitados (Santana *et al.*, 2003).

É por meio dos mecanismos de transferência entre a vegetação e o solo que ocorrem os processos de sustentabilidade de florestas que crescem em solos pobres em nutrientes (Silva *et al.*, 2009). A habilidade da floresta amazônica em desenvolver-se sobre solos com pouca disponibilidade de nutrientes e com grande produção de biomassa deve-se a rápida produção e deposição de serapilheira e rápida mineralização dos elementos minerais. A qualidade nutricional da serapilheira depende do tipo de vegetação e solo, densidade populacional, idade e capacidade de absorção de nutrientes das árvores (Neves *et al.*, 2001).

A serapilheira fina é a principal formadora do material orgânico do solo, sendo constituída por galhos, folhas, cascas, frutos e flores. As folhas geralmente apresentam a porção maior na serapilheira (Luizão, 1989; Silva *et al.*, 2007; Malhi *et al.*, 2009; Chave *et al.*, 2010; Espig *et al.*, 2009). O comportamento da deposição é sazonal, influenciado pela temperatura e pluviosidade (Piovesan *et al.*, 2012), sendo o comportamento importante para compreender como a floresta responde a situações de estresse hídrico (Silva *et al.*, 2009).

Quando o resíduo é adicionado ao solo, o aumento da população microbiana é estimulado pelo aporte de energia que o resíduo representa, aumentando a demanda por carbono e nitrogênio pelos microrganismos. Os tecidos microbianos têm concentração média de 5% de N, uma relação C/N entre 20 a 30 fornecerão nitrogênio necessário para o desenvolvimento microbiano. Já relações C/N maiores que 30 dificultam a mineralização e há uma imobilização temporária de nitrogênio

nos tecidos dos microrganismos, ficando indisponível para as plantas por determinado tempo (Selle, 2007).

A dinâmica da serapilheira é regulada diretamente pelo material orgânico dispersado pelas árvores e da decomposição da biomassa morta nos solos (Martius *et al.*, 2004). A quantidade de serapilheira depositada pode variar dentro de um mesmo tipo de vegetação. Diferenças entre produção de serapilheira, entre locais próximos podem ter relações com diferentes graus de perturbação dentro de uma mesma tipologia florestal (Werneck *et al.*, 2001). Em estudo que avaliou o gradiente topográfico quanto a deposição e produção de serapilheira, Luizão *et al.* (2004) identificaram diferenças entre a produção em áreas de platô e de baixio, sendo que a produção do platô foi cerca de 30% maior. Os autores concluíram que a baixa produção em áreas de baixio pode estar relacionada com a baixa densidade de árvores de grande porte, além do dossel baixo encontrado nas áreas de baixio.

A produção de serapilheira fina é variável durante o ano, sendo que pouca ou nenhuma tendência é observada no padrão interanual da produção de serapilheira fina (Chave *et al.*, 2008). Já Barbosa e Fearnside (1996) concluíram que a produção de serapilheira teve um pico no final da estação chuvosa, com grande insolação e com alta potencial hídrico e o segundo pico de produção ao final da estação seca, com a deposição de material vegetal senil como efeito do estresse hídrico. Eventos climáticos como El Niño e La Niña podem afetar significativamente a dinâmica da serapilheira em florestais tropicais. No caso do El Niño, a possibilidade de haver seca na região amazônica pode aumentar a produção de serapilheira nessas florestas, pela necessidade das árvores em evitar mais perda de água (Martius *et al.*, 2004). Entretanto, em experimentos do ESECAFLORE que tem como finalidade estudar os impactos da seca prolongada, com exclusão da precipitação da floresta, a produção da serapilheira em uma parcela com exclusão foi 25% menor do que a da parcela em condições naturais (Silva *et al.*, 2009).

Em estudo da deposição de serapilheira e a correlação entre variáveis dendrométricas de árvores de acordo com a sua classificação sucessional, Benvenuti-Ferreira *et al.* (2009) determinaram que espécies com características pioneiras tendem a produzir mais serapilheira por ano que secundárias e clímax e

que existe uma correlação forte entre a produção de serapilheira e as variáveis dendrométricas como DAP e diâmetro de copa. Em uma área perturbada a maior deposição de matéria orgânica no solo não está condicionada ao maior ou menor número de espécies pioneiras, mas sim a estrutura da floresta e a melhor formação do dossel (Werneck *et al.*, 2001). Segundo Silva *et al.* (2009), a relação entre a deposição da serapilheira e a sua decomposição mostra que o ciclo que ocorre entre a vegetação e o solo pode ter importante papel na floresta por influenciar no crescimento das espécies vegetais, aumentando a quantidade de nutrientes disponíveis, proporcionando às árvores melhores condições para crescer.

3.3 Crescimento e Incremento de Florestas Tropicais Úmidas

Apesar do número relativamente grande e crescente de parcelas permanentes instaladas na Amazônia, a maioria dos resultados das análises de crescimento de florestas naturais estão em banco de dados de instituições públicas e na melhor das hipóteses, em relatórios técnicos de circulação extremamente limitada (Higuchi *et al.*, 2003). As análises de crescimento em florestas tropicais, geralmente, enfatizam apenas a escala de ecossistema ou povoamento florestal, deixando de lado os padrões de crescimento individual de cada espécie.

O incremento diamétrico é muito variável de espécie para espécie e dentro da própria espécie, de acordo com a idade, estações do ano e condições de clima (Silva *et al.*, 2002). Na Amazônia, há poucos estudos de correlação entre os padrões de crescimento individual e os fatores climáticos (Higuchi *et al.*, 2003). Obtenção de dados de balanço hídrico tem sido dificultada por causa da falta da continuidade nas medidas de precipitação, umidade no solo e a localização das estações que estão concentradas nas margens dos principais rios (Silva, 2001).

Para o manejo florestal é importante conhecer os estoques nas diferentes topos sequências porque o planejamento das atividades é feito em função dos estoques existentes e a facilidade de acesso na área (Rocha *et al.*, 2003). A falta de informações sobre o crescimento florestal e o comportamento da estrutura diamétrica no tempo, têm sido um fator limitante para o manejador florestal

(Vasconcelos *et al.*, 2009). Costa *et al.* (2008) ressaltam que conhecer o crescimento das árvores e do povoamento é fundamental para o silvicultor planejar as atividades florestais em sua área de manejo, principalmente, quando se refere à produção de madeira comercial para atender a demanda das indústrias.

A predição de biomassa e incremento em florestas tropicais tem uma série de novos métodos que vêm sendo desenvolvido por meio de sensoriamento remoto. Porém, esses métodos ainda caminham lentamente, pois as florestais tropicais são ecossistemas muito complexos, com alta diversidade e grande grau de estratificação (Kuruppuarachchi e Seneviratne, 2013). Entretanto, essas técnicas com sensores remotos necessitam das variáveis medidas no campo para melhores predições. Alguns estudos estão tentando fazer a predição de incremento em biomassa acima dos solos por meio das estimativas de serapilheira (Clark *et al.*, 2001; Kuruppuarachchi e Seneviratne, 2013).

3.4 Crescimento individual de árvores em florestas tropicais

O crescimento de árvores é definido por Campos (2006) como o aumento da altura e seu diâmetro no tronco, conseqüentemente, o seu incremento em volume. Ainda descreve que o crescimento está ligado ao potencial genético dos indivíduos e a fatores do meio. Conhecer o crescimento de uma floresta é fundamental para o manejo florestal e o planejamento de atividades florestais (Costa *et al.*, 2008). O conhecimento quantitativo do incremento das florestas é parte do entendimento do papel das florestas tropicais no ciclo de carbono global, assim é necessário o uso de metodologias eficientes para as estimativas acuradas de biomassa (Gonçalves e Santos, 2008).

As árvores tropicais eram descritas como plantas que crescem continuamente durante o ano em virtude do clima com temperaturas e umidade altas. No entanto, o incremento dessas árvores tem um padrão intermitente, onde a resposta da atividade cambial em crescimento responde ao padrão das chuvas. Assim, em épocas com menores índices pluviométricos, as árvores diminuem e até param de crescer (Botosso e Vetter, 1991). Quando o ambiente fica seco, a estratégia das

árvores em parar o crescimento para conservar a pouca água no sistema é vantajosa, evitando a sua morte (Vaz, 2011).

O padrão de crescimento pode indicar se determinada espécie apresenta elasticidade. Uma espécie elástica é definida como aquela que apresenta melhor desempenho no crescimento em função de um determinado sítio, associação botânica, condição de dossel ou qualquer outra situação que oferece a ela melhor ou pior condições fisiológicas para crescer. Assim, indivíduos que tenham respostas diferentes em função de condições microclimáticas, podem apresentar respostas a tratamentos silviculturais. Entender e conhecer o padrão de crescimento das espécies, sabendo quais espécies apresentam melhor crescimento e possam responder a tratamentos silviculturais são informações básicas para o engenheiro na hora de explorar e ou preservar determinada espécie, planejar tratamentos silviculturais e até ciclos de corte (Silva, 2001). De forma geral, uma evidência para verificar a elasticidade é por meio do monitoramento individual de indivíduos da mesma espécie, sendo que os seus incrementos apresentam um alto coeficiente de variação (Andrade e Higuchi, 2009).

O uso das bandas dendrométricas para monitorar crescimento em diâmetro data de 1944, introduzido por Hall em floresta temperada (Keeland e Sharitz, 1993). A partir daí as bandas tiveram ampla utilização nas mesmas tipologias florestais, pois fornecem grande precisão e facilidade no monitoramento da floresta. Porém, na Amazônia brasileira, por exemplo, há registros de utilização dessas fitas apenas em Santarém e em Manaus, mas pouquíssimos trabalhos publicados na literatura até os anos 2000 (Silva *et al.*, 2003).

A utilização de bandas dendrométricas para monitorar o crescimento individual de árvores é prática e eficiente, com medições confiáveis (Higuchi *et al.*, 2003). Os dendrômetros são precisas ferramentas utilizadas para realizar medidas repetidas do crescimento diamétrico arbóreo. No Brasil, o uso de dendrômetros artesanais predominam nos estudos, porém os pesquisadores devem ter o trabalho de construí-los e instalá-los. Existem no mercado internacional dendrômetros industriais, que são mais caros e podem não ser adequados às condições ambientais locais (Carvalho e Felfili, 2011). Há também os dendrômetros automáticos, que oferecem alta precisão e alto volume de dados (Miranda, 2002).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de Estudo

A área de estudo localiza-se na Estação Experimental de Silvicultura Tropical, área da ZF2, distante cerca de 90 km ao noroeste da cidade de Manaus – AM (figura 1). O núcleo ZF2 realiza pesquisas com manejo florestal desde 1980, contando com experimentos de áreas manejadas experimentalmente e dinâmica de florestas maduras. Na área dos transectos, já foram desenvolvidos estudos de vegetação (Higuchi *et al.*, 1998), de solos (Ferraz *et al.*, 1998) e de incremento diamétrico com bandas (Silva, 2001).

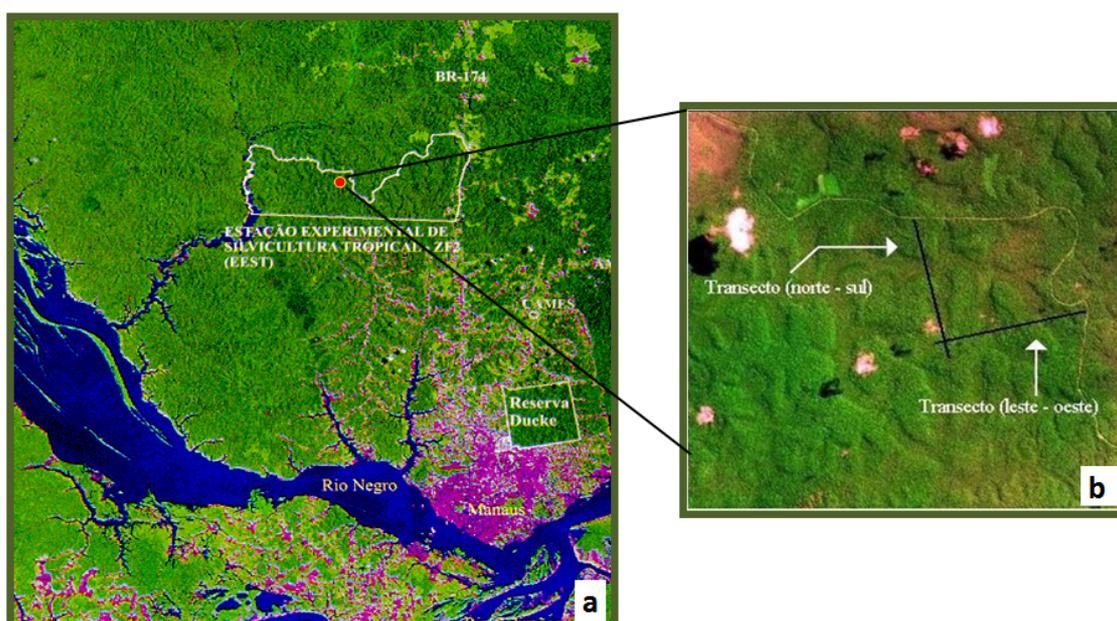


Figura 1: **1a**- Estação Experimental de Silvicultura Tropical do INPA, Manaus-AM, núcleo ZF-2 e **1b** os transectos (N-S) e (L-O). Imagem observada por Satélite.

Fonte: (LMF/INPA, 2001).

Os experimentos foram instalados em duas transecções com dimensões de 20m X 2500m, um na direção Norte – Sul (Figura 1b) que fica no Km 32 da estrada vicinal da ZF-2 e outro na direção Leste – Oeste (Figura 1b) que tem a sua entrada no Km 26, ambas à margem esquerda da mesma vicinal. O monitoramento do

incremento com as bandas dendrométricas vem sendo realizado desde o ano de 1999. Os coletores de serapilheira foram instalados no início de outubro de 2012. Na área de estudos podem-se considerar três fitofisionomias: o platô (zonas tabulares), vertente (zonas de transição em encosta) e o baixio (área sob influência de cursos de água) (Figura 3). A vegetação da área da ZF-2 é uma amostra de floresta tropical úmida densa de terra-firme amazônica (Santos, 1996). Segundo RADAM (1978), a área de “sub-região dos baixios e platôs da Amazônia” apresenta o relevo suavemente ondulado, classificado em macro ambiente de relevo tabular levando em consideração a geomorfologia e levantamento florísticos.

Segundo Higuchi *et al.* (1998), em estudo da estrutura da floresta na mesma área, não houve diferenças significativas entre a estrutura da floresta nas áreas de platô e encosta, mas houve diferenças entre as áreas de platô/encosta com as extensões de Baixio. Os solos da área são muito ácidos, com baixa capacidade de troca de cátions (CTC) e soma de bases, conseqüentemente com pequena oferta de nutrientes trocáveis para as plantas. A textura nas duas transecções mantém o mesmo padrão, sendo argilosa nas áreas de platô e arenosa nos baixios. Os solos são classificados como Latossolos amarelos, Argissolos e Espodossolos nas topografias platô, encosta e baixio respectivamente (Ferraz *et al.*, 1998).

