

Relação da produção de serapilheira com incremento  
em diâmetro de uma floresta madura na Amazônia CentralRelationship of litter fall with diameter increment  
in an old growth forest in central Amazon regionLucas Kosvoski de Ourique<sup>1</sup>, Rosiane Oliveira Silva<sup>1</sup>, Cacilda Adélia Sampaio de Souza<sup>2</sup>,  
Hideyuki Noguchi<sup>3</sup>, Joaquim dos Santos<sup>4</sup> e Niro Higuchi<sup>4</sup>**Resumo**

Nas últimas décadas, eventos meteorológicos extremos têm atingido com mais frequência a região amazônica. As grandes cheias seguidas de secas prolongadas podem afetar a dinâmica do carbono da floresta, que está intimamente ligada às condições de umidade do ambiente que a circunda. Acima do solo, a serapilheira e o incremento das árvores são os componentes principais da produção florestal. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi quantificar a produção de serapilheira e o incremento de árvores, investigando a estreiteza de suas relações com a sazonalidade das chuvas na Amazônia central. O estudo foi desenvolvido na Estação Experimental de Silvicultura Tropical, ZF2, Manaus, Brasil, em dois transectos com dimensões de (20 x 2.500 m). As coletas de serapilheira foram realizadas com auxílio de 120 coletores e o incremento das árvores foi obtido por meio de bandas dendrométricas instaladas em 250 árvores. A precipitação foi obtida por meio de equipamentos automáticos (pluviômetros) instalados nas áreas de estudo. A produção de serapilheira para o período foi de  $7,1 \pm 0,23 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  para o platô, e  $6,3 \pm 0,15 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  para o baixio (Intervalo de Confiança (IC) = 95 %). A produção de serapilheira foi diferente entre as classes topográficas ( $n = 120$ ,  $p = 0,008$ ). Tanto no platô como no baixio, as correlações entre produção mensal de serapilheira e precipitação mensal foram negativas e evidentes ( $r = -0,83$ ;  $p = 0,001$  para platô; e  $r = -0,70$ ;  $p = 0,011$  para o baixio). O incremento diamétrico médio para as 250 árvores foi de  $1,43 \pm 0,18 \text{ mm ano}^{-1}$  (IC = 95 %). Quando separados pelas classes topográficas, no platô o incremento médio foi de  $1,46 \pm 0,18 \text{ mm ano}^{-1}$  (IC = 95%) e no baixio de  $1,35 \pm 0,26 \text{ mm ano}^{-1}$  (IC = 95 %), com fraca evidência ( $p = 0,23$ ) que os mesmos sejam diferentes. A correlação entre a precipitação e o incremento médio das árvores para o período estudado foi positiva igual a  $r = 0,55$  ( $p = 0,063$ ). A correlação entre a produção de serapilheira e o incremento em diâmetro das árvores foi positiva e evidente igual a  $r = 0,60$  ( $p = 0,06$ ). Quando a correlação foi feita em função das classes topográficas, a correlação para o platô foi de  $r = -0,51$  ( $p = 0,087$ ) e para o baixio  $r = -0,57$  ( $p = 0,055$ ). Quando a floresta apresenta incremento positivo, isto indica que as árvores estão retirando carbono da atmosfera; ao contrário, no período de alta deposição de serapilheira, as árvores apresentam incrementos menores e o balanço de carbono pode estar negativo. Essa relação tem uma variável importante e fortemente correlacionada, que é a chuva.

**Palavras-chave:** Sazonalidade das chuvas, Correlação de Pearson Bandas dendrométricas.

**Abstract**

During the last decades, meteorological extreme events were frequent in the Amazon region. Floods followed by severe droughts can affect the dynamics of carbon in the forest, which is closely linked to environmental conditions of humidity. The litter and the growth of the trees are the main components of above ground net primary production. The objective of this study was to quantify the litter production and the diameter growth of trees, investigating their correlation with the seasonal rains in central Amazonian. The study was developed at the Experimental Station of the National Institute for Research in the Amazon (INPA), ZF2, Manaus-AM, Brazil, in two transects with dimensions of (20x2500m). The litter samples were collected with 120 litter traps and the growth of the trees was obtained through dendrometric bands installed on 250 trees. Precipitation was obtained by automated equipment (gauges) installed in the study area. The litter production for the period was  $7.1 \pm 0.23 \text{ Mg ha}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$  on the plateau,  $6.3 \pm 0.15 \text{ Mg ha}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$  in the

<sup>1</sup>Mestre em Ciências de Florestas Tropicais. INPA - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Caixa Postal 2223 - 69080-971 - Manaus, AM, Brasil. E-mail: [lucaskourique@gmail.com](mailto:lucaskourique@gmail.com); [rosianne.silvaa@gmail.com](mailto:rosianne.silvaa@gmail.com).

<sup>2</sup>Doutoranda em Ciências de Florestas Tropicais. INPA - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Caixa Postal 2223 - 69080-971 - Manaus, AM, Brasil. E-mail: [adelia\\_sampaio@yahoo.com.br](mailto:adelia_sampaio@yahoo.com.br).