Conforme a classificação de Köppen o clima local é do tipo Am (tropical chuvoso), quente e úmido praticamente o ano inteiro, com a temperatura nos meses mais frios acima de 18° C, sem período seco bem demarcado, sendo que o mês de agosto apresenta os menores índices pluviométricos no ano (RADAM, 1978). A precipitação média da região nas proximidades da área de estudo nos anos de 1980 a 2001 foi de 2.610 ± 124 mm (Silva *et al.*, 2003).

4.2 Serapilheira

Para a coleta da serapilheira fina, foram instalados 120 coletores, sendo distribuídos 60 coletores em cada nível topográfico (platô e baixio) nos dois transectos. As áreas de encostas foram excluídas do estudo por se tratarem de áreas de transição, que por vezes são muito difícil de definir e caracterizar. A quantificação então é focada nas topos sequências extremas platô e baixio. Os

coletores apresentam dimensões 0,50 m X 0,50 m (0,25 m²), com a sua armação confeccionada com cano de PVC 20mm e no seu interior foi usado uma rede de malha náilon (Figura 2).



Figura 2: Coletores usados na coleta de serapilheira.

Os coletores foram distribuídos sistematicamente em duas linhas. A distância entre coletores é de 40 metros na linha. No total, a amostragem nos dois transectos foi superior aos 1600 metros dentro de cada transecto (figura 3), com diferentes áreas de platô e de baixio amostradas. A serapilheira fina foi retirada dos coletores entre períodos de 15 e 30 dias dependendo do período. Na estação de maior precipitação, entre os meses de janeiro e maio foram intensificadas essas coletas, sendo feitas no período de 15 dias. Nos meses com menor precipitação, as coletas foram realizadas em até 30 dias. Essa diferença entre o tempo das coletas é para diminuir o efeito de uma possível decomposição do material dentro do coletor.

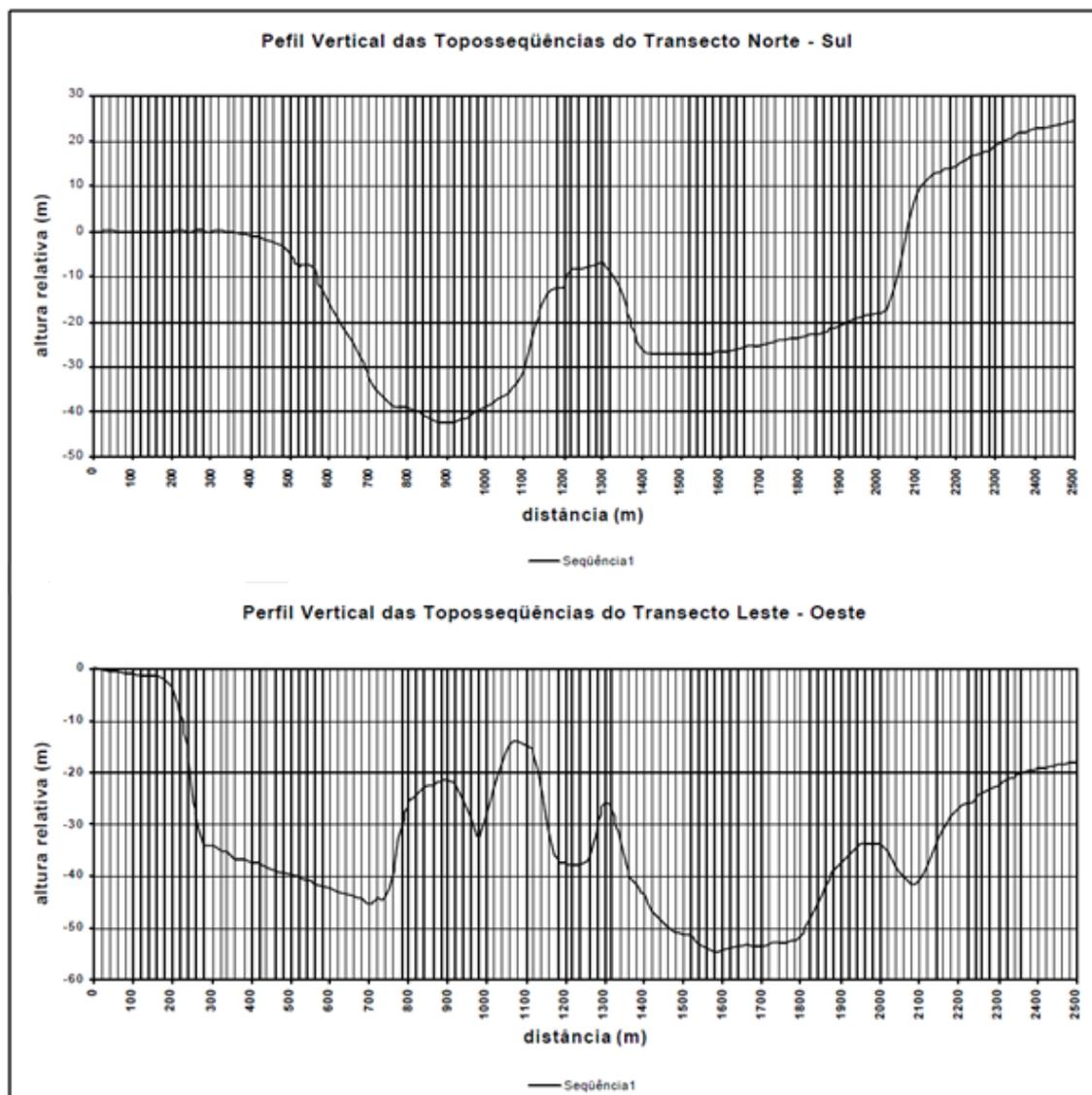


Figura 3: Perfil topográfico do transecto Norte Sul e Leste – Oeste.

Fonte: Adaptado de Higuchi *et al.*, 1998.

O material orgânico coletado foi identificado, devidamente acondicionado e levado ao laboratório de Manejo Florestal INPA. A serapilheira foi seca em estufa a 65°C por 72 horas ou até o material obter peso constante. Após a secagem do material, este foi separado de acordo com o tipo de estrutura, em três categorias: folhas, galhos (DAP \leq 2 cm), outros (frutos, flores etc.) e posteriormente pesado conforme figura 4.



Figura 4: Exemplo do material encontrado na serapilheira e a forma de separação do material contido nos coletores depois da secagem para pesar.

4.3 Incremento em diâmetro

As bandas dendrométricas estão instaladas na área de estudo desde junho de 1999 e foram distribuídas aleatoriamente entre os dois transectos, em árvores com diâmetro a altura do peito (DAP) ≥ 10 cm. Ao total a área conta com aproximadamente 500 árvores monitoradas com as bandas dendrométricas. Segundo Silva (2001), as bandas foram confeccionadas de forma manual e têm a função de medir a expansão do crescimento do tronco por meio do deslocamento provocado por uma mola (figura 5). O incremento é medido com o auxílio de um paquímetro digital com precisão milimétrica.

Para este estudo, foi usada às medições de um ano do incremento diamétrico, no período de setembro de 2012 a setembro de 2013. Foram 250 árvores (125 no platô, 125 no baixio) selecionadas aleatoriamente do banco de dados das bandas dendrométricas. O monitoramento foi mensal, sempre em dias próximos a coleta de serapilheira. Os dados foram anotados em planilha com o número de referência e localização das árvores. O incremento individual foi obtido pela diferença entre as medições na janela das bandas, tomado pela fórmula:

$$\text{INCREMENTO MENSAL} = M2 - M1$$

em que:

M2 = medida na janela da banda dendrométrica do mês anterior

M1 = medida na janela na no mês atual.

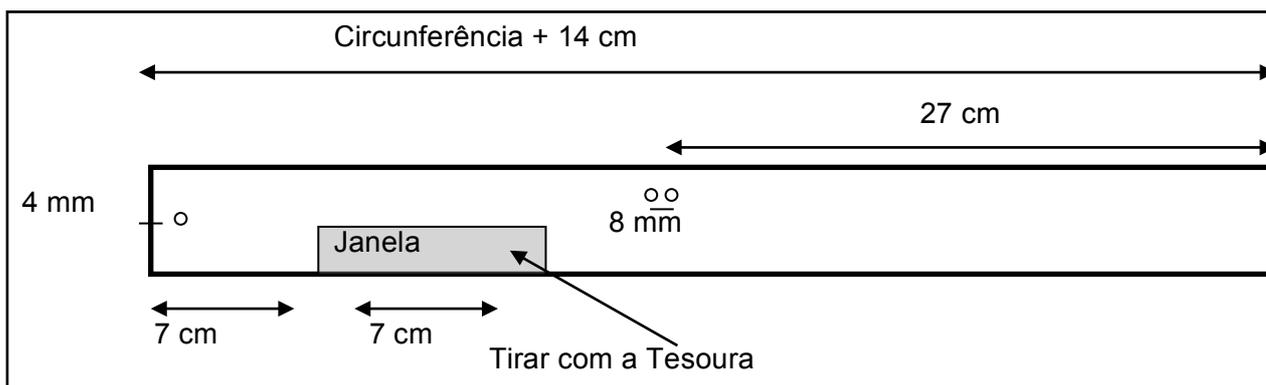


Figura 5: Esquema de fabricação manual das bandas dendrométricas usadas no monitoramento do incremento em diâmetro.

Fonte: Silva *et al.*, 2003.

4.4 Razão C:N

A quantificação de carbono e nitrogênio contido no material da serapilheira foi analisado com a ajuda do equipamento Perkin Helmer 2400 Series II CHNS/O (figura 6). O equipamento faz a análise de outros nutrientes além de carbono e nitrogênio, mas que não foram foco nessa análise. O equipamento está instalado no laboratório temático de plantas e solos do INPA, campus V8.

As amostragens foram feitas em diferentes meses, sendo o mês de março caracterizado como de estação chuvosa e o mês de setembro, com menores índices pluviométrico. As amostras foram diferenciadas entre platô e baixio além das partes da serapilheira (folhas, galhos e miscelânea). A amostragem nessas condições visou verificar se existe diferenças tanto na topográfica quando no tempo para os teores de carbono e nitrogênio. As amostras foram agrupadas a cada 10 coletores, sendo estas moídas para posterior análise. Assim, foram 12 amostras por mês, sendo no total 24 amostras para folhas, 12 galhos e 12 para miscelânea.



Figura 6: Analisador elementar Perkin Helmer CHNO/S no laboratório temático de plantas e solos.

4.5 Variáveis climáticas

A precipitação na área de estudo foi obtido por meio de pluviômetro instalado na entrada do transecto norte-sul. O aparelho para medição é automático e tem um sistema de armazenamento digital de dados. O sistema monitora a quantidade de chuva e a precipitação acumulada em cada horário. A coleta dos dados de precipitação foi realizada no dia da coleta da serapilheira e de incremento nas bandas.

Os dados de potencial hídrico do solo foram obtidos por meio de tensiômetro distribuídos aleatoriamente nas áreas de platô e baixio do transecto norte-sul. O aparelho está instalado em três diferentes profundidades (7 cm, 15 cm e 25 cm). No total, são quatro bases que monitoram a umidade dos solos de hora em hora, sendo a informação gravada em um aparelho de armazenamento digital dos dados (figura 7).

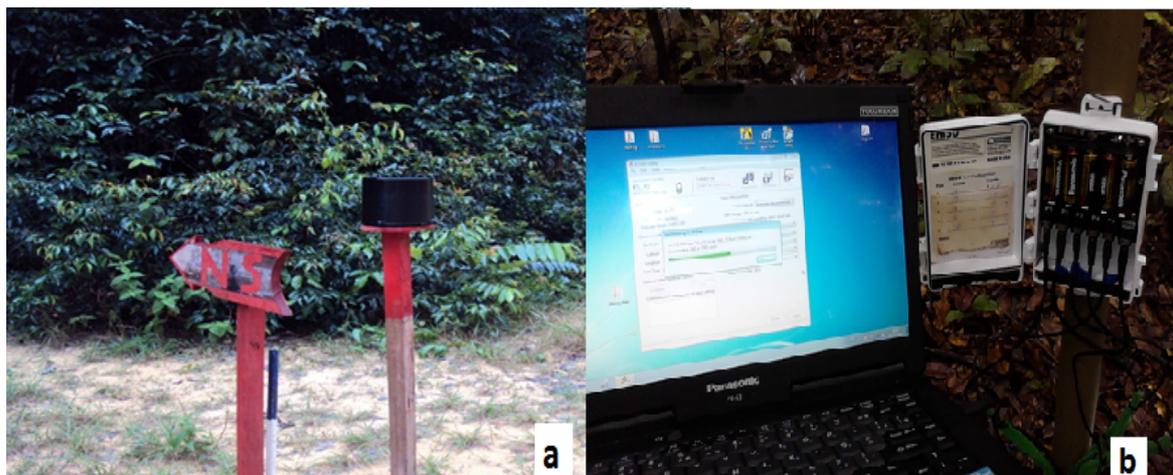


Figura 7: a) Pluviômetro automático para quantificação da precipitação acumulada na área de estudo (transecto Norte-Sul) e b) tensiômetro para medir o potencial hídrico dos solos, com detalhe da coleta de dados.

4.6 Tratamento dos dados

4.6.1 Correlação do incremento em diâmetro, serapilheira, precipitação e potencial hídrico

A relação linear entre as variáveis estudadas foi analisada por meio de uma análise de correlação de Pearson. As variáveis que tiveram diferenças estatísticas em relação à topografia foram analisadas separadamente. A correlação de Pearson mede a afinidade entre 2 variáveis, indicando o comportamento de uma em relação à outra, podendo variar de -1 a +1. Valores positivos indicam que os maiores valores de X estão atrelados aos maiores valores de Y, sendo a forma inversa, a correlação pode ser negativa quando os maiores valores de X estão relacionados com os menores de Y e vice-versa. Quanto mais próximos aos valores máximos (1, -1) melhores são as correlações, sendo a relação 1 perfeita. Os testes de correlação foram calculados por meio da seguinte fórmula:

$$r = \frac{SPC_{xy}}{\sqrt{(SQC_x)(SQC_y)}}$$

em que:

SPC = Soma dos produtos corrigidos;

SQC = Soma dos quadrados corrigidos;

Foram realizados os seguintes testes de correlação entre as variáveis de estudo:

- Produção de serapilheira e incremento corrente nas classes topográficas
- Produção de serapilheira com precipitação e potencial hídrico
- Incremento corrente e precipitação e potencial hídrico

4.6.2 Comparação da produção de serapilheira entre as classes topográficas

A produção de serapilheira nas diferentes áreas (platô e baixio) foi analisada com uma análise de variância com medidas repetidas. O tempo foi outro fator analisado, onde verificou-se as diferenças na produção durante o período de coletas. Neste caso, fez-se uso de um modelo linear aditivo considerar os fatores em separado e a interação destes.

O modelo linear aditivo para o teste:

$$X_{ij} = \mu + V_i + T_j + V_iT_j + \varepsilon(ij)$$

X_{ij} = produção de serapilheira

μ = média

V_i = efeito da classe topográfica

T_j = efeito de tempo

V_iT_j = interação de classe topográfica e tempo

$\varepsilon(ij)$ = Erro

4.6.3 Incremento diamétrico

Para a análise do incremento diamétrico foi empregada a metodologia de Silva *et al.* (2003). Os testes de comparação de médias com a análise de variância

(ANOVA) para medidas repetidas, para verificar se o crescimento em diâmetro é influenciado pelas diferentes áreas (platô e baixo) e se os incrementos se diferenciaram com o passar do tempo. Os indivíduos monitorados foram divididos em 3 classes de diâmetros ($10 \text{ cm} \leq \text{DAP} \leq 30 \text{ cm}$, $30 \text{ cm} \leq \text{DAP} \leq 50 \text{ cm}$ e $\text{DAP} > 50 \text{ cm}$), onde analisou-se a diferenças no incremento em diâmetros nessas classe. Em ambos os casos, pela ANOVA, por apresentar a medição repetida do mesmo individuo durante o tempo de estudo, a probabilidade para o teste segue a metodologia de Von Ende (1993) para medidas repetidas, onde é considerado a correção pelo teste G-G e ou H-F que são consideradas mais robustas para essa análise.

O modelo linear aditivo para o teste:

$$X_{ijk} = \mu + V_i + T_j + CD_k + V_i T_j CD_k + \varepsilon(ijk)$$

Onde:

X_{ijk} = incremento corrente anual

μ = média dos incrementos

V_i = efeito da classe topográfica

T_j = efeito de tempo

CD_k = classes de diâmetro

$V_i T_j CD_k$ = interação de classe topográfica, tempo e classe de diâmetro.

$\varepsilon(ijk)$ = erro

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Caracterização do período de coletas

A precipitação foi monitorada com a ajuda de 2 pluviômetros automáticos, sendo usado para a análise, o equipamento que está instalado na entrada do transecto N-S. Os dados foram coletados mensalmente, junto com as coletas de serapilheira e das bandas dendrométricas. Como comparativo, os dados de precipitação para o período de coletas foram cruzados com os dados de precipitação histórica da Embrapa Amazônia Ocidental, localizada no Km 29 da rodovia AM-010. Os dados de precipitação estão anexados com os dados de precipitação mensal da média de 39 anos da Embrapa (tabela 1).

Os dados de precipitação histórica de 1971 – 2010 do CPAA-EMBRAPA mostram que a precipitação média anual para a região fica em torno de 2612 mm. Na área de estudo, a precipitação para o período de monitoramento de 1 ano ficou em 3155 mm ficando muito acima da série histórica de 39 anos da EMBRAPA. Assim, o ano monitorado pode ser caracterizado atípico em relação à quantidade de precipitação, com 20% a mais de chuva que a média histórica. Outro fato importante, quando se leva em consideração a distribuição das chuvas durante o ano, alguns meses a precipitação ficou próximo ao dobro para a média histórica, com chuvas muito concentradas, em curto período de dias. Apesar da variação na quantidade de chuva no período em relação a precipitação histórica, a correlação entre esses valores foi muito boa ($r=0,89$ $p=0,000$), demonstrando que o padrão de precipitação no tempo foi bem relacionado com o clima para a região.

Tabela 1: Dados de precipitação mensal (mm) da série histórica 1971-2010, coletados na EMBRAPA e os dados pelo pluviômetro automático da ZF-2.

Meses	1971-2010	2012-2013	Diferença(mm)	Diferença(%)
Outubro	161,2	103,69	-57,51	-35,7
Novembro	188,9	156,98	-31,92	-16,9
Dezembro	243,3	325,59	82,29	33,8
Janeiro	265,5	512,26	246,76	92,9
Fevereiro	297,1	451,8	154,7	52,1
Março	327,9	371,48	43,58	13,3
Abril	328,8	361,92	33,12	10,1
Mai	277,9	343,1	65,2	23,5
Junho	169,4	221,4	52	30,7
Julho	120	124,8	4,8	4,0
Agosto	111,2	99,6	-11,6	-10,4
Setembro	120,8	82,5	-38,3	-31,7
Total	2612	3155	543,12	20,8
Média	217,7	262,9	45,3	-

Os dados de precipitação e umidade dos solos quando correlacionados demonstram um pouco da diferença entre as duas áreas de estudos, platô e baixio. Esta diferença fica mais clara quando é feita uma correlação entre a precipitação e a umidade em cada local, onde o platô praticamente não tem correlação com a precipitação ($r=0,13$, $p=0,69$) e os solos de baixio já apresentam uma correlação fraca ($r=0,31$, $p=0,12$), porém deve ser considerada. Os solos de platô têm característica argilosa e consegue manter muito mais a umidade durante o ano (Marques *et al.*, 2010), mesmo com os meses com precipitação baixa, há uma relativa queda na umidade. Solos de baixio com textura arenosa têm menor capacidade de reter umidade em períodos com menores índices pluviométricos (Marques *et al.*, 2010; Neu, 2005; Telles, 2003).

5.2 Produção de serapilheira

A estimativa da produção de serapilheira para o período foi de $7,1 \pm 0,25 \text{ t.ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ para o platô e $6,3 \pm 0,15 \text{ t.ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ para o baixio (IC = 95%). A produção de serapilheira foi analisada com uma ANOVA de medidas repetidas, sendo a

produção diferente estatisticamente entre as classes topográficas ($n=120$, $p=0,008$) e também no tempo ($n=120$, $p=0,0001$). Não houve interação entre os fatores analisados, topografia e tempo. A queda de material orgânico das árvores apresenta um comportamento contrário à quantidade das chuvas, sendo os 5 meses com apenas 20% da precipitação acumulada (junho a outubro) os que têm maior produção de serapilheira, com 56% do total da queda anual (figura 9).

Tabela 2: Análise de Variância(ANOVA) fatorial com medidas repetidas para a produção de serapilheira nas diferentes topografias e no tempo.

Fonte de variação	G.L	SQ	QM	F	p	G-G	H-F
Topografia	1	1701,28	1701,28	6,427	0,008		
Erro	118	31235,4	264,7				
Tempo	11	48654,47	4423,13	42,22	0,000	0,000	0,000
Tempo X topografia	11	3021,74	274,70	2,622	0,003	0,007	0,005
Erro	1298	135978,8	104,8				

G-G = Greenhouse-Geisser, H-F = Huynh-Feldt, índices de correção para experimentos com medidas repetidas.

A estimativa de produção encontrada por este estudo é similar a outros estudos na Amazônia central, onde a produção de serapilheira média é de $8 \text{ t.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para as florestas maduras da Amazônia (Chave *et al.*, 2010). Entretanto, as estimativas que apresentam o intervalo de confiança, demonstram grandes incertezas para nos diferentes estudos. Outro ponto recorrente é a falta de detalhamento da amostragem e coleta de dados, fato apontando e discutido por Clark *et al.* (2001a). Os dados com as estimativas de produção de serapilheira para a Amazônia brasileira são apresentados na tabela 3.

Tabela 3 Estimativas de produção de serapilheira para a Amazônia brasileira.

Autor	Local	Produção (Mg.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	DP (±)	IC (±)	N	Tipo de solo
Este estudo	Manaus	7,1	0,91	0,23	60	Platô
	Manaus	6,3	0,62	0,16	60	Baixio
Klinge e Rodrigues (1968)	Manaus	7,4				Platô
Luizão e Schubart (1987)	Manaus	7,42	2,13	1,08*	15	Platô
Luizão e Schubart (1987)	Manaus	6,48	1,62	0,82*	15	Baixio
Luizão (1989)	Manaus	8,25			15	Platô
Luizão (1989)	Manaus	7,44			15	Baixio
Barboza e Fearnside(1996)	Roraima	9,2				-
Martius et al. (2004)	Manaus	9,5	8,81	3,86*	20	Platô
Martius et al. (2004)	Manaus	7,93	6,59	2,89*	20	Platô
Dantas e Phillipson (1989)	Pará	8,04				Platô
Luizão et al. 2004	Manaus	8,9	1,9	1,18*	10	Platô
Luizão et al. 2004	Manaus	6,6	0,8	0,50*	10	Baixio
Silva et al. 2009	Caxiuanã	8,87			20	Platô
Silva et al. 2009	Caxiuanã	9,79			20	Platô
Chave et al. (2010)	Geral	8,61	1,9	0,52*	52	Geral

N= número de coletores; DP= Desvio Padrão; IC = Intervalo de confiança 95%;

*Calculado com a fórmula $IC = Z \times (DP \div \sqrt{N})$, com $Z=1,96(\alpha = 0,05)$.

Os trabalhos que analisaram a produção em diferentes áreas como platô e baixio, Luizão e Schubart (1987) Luizão (1989) encontraram diferenças estatísticas entre a produção entre áreas. Em estudo sobre a produção de serapilheira, Martius *et al.*, (2004) encontraram 9,5 t.ha⁻¹.ano⁻¹ e 7,19 t.ha⁻¹.ano⁻¹ para uma floresta madura, no período de (1997-1998) e (1998 -1999) respectivamente. Entretanto, os autores concluíram que o fato da maior produção do primeiro ano estava relacionada ao evento El Niño, sendo este um ano mais seco na Amazônia. Os mesmos autores compararam a produção de serapilheira na floresta madura, secundária e em plantios comerciais mistos, onde a produção na floresta madura foi superior nos dois anos de estudo. Os resultados sugerem que a queda da serapilheira tem relacionamento linear entre o fechamento do dossel, o que reflete a estrutura da floresta e a sua diversidade de espécies.

A produção de serapilheira no platô é maior que a do baixio (figura 9), sendo esta diferença encontrada na maioria dos estudos. A menor biomassa arbórea, com a presença de árvores de menor porte e a maior quantidade de palmeiras é o fator da diferença na produção nas classes. A presença de palmeiras pode ser um

viés para a produção no baixio, pois as palmas na sua maioria tem folhas grandes, o que dificulta a queda de folhas nos coletores (Chave *et al.*, 2010).

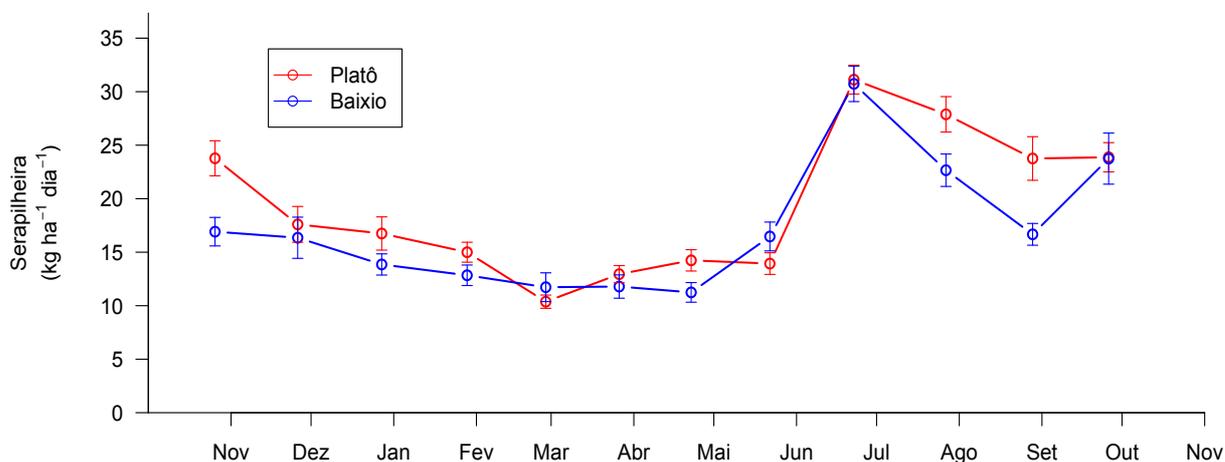


Figura 8: Produção de serapilheira no período de estudo (outubro 2012 a setembro de 2013) nas classes topográficas platô e baixio.

A produção de serapilheira no baixio foi superior a do platô em um mês durante o período monitorado. No início do mês de maio houve um período de 12 dias sem chuvas na área de estudo. Este fato pode ser observado com uma ligeira queda da umidade na área do baixio, o que possivelmente foi a causa para a maior queda de serapilheira neste ambiente. No mês seguinte, novamente um período de 14 dias sem chuvas ocasionou um queda na umidade do solo e um pico na produção de serapilheira nas duas classes topográficas, sendo este pico levado em grande parte pela produção de folhas.

A queda da serapilheira é maior no período seco (Vitousek e Sanford, 1986; Luizão e Schubart, 1987; Luizão, 1989, Martius *et al.*, 2004). A alta produção de serapilheira no período seco pode estar relacionada a uma série de fatores climáticos e fisiológicos das árvores. Barbosa e Fearnside (1996) encontraram um padrão de queda da serapilheira no início do período seco, atrelando este pico a combinação de fatores como as altas temperaturas, dia mais longo e com maior insolação e menor quantidade de precipitação acumulada.

A variação e sazonalidade da área foliar foi estudada por Myneni *et al.* (2007), que usaram o índice de área foliar (LAI) e imagens de satélites para 5 anos na floresta amazônica. Identificaram diferentes padrões de cobertura de folhas verdes, onde o ciclo fenológico das árvores está programado com a sazonalidade da radiação solar. Neste caso, a queda das folhas era impulsionada pelo aumento da radiação solar no período seco e não pela escassez das chuvas. Nesta mesma linha, Barbosa e Fearnside (1996) indicam que a radiação solar funciona como fator de estimulação fisiológica da planta, onde se inicia o processo de dispersão de material senil para produção de folhas novas, mais eficientes na fotossíntese e na manutenção de água.

Porém, Van Shaik *et al.*, (1993), relataram que o aumento da radiação solar causa picos de novas folhas e floração, entretanto, isso só acontece quando não há estresse hídrico. Assim, as plantas podem evitar de produzir folhas novas em períodos desfavoráveis (por exemplo, água limitada), ou fazem de forma a coincidir com início de períodos com condições favoráveis. Neste caso, florestas que apresentam período com menores índices de precipitação, dispersão as folhas velhas, evitando a perda de água por evapotranspiração, produzindo assim folhas novas no início da estação chuvosa.

5.2.1 Produção de serapilheira por partes

A produção de serapilheira por partes apresentou um comportamento similar à produção total. A produção de folhas e a miscelânea tiveram picos no período seco, onde ambas tiveram o dobro da produção no mês de junho em relação ao mês de maio, mantendo-se alta até o mês de setembro. A figura 10 demonstra o padrão de produção de cada categoria em relação ao período de coletas.