<sup>3</sup>Pós Doutorando. FFPRI- Forestry and Forest Products Research Institute. Tsukuba, - 305-8687 - Ibaraki, Japão. E-mail: [hnoguchi@eva.hi-ho.ne.jp](mailto:hnoguchi@eva.hi-ho.ne.jp).

<sup>4</sup>Pesquisador Doutor. INPA - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Caixa Postal 2223 - 69080-971 - Manaus, AM, Brasil. E-mail: [joca@inpa.gov.br](mailto:joca@inpa.gov.br); [niro@inpa.gov.br](mailto:niro@inpa.gov.br).

low land (confidence interval (CI) = 95%). The litter production was different per topographical classes (n=120, p=0.008). The correlation of litter and rain for the plateau was  $r=-0.83$  (p=0.001) and  $r=-0.70$  (p=0.011) for the low land. The average diameter increment of 250 trees was  $1.43 \pm 0.18$  mm.year<sup>-1</sup> (95% CI). The increment on the plateau was  $1.46 \pm 0.18$  mm.year<sup>-1</sup> and  $1.35 \pm 0.26$  mm.year<sup>-1</sup> (95% CI) in the low land, with weak evidence (n=250 and p=0.23) that the increments between topographic classes were not different. The correlation between rainfall and the mean increment of trees for the period studied was  $r=0.55$  (p=0.063). The correlation between the production of litter and the increment in diameter of the trees was  $r=-0.60$  (p=0.06). The correlation for topographical classes plateau is  $r=-0.51$  (p=0.087) and low land is  $r=-0.57$  (p=0.055). When the forest has a positive increase, this indicates that the trees are absorbing carbon from the atmosphere; while in the high litter production period, the trees show smaller increments and the carbon balance may be negative. All these relationships have an important and strongly correlated variable factor: rain.

**Keywords:** Seasonality of rainfall, Pearson Correlation, Metal dendrometers.

## INTRODUÇÃO

Na última década, a Amazônia sofreu com duas das maiores secas e duas cheias com a quebra de recorde do nível do rio negro em Manaus, ao longo de 109 anos de histórico (SAATCHI et al., 2012). No ano de 2005, uma grande seca assolou a bacia amazônica, sendo chamada de “uma em um século”; porém, foi logo superada anos depois, em 2010 por uma seca ainda mais severa (MARENCO et al., 2011). Entre essas duas grandes secas, em 2009 o nível do rio negro em Manaus quebrou o recorde histórico, que 3 anos mais tarde, foi novamente quebrado pela grande cheia de 2012. Os eventos extremos e as mudanças no uso da terra atualmente exercem forte influência no ciclo de carbono na Amazônia e tem o potencial de causar impactos significativos no clima global (ARAGÃO et al., 2014).

A floresta amazônica é um grande reservatório de carbono natural estimado em  $93 \pm 23$  Pg (Pg = peta grama =  $1 \times 10^{15}$  g) de carbono retido em sua biomassa (MALHI et al., 2006), responsável por cerca de 33 % da produção primária líquida terrestre anual (FIELD et al., 1998). Na maioria dos anos, a floresta amazônica é um sumidouro de carbono; no entanto, eventos como as secas de 2005 e 2010 invertem esse cenário (LEWIS et al., 2011). Os efeitos destes eventos podem ocasionar mudanças na dinâmica da floresta, que pode aumentar consideravelmente a quantidade de CO<sub>2</sub> na atmosfera (PHILLIPS et al., 2009).

A dinâmica do carbono da floresta amazônica está intimamente ligada às condições de umidade do ambiente que a circunda. O crescimento em diâmetro das árvores amazônicas, por exemplo, depende não só da quantidade de chuva que cai, como também da forma que a mesma se distribui ao longo do ano (HIGUCHI et al., 2011). A medição do incremento das árvores por meio de bandas dendrométricas é um método eficiente, com medições confiáveis, que permite o monitoramento mensal e conseqüentemente a resposta das árvores frente à sazonalidade da precipitação.

As chuvas não ditam somente o padrão de crescimento das árvores, mas influenciam uma série de mecanismos que mantêm o ecossistema, influenciando diretamente todas as formas de vida. A reciclagem de nutrientes via serapilheira é um mecanismo importante na manutenção das árvores. Na região da Amazônia Central, onde grande parte do solo é pobre em nutrientes, a floresta só consegue crescer e se manter exuberante pela reciclagem de nutrientes via serapilheira (HERRERA et al., 1978; VITOUSEK, 1984; FERRAZ et al., 1998). As árvores dispersam material fino de rápida degradação, que será rapidamente mineralizado e disponibilizado para o crescimento da floresta.

A relação entre incremento em diâmetro, deposição de serapilheira e quantidade e distribuição das chuvas ganha contexto diferenciado em função do contraste de texturas dos solos da Amazônia Central. O platô (argiloso) e o baixo (arenoso), comparativamente têm diferentes características, que interferem diretamente na velocidade da decomposição da serapilheira (LUIZÃO et al., 2004) e na conservação de água (TELLES et al., 2003). Áreas de floresta de platô também apresentam uma maior área basal e biomassa comparativamente às áreas de baixo, o que pode influenciar diretamente na quantidade de material depositado e conseqüentemente na disponibilidade de nutrientes para crescimento.