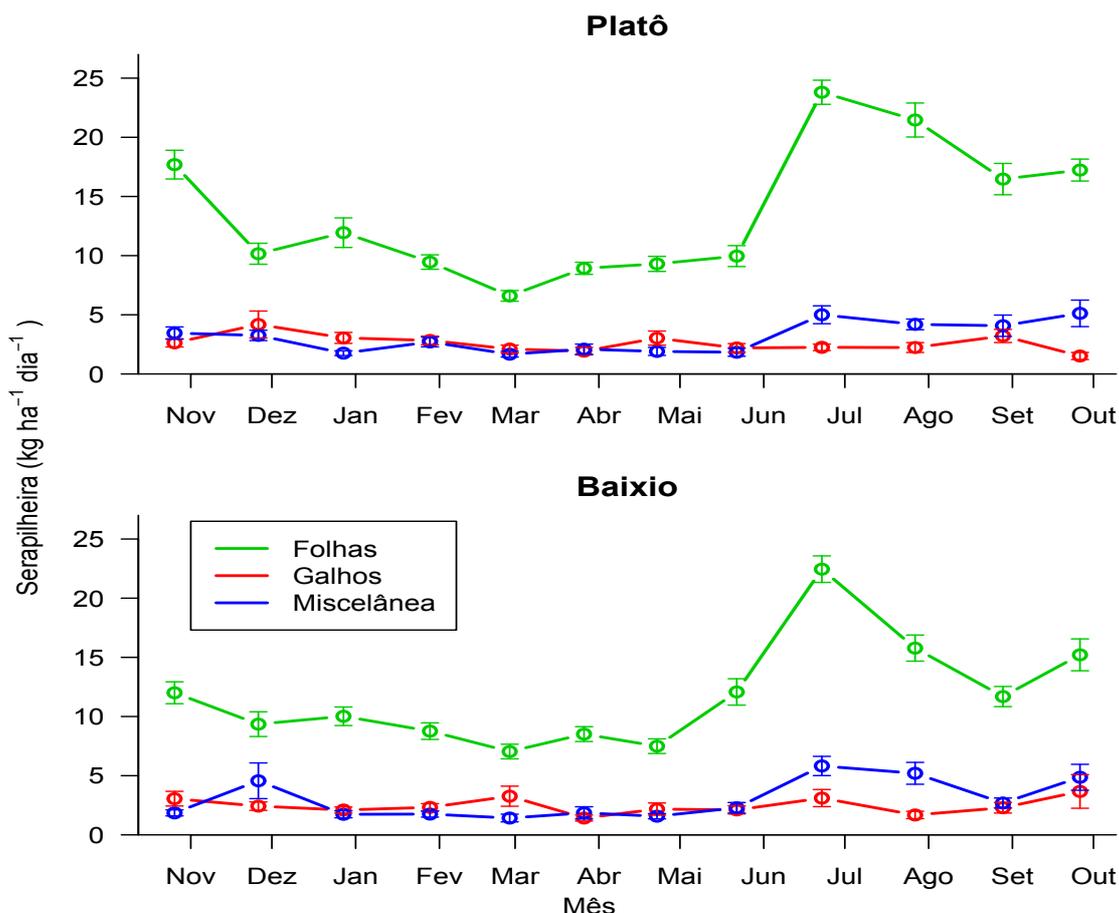


Figura 9: Produção de serapilheira por dia nas diferentes partes divididas (folhas, galhos e miscelânea) nas diferentes classes topográficas (platô e baixo).

As folhas ganham a atenção na produção de serapilheira, chegando a $4,97 \pm 0,21 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ no platô e $4,3 \pm 0,23 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ no baixo, sendo estas responsáveis por 69% e 68%, respectivamente, de toda a serapilheira produzida nas áreas específicas. Esses resultados se assemelham a maioria dos estudos com serapilheira na região amazônica. A produção de folhas foi diferente estatisticamente ($n=120$, $p=0,001$) entre o platô e o baixo. A produção no tempo apresentou diferença estatística significativa e foi realizado um pós teste de Tukey para múltiplas comparações, neste caso para verificar em que período essa produção teve diferença. Assim, tanto para platô quanto para o baixo na sequência de coleta os meses de junho – julho e agosto – setembro foram diferentes ao nível de significância de 1%.

O pico na produção de folhas no início do declínio da precipitação para o período pode indicar a necessidade das árvores dispersarem partes de suas folhas

e material senil como forma de conservação de água. A alta incidência solar faz as temperaturas do ar e das folhas aumentarem substancialmente, onde a fotossíntese sofre queda de até 30% nas folhas (Tribuzy, 2005). Com a liberação de parte das folhas, as árvores conseguem manter o metabolismo baixo, apenas para as funções fisiológicas básicas (Vaz, 2011). Assim, dispersar folhas velhas é importante para que venham folhas novas que são mais eficientes na fotossíntese e no controle da perda de água por transpiração (Van Shaik *et al.*, 1993).

Em estudos semelhantes na Amazônia central, os valores encontrados para a produção de folhas foram parecidos com os encontrados nesse estudo, variando entre 60% a 75% do total da serapilheira em folhas, sendo as outras partes ficando de 40% a 25% do peso seco da serapilheira. Martius *et al.* (2004), encontraram as folhas com 67% a 82% da serapilheira total em suas áreas de estudo; Luizão (1989) obteve valores de peso seco para folhas muito parecido com os deste estudo, chegando na média de 3 anos a $5,4 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ para o platô e de $4,69 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ para o baixio no período estudado. Klinge e Rodrigues (1968) obtiveram valores semelhantes, sendo as folhas 75% de toda a serapilheira e chegando ao total de $5,5 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ de peso seco. Fora da região de Manaus, os valores encontrados para a produção de serapilheira em partes são próximos aos da Amazônia central. Barbosa e Fearnside (1996) em estudo na região de Mucajaí em Roraima obtiveram $5,57 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ para a produção de folhas, $2,43 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ para galhos e apenas $0,89 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ para material reprodutivo. Na floresta de Caxiuanã no Pará, segundo Silva *et al.* (2009), a produção de partes da serapilheira seguiu o mesmo ritmo, com 62% para folhas, 18% para galhos e 20% para as partes reprodutivas.

A produção de miscelânea (partes reprodutivas e outros) teve o segundo montante em relação a produção total de serapilheira, sendo de $1,15 \pm 0,15 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ (16%) e $1,05 \pm 0,16 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ (16,5%) respectivamente no platô e baixio. A produção de miscelânea entre o platô e o baixio foi analisada com uma ANOVA fatorial de medidas repetidas onde não apresentaram diferenças significativas entre a sua produção ($p=0,746$). Porém, entre as coletas (tempo) a ANOVA detectou diferença significativa (G-G $p=0,000$), sendo que apresentou para a produção dos meses de junho – julho diferença menor que 1%. Na literatura encontram-se valores semelhantes para o composto de partes reprodutivas (flores e frutos) e

resíduo fino de difícil identificação. Luizão (1989) verificou que este material significava 15% da produção no platô e quase 20% da produção total de serapilheira no baixo, sendo o peso seco $1,21 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e $1,53 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ de para platô e baixo.

O acréscimo de partes reprodutivas nesse período corrobora com estudos na Amazônia central relacionados a fenologia das espécies. Entre esses, inúmeros estudos indicam que no período seco começa eventos de reprodução para a região. Este fato retorna a premissa básica de sobrevivência, onde todos os organismos parecem ter um objetivo claro e em comum, que é deixar o maior número de descendentes viáveis (Vaz, 2011). A floração coincide com picos de insolação como as folhas novas, assim o surgimento de ambos podem estar intimamente relacionados (Van Shaik *et al.*, 1993; Wright, 1996). Este indício é parte importante das adaptações das árvores da Amazônia em relação as condições que a circunda, onde a quantidade de água é menor, a fotossíntese por determinado períodos é dificultada pelo aumento da temperatura, tirando o foco da energia do crescimento das árvores para a manutenção do indivíduo e perpetuação da espécie.

Em estudo de fenologia com diversas espécies no entorno da torre na estação experimental silvicultura tropical, ZF2, Saraiva *et al.*, (2010) indicam que o período de floração é o de menor intensidade de chuva, sendo de julho a dezembro. O mesmo padrão foi encontrado por Alencar *et al.*, (1979) e Araújo (1970) na Amazônia Central, indicando o início de eventos reprodutivos com a floração, tem início com o pico no período mais seco do ano para a maioria das espécies. Em estudo de fenologia por 20 anos na reserva Adolfo Ducke, correlacionando eventos fenológicos com as variáveis climáticas, Alencar (1994) identificou a maior parte dos eventos de floração no período mais seco do ano (julho a novembro), onde as variáveis insolação, evaporação e temperatura média com índices mais altos se correlacionaram com a plena floração e folhas novas. A frutificação na estação chuvosa (dezembro a abril), onde os fatores importantes são a precipitação, umidade relativa relacionados com os frutos maduros.

A produção de galhos durante o ano foi de $1,07 \pm 0,14 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e $0,97 \pm 0,12 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ para o platô e o baixo, respectivamente sendo este a menor parte representando apenas 15% e 15,5% do total. Os galhos não tiveram diferenças

estatísticas entre a topografia (topografia $p= 0,643$) e no tempo (G-G $p=0,313$). Neste caso, a produção dessa parte teve um comportamento regular durante o ano, não demonstrando nenhum grande pico de produção. Os valores encontrados neste estudo ficaram um pouco abaixo do encontrado por Luizão (1989), onde a produção foi de $1,56 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e $1,17 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$.

5.2.2 Razão C:N da serapilheira

Os teores de carbono e nitrogênio e conseqüentemente a razão C:N do material da serapilheira estão na tabela 4. A composição do material com a porcentagem de cada parte na produção de serapilheira gerou uma média ponderada e a estimativa de carbono na serapilheira.

Tabela 4: Conteúdo médio de carbono e nitrogênio nas diferentes partes da serapilheira e média ponderada para o total da serapilheira no platô e baixo.

	Partes	C (%)	N (%)	C:N	Contribuição %	Média ponderada (%)
Platô	Folhas	46,54	1,48	31,5	0,6920	32,2
	Galhos	46,3	1,35	34,8	0,1490	6,9
	Miscelânea	47	1,65	28,5	0,1590	7,5
					Total % C	46,6 ± 2,1
Baixo	Folhas	46,49	1,15	40,5	0,6830	31,8
	Galhos	45,7	1,08	42,7	0,1534	7
	Miscelânea	47,16	1,26	37,8	0,1636	7,7
					Total % C	46,5 ± 1,6

C – Carbono; N- Nitrogênio.

A quantidade de carbono ponderada para a serapilheira ficou em 46,6% para o platô e 46,5% para o baixo. Neste estudo, a estimativa média de carbono para toda a serapilheira é de $3,35 \pm 0,150 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e $2,94 \pm 0,105 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ para o platô e o baixo na sequência. Na ANOVA (tabela 5) a quantidade de carbono não apresentou variação entre platô em baixo para as partes ($n=48$; $p=0,90$). No entanto, uma análise de variância para o nitrogênio apresentou diferenças entre o platô e o baixo ($n=48$; $p=0,000$), sendo as quantidades de nitrogênio superiores no platô (tabela 4). As diferenças entre a quantidade de nitrogênio entre as áreas

reflete na razão C:N, que é maior nas áreas de baixo em relação a serapilheira no platô (n=48; p=0,000).

Tabela 5: Análise de variância para a porcentagem de carbono e nitrogênio nas diferentes topografias platô e baixo.

Fonte de variação		G.L	SQ	QM	F	p
Carbono	Topografia	1	0,031	0,031	0,013	0,91
	Erro	46	110,5	2,402		
Nitrogênio	Topografia	1	1,156	1,156	27,67	0,000
	Erro	46	1,922	0,042		
C:N	Topografia	1	972,4	972,4	27,6	0,000
	Erro	46	1617,9	35,2		

O aporte de carbono na serapilheira neste estudo é semelhante aos encontrados por Chambers *et al.* (2001) 3,3 t.ha⁻¹.ano⁻¹ e Luizão *et al.* (2004) com 4,0 t.ha⁻¹.ano⁻¹ para platô e 3,1 t.ha⁻¹.ano⁻¹ para o baixo, ambos na Amazônia central. A quantidade de carbono e nitrogênio na serapilheira fina, nas diferentes partes e nas posições topográficas foi quantificada por Luizão *et al.* (2004), onde a concentração de carbono nas folhas no platô foi de 45% e de 47% para as amostras no baixo. As taxas de nitrogênio também tiveram padrão diferentes, onde na área do baixo essa concentração nas folhas foi de 1,09% e de 1,44%. De forma resumida, a razão C:N para as áreas foi de 31,8 e 43,3 (C/N) para áreas de platô e baixo, respectivamente. Luizão (1989) encontrou o valor total de carbono da serapilheira em torno de 47% do total do peso seco. Barbosa e Fearnside (1996) encontraram a concentração média do carbono na serapilheira em 45,6%, sendo nas folhas os valores de 50,38%, nos galhos 44,86% e partes reprodutivas com 48,06% de carbono na composição. Os valores de nitrogênio nas folhas foi de 1,592% e o valor ponderado de nitrogênio para a serapilheira foi 1,506% de toda massa seca.

As áreas de baixo apresentaram entre os estudos discutidos valores menores em relação a nitrogênio na vegetação e maiores de carbono. Assim, áreas de baixo com razão C:N maior terá taxas de decomposição mais lenta, consequentemente a mineralização e ciclagem de nutrientes nessas áreas é desfavorecida. Esses resultados sugerem que de fato, áreas de baixo tem

menores teores de nitrogênio na vegetação comparado com áreas de platô, sendo este reflexo dos conteúdos encontrados nos solos.

5.3 Correlação entre serapilheira total e por partes com precipitação e potencial hídrico dos solos

5.3.1 Serapilheira e precipitação

A boa correlação encontrada entre a produção total de serapilheira vem reforçar a discussão entre a sazonalidade da deposição do material orgânico das árvores (tabela 6). A correlação negativa indica exatamente que os maiores valores de produção de serapilheira estão bem correlacionados com os menores valores de precipitação no período estudado. Os resultados seguem bons para a produção de folhas e de miscelânea, onde correlações acima de 65% indicam que a chuva também teve essa forte influência nesses dados tanto no platô quanto no baixio.

Tabela 6: Índice de correlação de Pearson (r) entre a produção de serapilheira total e por partes, precipitação no platô e baixio.

	Partes	Precipitação(r)	Probabilidade
Platô	Folhas	-0,80	0,002
	Galhos	0,10	0,74
	Miscelânea	-0,86	0,000
	Total serapilheira	-0,83	0,001
Baixio	Folhas	-0,65	0,024
	Galhos	-0,32	0,32
	Miscelânea	-0,75	0,005
	Total serapilheira	-0,70	0,011

De forma separada, chama a atenção as correlações da produção de miscelânea e a precipitação. Essas, são as melhores correlações encontradas no platô e no baixio também. Como amplamente discutido anteriormente, este é mais um indicio da sincronia entre a falta de chuva e a fenologia das árvores. No caso específico dos galhos, não houveram boas correlações corroborando com os

resultados obtidos na ANOVA, onde o fator tempo não apresentou diferenças durante o período.

Entretanto, os resultados do platô são, em praticamente todas as relações maiores que as do baixio. Considerando o resultado da correlação melhor entre umidade dos solos e precipitação para o baixio em relação ao platô (Item 5.1), seguindo essa mesma premissa, os melhores índices de correlação deveriam ser no baixio, pois a falta de precipitação afeta mais rapidamente solos do baixio com textura arenosa. Assim, como citado anteriormente, a falta ou presença de umidade pode não explicar todo o mecanismo de queda de serapilheira, sendo o aumento da incidência solar no período de seca um fator importante para novos eventos fenológico.

A correlação entre as variáveis climáticas, em específico a precipitação já foi avaliada por outros autores da mesma forma. Martius *et al.*, (2004) encontraram uma boa correlação ($r=-0,60$) entre a serapilheira e precipitação, um pouco abaixo deste estudo. Luizão e Schubart (1987) não encontraram correlação significativa entre a queda da serapilheira e a precipitação, mas verificou o mesmo padrão de queda da serapilheira, com pico no período seco e diminuição no período chuvoso. Luizão (1989) encontrou uma relação fraca com a produção total de serapilheira ($r=-0,34$) e ainda mais fraca com as folhas ($r= - 0,28$).

De forma geral, a maioria dos trabalhos pertinentes na Amazônia brasileira com serapilheira encontram o mesmo padrão de produção influenciado pelas chuvas. O fato é que a forma como as chuvas se distribuem pode diferenciar e dificultar a relação matemática que dita o relacionamento de duas variáveis contínuas como a correlação de Pearson. Como citado por Luizão (1989), chuvas intensas acompanhadas de vento e ou períodos de mais de 5 dias sem precipitação pode ocasionar um pico e ou aumento na produção de serapilheira.

O experimento que simula secas na floresta de Tapajós (ESECAFLOR) monitorou a produção de serapilheira e outras variáveis da floresta. Sendo que, contrariando as expectativas, o tratamento com interceptação de precipitação ocasionariam menor produção de serapilheira, onde a produção controle (sem exclusão de água) ficou em 34% maior do que a área com intervenção da chuva. O resultado pode ser pela falta de umidade no solo que inibiu a formação de folhas

novas, conseqüentemente o material senil dispersado foi menor (Nepstad *et al.*, 2002).

5.3.2 Serapilheira e potencial hídrico

O potencial hídrico dos solos foi mensurado nas duas classes topográficas em estudo. A produção total de serapilheira total e por partes não apresentaram nenhuma ou quase nula correlação com o potencial hídrico dos solos nas áreas de estudo. Apesar, de visualmente observar-se diferenças entre os dados médios para a áreas de platô e baixio, a correlação que mede a estreiteza desta relação não foi significativa em nenhum dos casos.

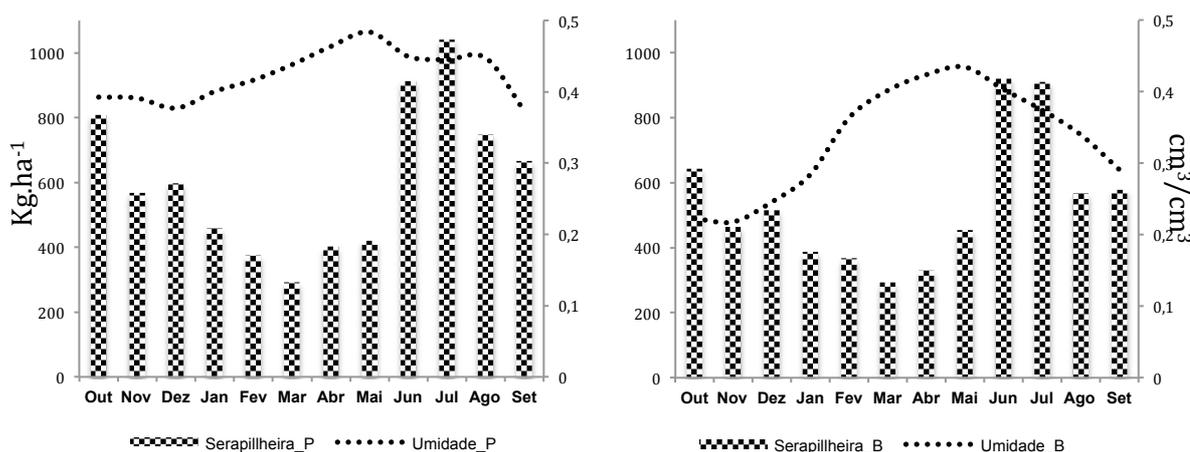


Figura 10: Potencial hídrico dos solos em relação a produção de serapilheira mensal em áreas de platô (esquerda) e baixio (direita) respectivamente.

Este resultado não é o único encontrado nos estudos de serapilheira na região amazônica. Esta falta de correlação foi encontrada por Silva *et al.*, (2009), no experimento de seca na floresta (ESECAFLOR) onde a correlação entre a produção total e a umidade do solos foi de $r = 0,002$. O mesmo trabalho encontrou correlação significativa para a produção de partes reprodutivas, com uma correlação negativa $r = -0,65$ e significativa a 5%.

5.4 Incremento em diâmetro

5.4.1 Caracterização dos indivíduos arbóreos monitorados

Das 250 árvores monitoradas na área de estudo, pertencentes a 135 espécies de 72 gêneros e 33 famílias diferentes. As espécies com maior ocorrência no monitoramento são a muirapiranga (*Eperua glabriflora*), o cardeiro (*Scleronema micranthum*) e a abiurana bacuri (*Ecclinusa guianensis*) com 25, 19 e 16 indivíduos monitorados, respectivamente. As famílias com maior representatividade foram Sapotaceae (17,3%), Caesalpiniaceae (11,8%), Bombacaceae (7,8%) e Lecythidaceae (7,8%). Os diâmetros medidos a altura do peito das árvores monitoradas variam de 10,6 centímetros de uma falsa rainha (*Helianthostylis sprucei*) até 105,6 centímetros de DAP de uma castanha de macaco (*Cariniana micrantha*). A distribuição diamétrica das árvores monitoradas segue a tendência das florestas naturais, com um menor número de indivíduos nas maiores classes de diâmetro (figura 12).

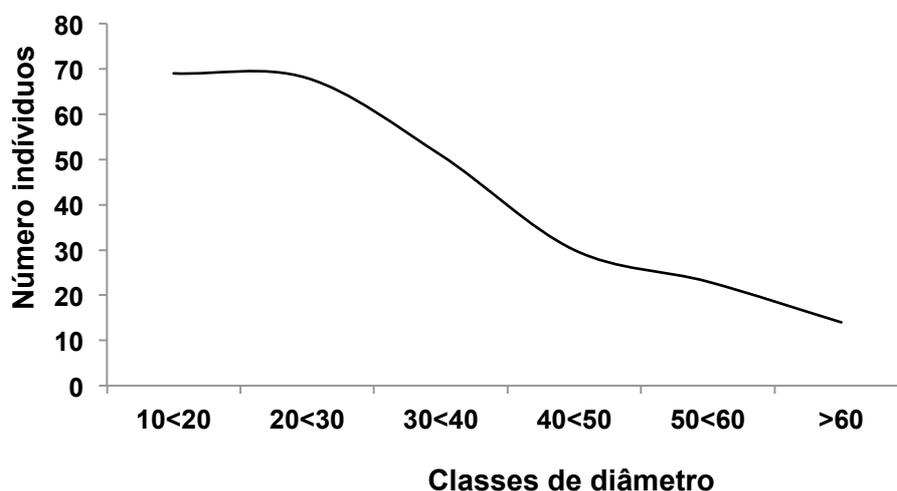


Figura 11: Distribuição das árvores amostradas por classes de diâmetro monitoradas com bandas dendrométricas.

5.4.2 Incremento diamétrico

O incremento diamétrico médio para todas as 250 árvores ficou em $1,43 \pm 0,18 \text{ mm.ano}^{-1}$ (IC =95%). Quando separado pelas classes topográficas, no platô o incremento médio foi de $1,46 \pm 0,18 \text{ mm.ano}^{-1}$ (IC =95%) e para o baixio o incremento diamétrico é $1,35 \pm 0,26 \text{ mm.ano}^{-1}$ (IC =95%). A ANOVA de medidas repetidas (tabela 7) não encontrou diferenças entre os incrementos nas classes topográficas platô e baixio ($n=250$, $p= 0,23$), mas encontrou diferenças nos incrementos no durante o tempo ($n=250$, $p= 0,000$). Não houve interação entre o tempo e a topografia($p= 0,439$).

Tabela 7: Análise de Variância fatorial com medidas repetidas para o incremento em diâmetro entre as topografias, classes de diâmetro (DAP) e no tempo.

Fonte de variação	G,L	SQ	QM	F	p	G-G	H-F
Topografia	1	2,515	2,515	1,449	0,230		
Classe DAP	2	8,004	4,002	2,306	0,102		
Topografia*classe DAP	2	2,936	1,468	0,846	0,430		
Erro	244	432,18	1,736				
Tempo	11	114,805	10,437	6,914	0,000	0,000	0,000
Tempo*topografia	11	14,782	1,344	0,890	0,549	0,439	0,441
Tempo* classe DAP	22	47,099	2,141	1,418	0,093	0,210	0,208
Tempo*topo*classe DAP	22	25,731	1,170	0,775	0,760	0,580	0,584
Erro	2684	4134,5	1,510				

G-G = Greenhouse-Geisser, H-F = Huynh-Feldt, índices de correção para experimentos com medidas repetidas.

Apesar do estudo monitorar o incremento diamétrico por um ano, os valores encontrados são semelhantes a outros estudos com bandas dendrométricas na região. Entretanto, ao contrário dos dados deste estudo, algumas estimativas apresentam um alto intervalo de confiança, que confere alta incerteza aos incrementos. Os resultados de outros autores estão relacionados na tabela 8.

Tabela 8: Incremento diamétrico com bandas dendrométricas na Amazônia brasileira.

Autor	LOCAL	Incremento (mm . ano⁻¹)	Número de indivíduos
Este estudo	Manaus	1,43± 0,18	250
Silva 2001	Manaus	1,64 ± 0,21	272
Vieira <i>et al.</i> 2003	Manaus	1,44 ± 0,41*	79
Vieira <i>et al.</i> 2003	Manaus	1,73 ± 0,48*	79
Vieira <i>et al.</i> 2003	Rio Branco – AC	3,9 ± 0,04*	284
Vieira <i>et al.</i> 2003	Santarém – PA	3,1 ± 0,02*	360
Almeida 2008	Caxiuanã – PA	1,10 ± 0,08	400
Almeida 2008	Caxiuanã – PA*	6,82 ± 0,042	400
Dias 2009	Manaus	1,99	400
Higuchi <i>et al.</i> 2011	Manaus	1,5	545

* Calculado com a fórmula $IC = Z \times (DP \div \sqrt{N})$, com $Z=1,96(\alpha = 0,05)$.

** Floresta sobre terra preta antropogênica (TPA) na FLONA de Caxiuanã

Os maiores valores de incremento tenderam a se correlacionar com os maiores índices de precipitação. No período de novembro a maio o incremento acumulado alcançou 75% do total, sendo a precipitação no mesmo período 80% do total da precipitação acumulada no ano de monitoramento (figura 13). Este indício demonstra que o padrão de incremento segue os períodos de maiores precipitações. Nepstad *et al.* (2002) no experimento de exclusão de água na Floresta Nacional de Tapajós encontraram resultados um pouco diferentes mas de forma de análise diferentes, onde as árvores com DAP > 10 cm e menor que 15 metros de altura tiveram um decréscimo de 20% no incremento em relação a testemunha, enquanto as árvores com altura maior 15 metros não tiveram diferença significativa nos seus incrementos. Os autores atribuíram ao fato das árvores menores não terem um sistema radicular tão profundo quanto as árvores mais altas, sendo assim o estresse hídrico no solo se refletiu mais nessa classe de árvores.

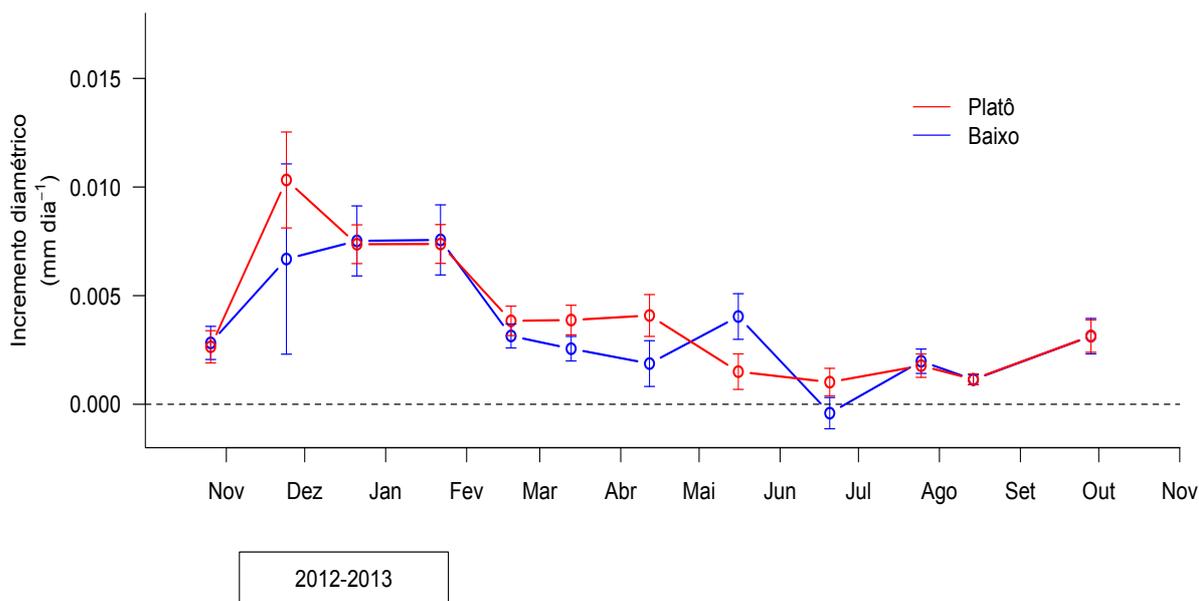


Figura 12: Incremento diamétrico monitorado com as bandas dendrométricas durante o período de um ano nas diferentes classes topográficas.

Quando o solo perde condições de umidade, a fotossíntese gradualmente diminui aumentando a resistência à fixação do CO₂ por causa do fechamento dos estômatos para controlar o déficit hídrico (Silva *et al.*, 2003). Mudanças no diâmetro da árvore em resposta a estado de água na árvore estão intimamente relacionados com as mudanças na disponibilidade de água no solo e também são influenciadas por características de uso da água de árvores (Baker *et al.*, 2002). A atividade cambial reage ao estresse de água no período mais seco, quando as árvores registram baixo ou nenhum incremento em circunferência, situação essa que se reverte com as primeiras precipitações observadas quando aumenta as taxas de incremento (Botosso e Vetter, 1991).

5.4.3 Incremento por classe de diâmetro

Entre as classes de diâmetro, os incrementos obtidos foram na menor classe 10-30 cm de $1,16 \pm 0,24 \text{ mm.ano}^{-1}$, foi de $1,58 \pm 0,29 \text{ mm.ano}^{-1}$ para a classe intermediária de 30-50 centímetros e de $1,44 \pm 0,45 \text{ mm.ano}^{-1}$ (IC=95%) para as árvores com diâmetro >50 cm. Os resultados mostram a grande variação dos

incrementos e das classes de diâmetro em função do tempo. Entretanto, para ambas o padrão segue a mesma linha com os períodos de maior precipitação atrelado aos maiores incrementos (figura 14).

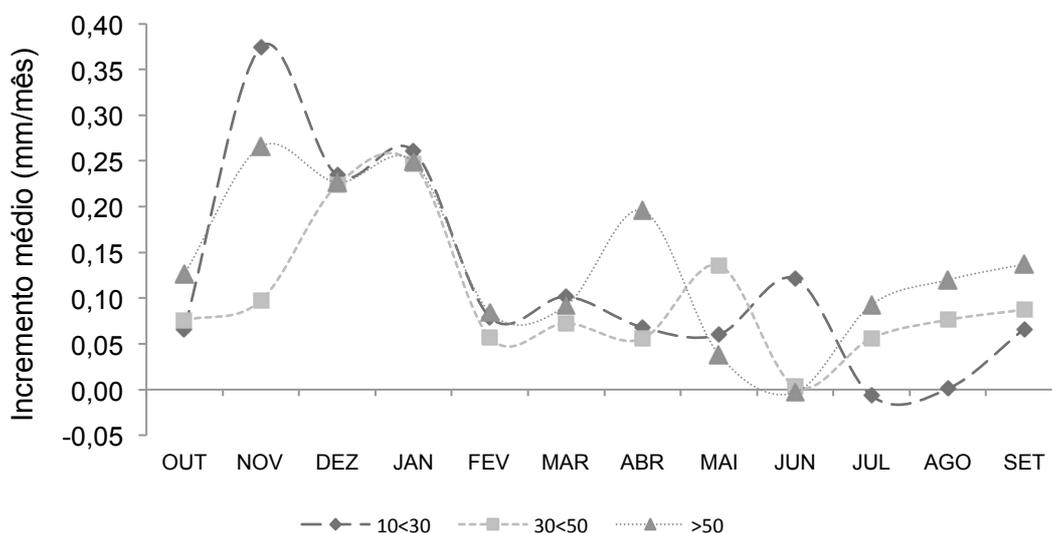


Figura 13: Incremento mensal médio para as árvores subdivididas em classes de diâmetro.

Os resultados sugerem que as árvores com menores diâmetros respondem mais rapidamente ao início das chuvas, porém tem seus incrementos menores na época de menor precipitação. As árvores com posição intermediária tem o maior incremento acumulado para o ano, onde a posição do dossel oferece melhores condições para crescer do que as árvores de menor diâmetro e não ficam tão expostas ao aumento da radiação no período de menor precipitação. As árvores maiores têm o incremento praticamente igual ao da média geral, onde geralmente estão em posição no dossel que recebem as melhores condições de luz para crescer, no entanto no período de menor precipitação sofrem mais com a maior incidência de sol em suas copas, dificultam o crescimento pela exiguidade de água nesse período.

Os resultados diferem um pouco do padrão encontrado por Vieira (2003), onde as árvores com DAP >50 cm tiveram grandes variações, com valores superiores durante o período chuvoso e inferiores no período mais seco. No presente estudo, as árvores com menores diâmetros (10-30) foram as que apresentaram grande variação sazonal. Clark e Clark (1996) encontraram um

padrão de crescimento onde as árvores acima de 30 cm tinham maior incremento que as arvores com DAP < 30 cm. Silva (2001) em estudo na mesma área separando as arvores nas mesmas três classes de diâmetro encontrou diferenças entre as classes de DAP, sendo o padrão com relação entre o aumento do DAP aos maiores incrementos, sendo a classe acima de 50 cm de diâmetro com maiores incrementos acumulado.

As árvores maiores estão geralmente em posições superiores do dossel, sendo assim, estas árvores tem maiores ofertas de luz e conseqüentemente maior taxa fotossintética e maior produção (Hubbell *et al.*, 1999). Entretanto, em períodos com menor precipitação, árvores emergentes não contam com abrigo de árvores vizinhas, sendo então expostas aos ambientes mais quentes e maior evaporação. Nessas condições, as árvores maiores podem estar mais sujeitas as condições climáticas do que árvores menores (Clark e Clark, 1996).

5.4.4 Incremento individual por espécie

O incremento diamétrico individual variou bastante entre os indivíduos, sendo um cardeiro (*Scleronema micranthum*), com incremento de 9,16 mm.ano⁻¹ a árvore com maior incremento e uma rosada brava (*Micropholis splendens*) com -0,47 mm como o menor incremento para o período. O cardeiro também foi à espécie que tem repetições com maior incremento médio, obtendo 2,44 mm.ano⁻¹ com seus 19 indivíduos, fora do intervalo de confiança do incremento médio para todas as árvores monitoradas (1,43 ± 0,18 mm.ano⁻¹). Na análise somente de espécies com número de repetição (n ≥ 5), foi calculado o incremento médio para a espécie no período e o coeficiente de variação, sendo os dados apresentados na tabela 9.

Tabela 9: Espécies com repetição maior que 5 indivíduos e seu incremento seguido do coeficiente de variação e a média dos diâmetros.

Espécies	Nº indivíduos	Incremento(\bar{x}) (mm . ano ⁻¹)	CV(%)	Média DAP (cm)
<i>Eperua glabriflora</i>	25	0,95 ± 0,43	117,6	28,1
<i>Scleronema micranthum</i>	19	2,55 ± 0,79	86,3	36,7
<i>Ecclinusa guianensis</i>	16	0,68 ± 0,38	118,0	26,1
<i>Licaria cannella</i>	6	1,26 ± 1,2	120,7	39,7
<i>Eschweilera spp.</i>	5	1,74 ± 0,72	73,4	23,9
<i>Jacaranda copaia</i>	5	1,22 ± 0,93	127,5	27,5
<i>Swartzia panacoco</i>	5	1,26 ± 1,5	135,0	26,6

O coeficiente de variação foi calculado para verificar o quanto os dados de incremento por espécie variam intrinsecamente. Na realidade, espécies com coeficiente de variação maior, podem sinalizar que determinada espécie responda diferente de acordo com posição ou associação botânica em que se encontra. Dessa forma, uma espécie que tem um coeficiente de variação alto pode responder a alguns tratos silviculturais, assim evidenciando que em uma situação mais apropriada ela possa desenvolver-se melhor. Porém, a certeza de resposta não é uma garantia.

Os coeficientes de variação podem ser considerados altos para algumas espécies, com coeficientes acima de 100%. Este resultado pode indicar que estas espécies se comportam de forma diferente em relação ao incremento, mostrando alguma elasticidade, podendo dar uma resposta positiva em função de algum trato silvicultural. Em estudo realizado na mesma área, Silva (2001) encontrou os incrementos e coeficientes de variação da *Eperua glabriflora* (0,9 mm, CV=123), *Scleronema micranthum* (2,13 mm, CV= 89%), *Ecclinusa guianensis* (1,33 mm, CV=125%) e *Eschweilera coriacea* (2,39 mm, CV=78%) semelhantes aos encontrados nesse mesmo estudo. Este fato demonstra, que passado 13 anos do primeiro trabalho com bandas, o comportamento dessas espécies é semelhante, indicando que, de forma geral esse indício demonstra o comportamento em incremento dessas espécies na área de estudo.

Quando o incremento das mesmas espécies é subdividido em platô e baixo, a diferença entre as topografias variam de espécie para espécie. De forma a melhorar a observação dos dados, nessa comparação, a espécie *Eschweilera coriacea* que só tinha representação de 5 indivíduos foi agrupada com outros

espécies do seu gênero para um número mínimo de indivíduos por topografia igual a 5 na tabela 10.

Tabela 10: Incremento em diâmetro nas espécies com repetição ($n \geq 5$) divididas entre as classes topográficas platô e baixo.

Espécies	Nº árvores	Incremento (\bar{x}) (mm.ano ⁻¹)	Incremento			
			Platô		Baixo	
			Incremento (mm.ano ⁻¹)	DAP (\bar{x}) (cm)	Incremento (mm.ano ⁻¹)	DAP (\bar{x}) (cm)
<i>E. glabriflora</i>	25	0,95 ± 0,43	1,33 ± 0,60	27	0,91 ± 0,52	26
<i>S. micranthum</i>	19	2,55 ± 0,79	2,42 ± 1,50	36	2,62 ± 1,57	37
<i>E. guianensis</i>	16	0,68 ± 0,38	0,94 ± 0,81	36	0,52 ± 0,38	23
<i>Eschweilera spp.</i>	14	1,74 ± 0,72	1,73 ± 0,94	36	1,80 ± 1,14	24

Às espécies do gênero *Eschweilera* e para o cardeiro (*Scleronema micranthum*) o incremento foi levemente superior no baixo, sendo que no cardeiro, a média dos diâmetros ficou bem próximo nas duas classes topográficas. No caso do gênero *Eschweilera*, o diâmetro médio bem superior no platô não fez desta classe a que mais cresceu. O número de repetições para cada espécie sendo desigual para topografia (platô e baixo) pode ser uma dificuldade na análise das áreas separadamente, pois não há nem uma homogeneização do número de indivíduos. As diferenças entre os diâmetros médios podem ser outro viés, pois como verificado na análise por classe diâmetro, apesar de não apresentar diferenças estatísticas, as classes maiores apresentaram melhores incrementos.

5.5 Correlação entre o incremento, precipitação e o potencial hídrico dos solos

As correlações entre a precipitação e o potencial hídrico com as variáveis de estudo foram feitas com base nos dados mensais. Para as chuvas foram usados os dados de precipitação acumulada entre o período de coletas. Já para a correlação com a potencial hídrico dos solos, foi feita uma média para a umidade medida no solos entre o período de coleta. O incremento foi correlacionado por meio de sua média mensal, considerando assim a correlação com ($n=12$) e foi usado a probabilidade de Bonferroni para inferir sobre a força da correlação.

5.5.1 Incremento e precipitação

O padrão de incremento já é amplamente estudado por uma série de pesquisas citadas anteriormente. O crescimento da floresta tem uma relação muito estreita com as chuvas na região, sendo que esse padrão segue os índices de maior precipitação para crescer e no período com menores índices o incremento diminui e ou até cessa para determinadas espécies. A figura 15 demonstra o comportamento da chuva e o incremento da floresta durante os período de monitoramento deste trabalho.

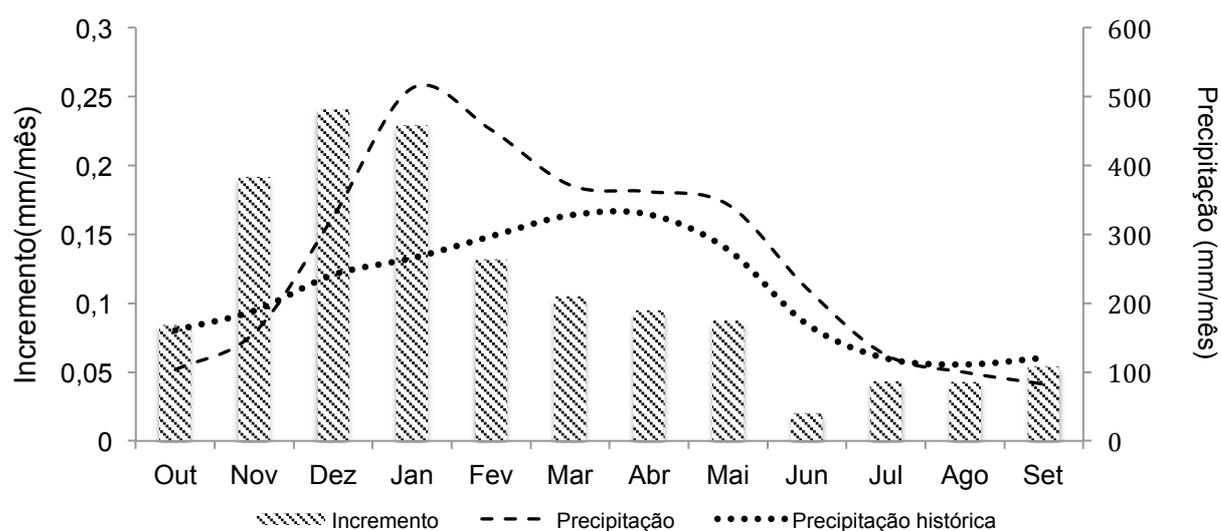


Figura 14: Incremento médio da floresta, precipitação acumulada para o período de outubro de 2012 a setembro de 2013 e a precipitação histórica da EMBRAPA 1970-2010.

A correlação entre a precipitação e o incremento médio de todas as árvores para este período foi de ($r= 0,55$, $p=0,063$). Quando os incrementos foram diferenciados em platô e baixo, a correlação para o incremento do platô foi de ($r=0,54$, $p=0,07$) e para o baixo ($r=0,51$, $p=0,09$). Novamente, os resultados para o

baixio são inferiores aos do platô, de forma que os fatores intrínsecos desta classe topográfica influenciam mais fortemente a reduzir a relação entre incremento e precipitação.

O mesmo índice foi aplicado para dados de incremento e precipitação em estudos anteriores como o de Silva (2001), onde o coeficiente de correlação de Pearson foi de $r= 0,398$ para o incremento de todas as árvores. Vieira (2003) encontrou índices semelhantes com os deste estudo, onde a correlação foi de ($r=0,59$) para incremento e precipitação. Higuchi *et al.*, (2011) trabalhando com dados de 5 anos de incremento mensal com bandas dendrométricas encontraram uma relação muito melhor entre a o incremento e a precipitação acumulada, sendo está de ($r= 0,73$). Miranda (2002) trabalhando com dendrômetros automáticos não encontrou relação significativa com o incremento e a precipitação.

Na análise de correlação, a precipitação da EMBRAPA foi usada para analisar o incremento em relação a média histórica na região. A correlação entre a precipitação histórica e o incremento não demonstraram boas relações lineares com este período de estudo, sendo os coeficientes de correlação de Pearson de ($r= 0,44$, $p= 0,14$) para o total, ($r=0,47$ $p = 0,12$) para o platô e para o baixio ($r=0,35$, $p = 0,26$). Esses resultados são diferentes dos encontrados por Higuchi *et al.*, (2011) e Silva *et al.*, (2003), onde a correlação entre a precipitação histórica aumentou substancialmente o coeficiente de correlação de Pearson.

Apesar do padrão sempre indicar a relação com a chuvas, essa correlação nem sempre consegue ser descrita pelo uso da ferramenta estatística como a correlação de Pearson, pois a resposta da floresta é variada em função da precipitação acumulada, mas também da forma como as chuvas se distribuem durante o período. No caso específico deste estudo, volumes de chuva muito acima da média histórica como no caso dos meses de janeiro e fevereiro são ocasionados por chuvas muito intensas e com grande volume em pouco tempo. Este resultado não ficou evidente no incremento, onde a resposta das árvores não consegue seguir esse padrão na mesma intensidade.

Em seu monitoramento, Vieira (2003) no mês de abril de 2000 teve precipitação acumulada de 730 mm aproximadamente, onde nesse mês ao contrário que se esperava houve um decréscimo no incremento médio das árvores. Tribuzy (1998) afirma tanto o excesso de água, quanto a falta, podem dificultar a

fotossíntese e o crescimento das árvores. Tal resultado pode indicar que apesar do padrão de incremento seguir o padrão das chuvas, volumes altos de precipitação podem dificultar o incremento diamétrico.

5.5.2 Incremento e potencial hídrico

O incremento apresentou uma relação muito fraca com os dados de potencial hídrico dos solos. Em estudo com raízes finas, Noguchi *et al.* (com dados não publicados) verificaram que nesta região a maior parte das raízes responsáveis pela captação de água e nutrientes encontram-se entre 0-25 cm de profundidade. Estudando a captação de água das raízes com o uso de isótopos estáveis, mostram que as raízes obtém água de diferentes profundidades no período de menor precipitação e não somente das áreas mais superficiais (Goldstein et al. 1996). Talvez, o fato de analisar apenas os sensores mais superficiais pode ser um fator importante para que não se encontre correlação entre o incremento e o potencial hídrico dos solos, pois negligencia o fato de raízes em maiores profundidades e a existência de umidade nessas camadas.

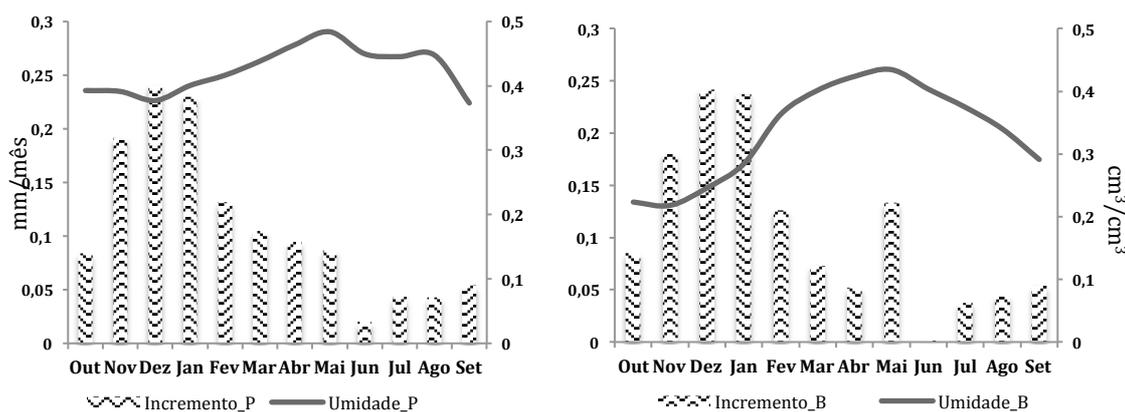


Figura 15: Incremento mensal e potencial hídrico dos solos nas diferentes classes topográficas platô e baixo, respectivamente.

As áreas onde o solo é predominantemente argiloso como as áreas de platô, a umidade dos solos se mantém mais estável durante todo o ano. Esse fato deve-se a característica argilosa desses solos, com microporos que conseguem manter a umidade por mais tempo. A relação com o incremento que pode ser observada na figura 16, no mês de junho há a diminuição das chuvas e conseqüentemente a diminuição da umidade dos solos, sendo que este mês marca a entrada do período com menor precipitação do ano e conseqüentemente o menor incremento mensal para o período.

Na áreas de solo predominantemente arenoso como as áreas de baixio, camada mais superficial do solo apresenta maiores diferenças entre o conteúdo de umidade durante o ano. Os meses onde ocorreu precipitação próximas e ou menores que 150 mm mensais (julho a outubro) a umidade média nos solos arenosos chegou a ficar na metade do que nos meses que tiveram maior precipitação (janeiro a abril). Tal dado demonstra que os solos arenosos tem menor capacidade de retenção de umidade, assim quando há diminuição das chuvas, esses solos perdem em até 50% os teores de umidade. A relação com o incremento também não é tão clara, mas o que fica claro é que a partir do momento que as chuvas diminuem (junho), os incrementos nas áreas de baixio ficam muito baixos, pois o potencial hídrico desses solos cai mês a mês só retomando a índices de umidade maiores com o início do período chuvoso, o que reflete diretamente com o aumento do incremento.

5.6 Serapilheira e Incremento

A correlação entre incremento e a serapilheira é uma correlação que pode ser considerada boa, ($r=0,60$ $p=0,06$), principalmente devido ao fato da grande complexidade dessas duas variáveis dentro da floresta tropical com a maior biodiversidade do mundo. Quando a correlação é feita em função dos valores por topografia, a correlação para o platô ($r= -0,51$, $p = 0,087$) e para o baixio ($r=-0,57$ $p=0,055$). O melhor índice encontrado no baixio indica a mais estreita relação entre o incremento e produção de serapilheira, sendo este ambiente ainda mais dependente da reciclagem de nutrientes.

As correlações demonstram a adaptação das árvores as condições de solo e principalmente do clima. De forma a contribuir com essa discussão, ambas as variáveis são bem correlacionadas com a precipitação, demonstrando a estreita relação entre essas adaptações e as condições temporais de chuva (figura 17). No caso específico deste estudo na Amazônia central, a queda de folhas tem um pico quando há menos chuva no ambiente e também há indícios fortes que eventos reprodutivos se iniciam nesse mesmo período. Assim, as árvores diminuem o seu ritmo de incremento diamétrico para possibilitar o surgimento de novas folhas e um gasto energético em reprodução das espécies.

Em florestas tropicais, com predominância de solos pobres, especialmente em fósforo, como os da Amazônia central, as florestas como um todo tendem a investir menos na construção de órgãos reprodutivos, sugerindo que alocação em folhas é a prioridade (Chave *et al.*, 2010). Quando o ambiente está mais seco, a estratégia de abrir mão do crescimento ou da reprodução em favor da conservação de água é vantajosa, pois caso contrário a planta morreria por falta de água (Vaz, 2011).

Quando a precipitação diminui, há menores teores de umidade no sistema, menor presença de nuvens e conseqüentemente maior incidência da radiação solar. Outro fato importante, que o aumento da radiação solar atrelado a menores índices pluviométricos e menor presença de nuvens faz com que a temperatura do ar aumente substancialmente. Assim, quando a temperatura é muito alta, as árvores fecham seus estômatos para evitar perder mais água. Isso porque o mecanismo de translocação de água não consegue repor a mesma quantidade de água perdida na folha dos solos, sendo a fotossíntese ineficiente nesse momento e aumentando o estresse hídrico da árvore (Taiz e Zeiger, 2003). Nessas condições, a formação de carboidratos e novos tecidos é dificultada, sendo os menores incrementos de tronco no período de menor precipitação.

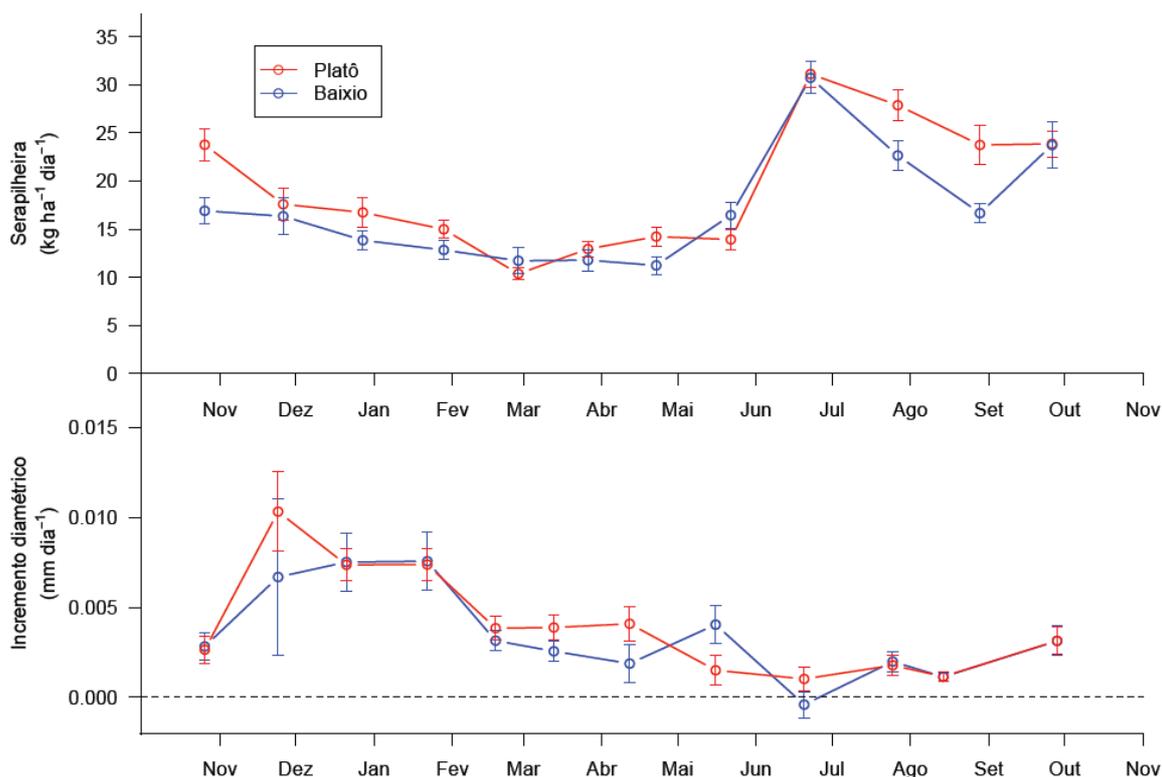


Figura 16: Produção de serapiilheira no platô e baixo (gráfico superior) e incremento diamétrico no platô e no baixo no gráfico inferior.

Folhas velhas são agravantes nesse sentido, pois os mecanismos de fechamento estomático e a eficiência de fotossíntese são ineficientes (Van Shaik *et al.*, 1993). Assim, o aumento da radiação pode ser um grande estímulo fisiológico para as árvores e um gatilho determinante na queda de material senil. A partir disto, se houver um pouco de umidade no sistema, as árvores podem iniciar a produção de novas folhas e iniciação de eventos de reprodução com a floração. Com a estimulação fisiológica causada pelo aumento da radiação, a reprodução das espécies é outra adaptação importante, pois árvores que começam seus ciclos nesse momento vão dispersar seus frutos em um momento mais propício, sendo este o período chuvoso que segue. Há uma relação estreita entre a fenologia de folhas e o crescimento radial, havendo uma associação positiva entre a fase de floração e atividade cambial, sugerindo que a abertura das flores relaciona-se com a maior produção de auxinas e também a atividade cambial (Espinosa *et al.*, 2010).

De forma geral, a floresta amazônica a estudada na Amazônia central tem um fator definitivo e importante em todas as suas correlações, que é a chuva. As árvores adaptaram todo o seu sistema de desenvolvimento ao clima dessa região

sendo ele basicamente regulado pela sazonalidade das chuvas. Seja o mecanismo de crescimento e aporte de carbono e a reciclagem de nutrientes são especificamente desenhados e sincronizados para este padrão de precipitação. Outros fatos indicados como radiação incidente e aumento da temperatura do ar influenciam em segunda ordem os eventos de crescimento e fenologia, pois se falta umidade no sistema, os efeitos positivos são diminuídos pela falta de água. Assim, mudanças nesse padrão de precipitação podem afetar consideravelmente todo o sistema florestal bem adaptado e sincronizado.

6. CONCLUSÃO

Apesar do estudo monitorar a dinâmica de incremento diamétrico e deposição de serapilheira por um ano, os resultados corroboram com outros estudos realizados, demonstrando que a floresta amazônica e, especificamente a estudada, tem um fator importante em todas as suas correlações, que é a chuva. Neste estudo, quando a precipitação mensal acumulada ficou acima de 150 mm, as árvores apresentaram os incrementos em diâmetro mais altos para o período. Quando a precipitação diminuiu, houve as maiores taxas de deposição da serapilheira. O mecanismo de crescimento e a reciclagem de nutrientes estão especificamente desenhados e sincronizados para o padrão de precipitação.

A maior produção de serapilheira no platô e a melhor qualidade nutricional desse material não determinou diferenças significativas no crescimento das árvores. As áreas de baixo, apesar de apresentarem menores condições de umidade e menor quantidade e qualidade do material reciclado via serapilheira obteve incrementos semelhantes ao do platô, com algumas espécies crescendo bem inerente as condições. Nesse sentido, essas árvores devem estar adaptadas a habitar os diferentes solos.

As estimativas de produção de serapilheira para a região apresentam ainda grandes incertezas. Nesse sentido, um maior esforço amostral e continuidade dos estudos pode melhorar a confiabilidade das estimativas. As diferenças entre os solos demonstram quão variada é a produção das florestas principalmente para a serapilheira. Essa característica, quando da extrapolação, resulta em grande erro nas estimativas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alencar, J. C.; Almeida, R. A. e Fernandes, N. P. 1979. Fenologia de Espécies Florestais em Floresta Tropical Úmida de Terra Firme na Amazônia Central. *Acta Amazônica* 9(1):163-198.
- Alencar J. C. 1994. Fenologia de cinco espécies arbóreas tropicais de *Sapotaceae* correlacionadas a variáveis climáticas na reserva Ducke, Manaus, AM. *Acta Amazônica*, 24(3/4): 161-182.
- Almeida, E. C. 2008. *Padrões de crescimento e predição da estrutura diamétrica com o auxílio de bandas dendrométricas na Floresta Nacional de Caxiuanã – PA*. Dissertação de mestrado, Ciências de florestas tropicas, CFT-INPA, Manaus – AM, 85 páginas.
- Andrade, E. A. e Higuchi, N., 2009. Produtividade de quatro espécies arbóreas de Terra Firme da Amazônia Central. *Acta Amazônica*, vol. 39(1), 105 – 112.
- Antonio, I. C., 2011. Boletim agrometeorológico 2010: Estação agroclimatológica da Embrapa Amazônia Ocidental, no Km 29 da rodovia AM-010. *Embrapa Amazônia Ocidental*, Manaus.
- Aragão, L. E. O. C. *et al.*, 2009. Above and below-ground net primary productivity across ten Amazonian forests on contrasting soils. *Biogeosciences*, 6, 2759–2778.
- Araújo, V.C. 1970. Fenologia de essências florestais amazônicas. Boletim do INPA, (4):1-25.
- Araújo, R.S. de, *et al.*, 2006. Aporte de serapilheira e nutrientes ao solo em três modelos de revegetação na Reserva Biológica de Poço das Antas, Silva Jardim, RJ. *Revista Floresta e Ambiente*, Rio de Janeiro – RJ, v.12, n.2, p. 15 - 21, nov./dez.
- Baker, T. R. *et al.*, 2002. Phenological differences in tree water use and the timing of tropical forest inventories: conclusions from patterns of dry season diameter change. *Forest Ecology and Management* 171, 261–274.

- Barbosa R.I e Fearnside P. M., 1996. Carbon and nutrient flows in an Amazonian forest: fine litter production and composition at Apiaú, Roraima, Brasil. *Tropical ecology* 37(1): 115-125.
- Batjes, N.H.; 1999. Management options for reducing CO₂-concentrations in the atmosphere by increasing carbon sequestration in the soil. Report 410-200-031, Dutch National Research Programme on Global Air Pollution and Climate Change & Technical Paper 30, international Soil Reference and Information Centre, Wageningen.
- Benvenuti-Ferreira, G. et al., 2009. Dendrometry and litterfall of neotropical pioneer and early secondary tree species. *Biota Neotropica*, Campinas, 9(1): 065-071.
- Botosso, P.C.; Vetter, R.E. 1991. Alguns aspectos sobre a periodicidade e taxa de crescimento em 8 espécies arbóreas tropicais de Floresta de Terra Firme (Amazônia). *Revista do Instituto Florestal*, v.3, n.2, p.163-180.
- Carvalho, F. A. e Felfili, J. M., 2011. Cost-benefit analysis of industrial and homemade dendrometer bands. *Acta Botânica Brasileira*, vol.25, n.3, pp. 566-570.
- Campos J. C. C.; 2006. Principais fatores do meio que afetam o crescimento das árvores. *Revista Floresta*, pag. 45-52, Curitiba – PR.
- Chambers, J. Q.; Higuchi N. e Schimel J. P., 1998. Ancient trees in Amazonia *Nature* **391**, 135-136.
- Chambers, J. Q. et al. 2001. Tree damage, allometric relationships, and above-ground net primary production in central Amazon forest. *Forest Ecology and Management* 152, pág. 73 a 84.
- Chave, J. et al. 2008. Above-ground biomass and productivity in a rain forest of eastern South America. *Journal of Tropical Ecology*, 24:355–366.
- Chave J. et al. 2010. Patterns of litterfall in tropical South America. *Biogeosciences*, 7, 43–55.
- Clark, D.B.; Clark, D.A. 1996. Abundance, growth and mortality of very large trees in neotropical lowland rain forest. *Forest Ecology and Management*, 80: 235-244.
- Clark, D. A. et al. 2001a. Net primary production in tropical forests: an evaluation and synthesis of existing field data. *Ecological Applications*, 11(2), pp. 371–384.

- Clark, D. A. *et al.*; 2001b. Measuring net primary production in forests: concepts and field methods. *Ecological Applications*, 11(2), página 356-370.
- Costa, D. H. M. *et al.* 2008. Crescimento de árvores em área de terra firme na floresta Nacional do Tapajós após a colheita da madeira. *Revista Ciência Agrária*, Belém, n. 50, p. 63-76, jul./dez.
- Dantas, M. e Phillipson, J. 1989. Litterfall and litter nutrient content in primary and secondary Amazonian "terra firme" rain forest. *Journal of tropical ecology*, 5: 27-36.
- Dias, D. P. 2009. *Fotossíntese e crescimento em diâmetro de árvores em função da temperatura e da precipitação numa floresta Primária de Terra-firme na Amazônia Central*. Tese de doutorado, Ciências de florestas tropicais, CFT-INPA, Manaus – AM, 123 páginas.
- Espig, S.A. *et al.* 2009. Sazonalidade, composição e aporte de nutrientes da serapilheira em fragmento de mata atlântica. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.33, n.5, p.949-956.
- Espinosa, L.Y. *et al.* 2010. Phenology and radial stem growth periodicity in evergreen subtropical rainforest trees. *IAWA Journal*, Vol. 31 (3), 293–30.
- Ferraz J. *et al.*, 1998. Distribuição dos solos ao longo de dois transectos em floresta primária ao norte de Manaus (AM). In: *Pesquisas para conservação da floresta e reabilitação de áreas degradadas*. Manaus. INPA, 1998, 264 p., pag. 110 a 143.
- Ferreira *et al.* 2006. Nutrientes na solução do solo em floresta de terra firme na Amazônia central submetida à extração seletiva de madeira. *Acta Amazônica* vol. 36(1), 59 – 68.
- Ferri, M.G. 1979. *Fisiologia Vegetal*. Editora Pedagógica, v.2, segunda edição. São Paulo, 401pp.
- Field, C. B. *et al.* 1998; Primary Production of the Biosphere: Integrating Terrestrial and Oceanic Components. *Science* 281.
- Freitas, A.C. 2013. *Estimativas para o estoque de carbono do solo ao longo de um gradiente topográfico na Amazônia central*. Dissertação de mestrado, Ciências de florestas tropicais, INPA, Manaus, Amazonas, 65 páginas,.

- Goldstein, G et al. 1996. Evaluating aspects of water economy and photosynthetic performance with stable isotopes from water and organic matter. In: Tropical forest plant ecophysiology, Mulkey S S, CHazdon R.I e Smith A, P. Cap. 9, pag. 244- 267, Nova York.
- Gonçalves, F. G., Santos, J. R. 2008. Composição florística e estrutura de uma unidade de manejo florestal sustentável na Floresta Nacional do Tapajós, Pará. *Acta Amazônica* vol. 38(2): 229 – 244.
- Herrera, R.; Jordan, C.F.; Klinge, H.; Medina, E. 1978. Amazon ecosystems: Their structure and functioning with particular emphasis on nutrients. *Interciência*, 3: 223-232.
- Higuchi N. *et al.* 1998. Análise estrutural da floresta primária da Bacia do Rio Cuieiras, ZF-2, Manaus - AM, Brasil. In: Pesquisas para conservação da floresta e reabilitação de áreas degradadas. Manaus, INPA, 264 p. 52 - 81.
- Higuchi, N. *et al.* 2003. Uso de Bandas Metálicas e dendrômetros automáticos para a definição do padrão de crescimento individual das principais espécies arbóreas da floresta primária da região de Manaus, Amazonas, Brasil. IN: HIGUCHI et al. *Projeto Jacaranda Fase II: Pesquisas Florestais na Amazônia Central*. Manaus: INPA, 252 p. livro, pag 55 a 68.
- Higuchi, N.*et al.* 2011. A floresta amazônica e a água da chuva. *Floresta*, Curitiba, PR, v. 41, n. 3, p. 427-434, julho-setembro.
- Hubbell, S.P. *et al.* 1999. Light-gap disturbances, recruitment limitation, and tree diversity in a Neotropical Forest. *Science*, 283: 554-557.
- IBGE 2010. Instituto Brasileiro de geografia e estatística. Acesso dia 19/07/2012. <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/ids/ids2010.pdf>
- IBGE 2003. Instituto Brasileiro de geografia e estatística. Geoestatísticas de Recursos Naturais da Amazônia Legal. Estudos e Pesquisas Informação Geográfica número 8.
- Jardim, F. C. S.; Hosokawa, R. T. 1986. Estrutura da floresta equatorial úmida da estação experimental de silvicultura tropical INPA. *Acta Amazônica*, 16/17, 401 a 508.
- Keeland, B.D.; Sharitz, R.R. 1993. Accuracy of tree growth measurements using dendrometer bands. *Canadian Journal of Forest Research*, 23: 2454-2457.

- Klinge, H. and Rodrigues, W. A. 1968. Litter production in an area of Amazonian terra firme forest. *Amazoniana*, 1, 287–310.
- Kuruppuarachchi K. A. J. M. e Seneviratne, G. 2013. Predicting Aboveground Biomass Increment of Tropical Forests from Litter-fall. *Ceylon Journal of Science*, 42(1): 35-40.
- Luizão, F. J. 1989. Litter Production and Mineral Element Input to the Forest Floor in a Central Amazonian Forest. *GeoJournal* 19.4.
- Luizão, R. C. C. et al. 2004. Variation of carbon and nitrogen cycling processes along a topographic gradient in a central Amazonian Forest. Blackwell Publishing Ltd, *Global Change Biology*, 10, 592–600.
- Luizão, F. J. e Schubart, H. O. R. 1987. Litter production and decomposition in a terra-firme forest of central Amazonia. *Experientia* 43.
- Malhi, Y. et al. 2009. Comprehensive assessment of carbon productivity, allocation and storage in three Amazonian forests. *Global Change Biology*, 15, 1255–1274.
- Martius, C. et al. 2004. Litter fall, litter stocks and decomposition rates in rainforest and agroforestry sites in central Amazonia. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 68, 137–154.
- Marques, J. D. O. et al. 2010. Atributos químicos, físico-hídricos e mineralogia da fração argila em solos do baixo Amazonas: Serra de Parintins. *Acta Amazônica* vol. 40(1) : 1 – 12.
- Miranda, E.V.de. 2002. *Padrão de desenvolvimento radial horário do fuste de três espécies florestais típicas da Amazônia utilizando dendrômetros automáticos*. Dissertação de mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas. 75pp.
- Myneni, R. B., et al. 2007. Large seasonal swings in leaf area of Amazon rainforests, P. *Natural Academy Science*, 104, 4820–4823.
- Neff, C. J. et al. 2002. Variable effects of nitrogen additions on the stability and turnover of soil carbon. *Nature*, volume 419, 31 outubro.
- Neves E. J. M., Martins E.G., Reissmann, C. B. 2001. Deposição de serapilheira e de nutrientes de duas espécies da Amazônia. *Boletim Pesquisa Florestal*, Colombo, n.43, p. 47-60, jul./dez.

- Nepstad D. C. *et al.* 2002. The effects of partial throughfall exclusion on canopy processes, aboveground production, and biogeochemistry of an Amazon forest. *Journal of geophysical research*, vol. 107.
- Neu, V. 2005. *Influência da cobertura vegetal na ciclagem de nutrientes via solução do solo na região de Manaus – AM*. Dissertação Universidade de São Paulo – Piracicaba, Janeiro de 2005, 93 pag.
- NOBRE, C. A. e NOBRE, A. D. 2002 O balanço de carbono da Amazônia brasileira. *Estudos avançados* 16 (45).
- RADAM 1978. *Programa de integração Nacional, levantamentos de recursos naturais*. Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. V. 18, folha SA.20 Manaus;. Rio de Janeiro, 628 p.
- Rocha *et al.* 2003. Taxa de recrutamento e mortalidade e mudanças de estoque de fitomassa da floresta primária na região de Manaus – AM. IN: HIGUCHI *et al.* *Projeto Jacaranda Fase II: Pesquisas Florestais na Amazônia Central*. Manaus: INPA, 252 p. livro, página 43 a 54.
- Sanquetta *et al.* 1996. Matriz de transição para simulação da dinâmica de florestas naturais sob diferentes intensidades de corte. *Ciência Florestal*, v.6, n.1.
- Santana, J. A . S. *et al.* 2003. Produção Anual de serapilheira em floresta secundária na Amazônia Oriental. *Revista de Ciências Agrária*, Belém, 40, p. 119-132.
- Santos, J. 1996. *Análise de regressão para estimar fitomassa da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia brasileira*. Tese de Doutorado, Viçosa: UFV.
- Scheer, M. B. *et al.*, 2009 Patterns of litter production in a secondary alluvial Atlantic Rain Forest in southern Brazil. *Revista Brasileira de Botânica*, vol.32, n.4, pp. 805-817.
- Scholes R.J., Breemen, N. V. 1997. The effects of global change on tropical ecosystems. *Geoderma* 79, 9-24.
- Schubart, H. O. R.; Franken, N.; Luizão, F. J. 1984. Uma floresta sobre solos pobres. *Ciência Hoje*, n. 2, p. 26-32.
- Selle, G. L. 2007. Ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v. 23, n. 4, p. 29-39, Oct./Dec.

- Silva, R.P. 2001. *Padrões de crescimento de árvores que ocorrem em diferentes toposequências na região de Manaus (AM)*. Dissertação mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Tropical INPA/UA, Ciências de Florestas Tropicais. Manaus – AM 2001.
- Silva, R. P. et al. 2002. Diameter increment and growth patterns for individual tree growing in Central Amazon, Brazil. *Forest Ecology and Management* 166, 295–301.
- Silva, R. P. et al. 2003. Uso de banda dendrométrica na definição de padrões de crescimento individual em diâmetro de árvores da bacia do rio Cuieiras. *Acta Amazônica* 33 (1): 67-84.
- Silva, C. J. da et al. 2007. Produção de serapilheira no Cerrado e Floresta de Transição Amazônia-Cerrado do Centro-Oeste Brasileiro. *Acta Amazônica*, volume 37(4), 543 – 548.
- Silva et al. 2009. Influência de variáveis meteorológicas na produção de liteira na Estação Científica Ferreira Penna, Caxiuanã, Pará. *Acta Amazônica* vol. 39(3) 573 – 582.
- Saraiva, S.C. et al. 2010. Fenologia de uma comunidade arbórea na Amazônia central como ferramenta para conservação. *Anais do I Seminário Internacional de Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia*.
- Pinto, S. I. C. et al. 2008. Produção de serapilheira em dois estádios sucessionais de floresta estacional semidecidual na reserva mata do paraíso, em viçosa, MG *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.32, n.3, p.545-556.
- Piovesan G. et al. 2012. Deposição de serapilheira em povoamento de pinus. *Pesquisa. Agropecuária Trop.*, Goiânia, v. 42, n. 2, p. 206-211, abr./jun. 2012.
- Phillips, O. L. et al. 1998. Changes in the Carbon Balance of Tropical Forests: Evidence from Long-Term Plots. *Science*, vol. 282, No. 5388, pág. 439-442.
- Phillips, O. L. et al. 2009. Drought Sensitivity of the Amazon Rainforest. *Science*, volume 323, pág. 1344 – 1347, março de 2009.
- Taiz, L., Zeiger, E. 2003. Plant physiology. Sunderland: Sinauer Associates, 3ª edição, 690 páginas.

- Telles, E.D.C. *et al.* 2003. Influence of soil texture on carbon dynamics and storage potential in tropical forest soils of Amazonia. *Global Biogeochemical Cycles*, v.17, n.2.
- Tribuzy, E. S. 1998. *Metabolismo do carbono e do nitrogênio em plantas de Ingá (Ingá vera Willd.) submetidas a diferentes alturas e tempos de submersão*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Lavras-UFLA, Lavras-MG, 64 p.
- Tribuzy, E. S. 2005. *Variações da temperatura foliar no dossel e seu efeito na taxa assimilatória de CO₂ na Amazônia central*. Tese de doutorado apresentado na Escola superior de agricultura Luiz Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba – SP, abril.
- Van Schaik C.P. *et al.* 1993. The phenology of tropical forests: adaptative significance and consequences for primary consumers. *Annual Review Ecology Systematics*, 24:353–377.
- Vaz, M.C. 2011. *Diversidade de estratégias ecológicas das espécies de árvore dominantes de uma floresta de terra firme da Amazônia Central*. Dissertação de mestrado, Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo – SP.
- Vetter, R. E., Botosso, P. C. 1988. Observações preliminares sobre a periodicidade e taxa de crescimento em árvores tropicais. *Acta Amazônica*. 10(2): 133-145.
- Vasconcelos, S. S. *et al.* 2009. Projeção da distribuição diamétrica de uma floresta explorada seletivamente na Amazônia Ocidental. *Acta Amazônica* vol. 39(1): 71 – 80.
- Vieira, S. A. 2003. *Mudanças globais e taxa de crescimento arbóreo na Amazônia*. Tese doutorado, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba –SP, Junho de 2003.
- Vieira, S. A. *et al.* 2004. Forest structure and carbon dynamics in Amazonian tropical rain forests. *Oecologia*, 140: 468–479.
- Vieira, S. A. *et al.* 2005. Slow growth rates and great ages of Amazonian trees. *PNAS*, 102 (51):18502-18507.
- Vitousek, P.M. 1984. Litterfall, nutriente cycling, and nutriente limitation in tropical forest. *Ecology*, volume 65, numero 1, página 285-298, Fev.

- Vitousek P.M.; Sanford, R. L. Jr. 1986. Nutrient Cycling in Moist Tropical Forest. *Annual Review of Ecology and Systematics*, Vol. 17, pp. 137-167.
- Von Ende, C.N. 1993. Repeated-Measures Analysis: Growth and Other Time-Dependent Measures. Em: Design and Analysis of Ecological Experiments, editado por S.M. Scheiner e J.Gurevitch. Chapman & Hall. pp. 113-137.
- Werneck, M. S. de, *et al.* 2001. Produção de serapilheira em três trechos de uma floresta semi-decídua com diferentes graus de perturbação na Estação Ecológica do Tripuí, Ouro Preto, MG. *Revista Brasileira de Botânica*, São Paulo, V.24, n.2, p.195-198, jun.
- Witschoreck, R. et al. 2003. Estimativa da biomassa e do comprimento de raízes finas em *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake no município de Santa Maria - RS. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.27, n.2, p.177-183.
- Wright, S. J. 1996. Phenological responses to seasonality in tropical forest plants. In: Tropical forest plant ecophysiology, Mulkey S S, CHazdon R.I e Smith A, P. Capítulo 15, pag. 440 460, Nova York.