A produção de serapilheira e o incremento em biomassa das árvores são componentes importantes da produção primária líquida (PPL) do sistema florestal (CLARK et al., 2001), que garantem a dinâmica do carbono acima do solo. Mudanças no regime de chuvas podem afetar consideravel-

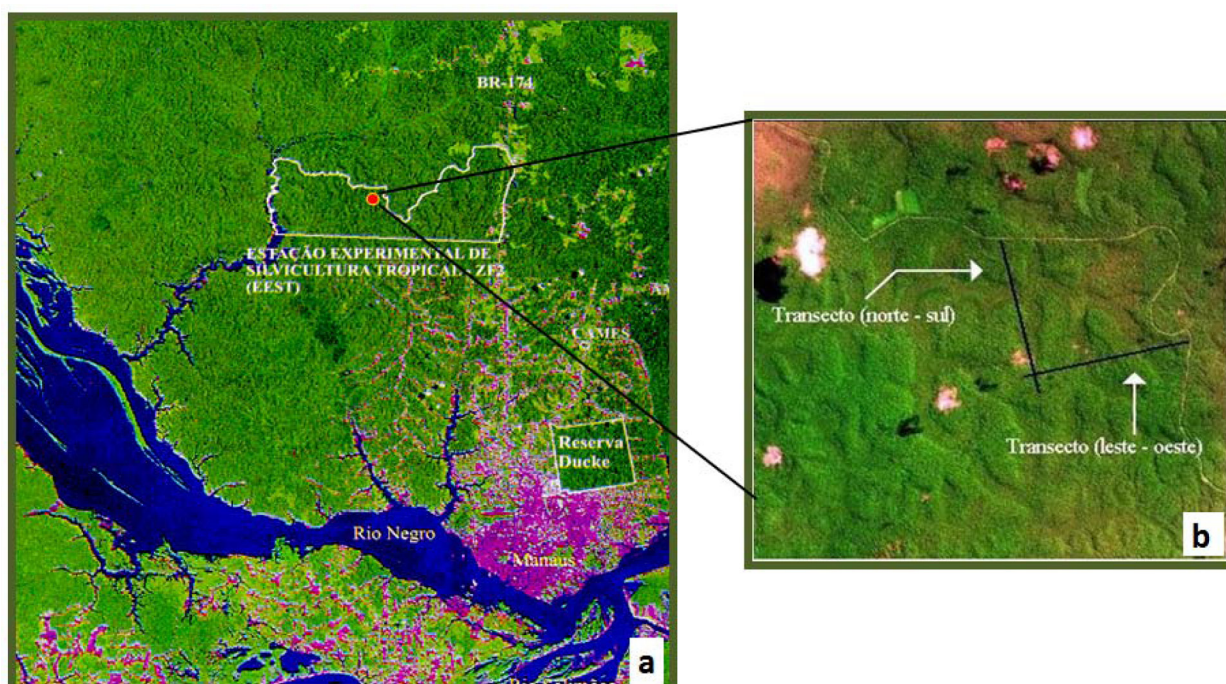
mente toda a dinâmica da floresta, influenciando no balanço do carbono. É importante investigar a estreiteza da relação do incremento diamétrico, serapilheira e a influência das chuvas com os diferentes tipos de solo, aprofundando o entendimento da floresta relacionado à resposta das árvores com as condições de clima e solo.

Diante disto, a proposta deste estudo foi investigar se o incremento diamétrico das árvores tem correlação com a deposição da serapilheira nos diferentes ambientes avaliados (platô e baixio) de acordo com o regime de chuva. Nesse sentido, procurou-se responder às seguintes perguntas: Qual é a produção de serapilheira em função do tipo de solo e sua relação com a chuva? O incremento em diâmetro varia com a produção de serapilheira? Qual é a correlação entre produção de serapilheira e incremento em diâmetro e precipitação?

## MATERIAL E MÉTODOS

### Áreas de estudo

O estudo foi realizado na Estação Experimental de Silvicultura Tropical do INPA, vicinal ZF2 (EEST/INPA), distante, aproximadamente, 90 km a noroeste de Manaus. As parcelas utilizadas neste estudo foram dois transectos com dimensão de 20 m x 2.500 m cada, divididas em sub-parcelas de 20 x 20 m, monitoradas desde o ano de 1996 com o início do projeto JACARANDA (JICA). Os transectos são dispostos em duas direções, o primeiro no km 28 do ramal ZF2 na direção Leste-Oeste e o segundo no km 33 na direção Norte-Sul (Figura 1). Para este estudo, foram realizadas coletas durante um ano, entre os meses de setembro de 2012 a setembro de 2013, proporcionando a observação da sazonalidade regional.



**Figura 1.** a) Estação Experimental de Silvicultura Tropical do INPA, Manaus-AM, Brasil, núcleo ZF-2; b) Transectos (N-S) e (L-O).

**Figure 1.** a) Experimental Station of the National Institute for Research in the Amazon (INPA), ZF2, Manaus-AM, Brazil; b) The transect North – South and East – West.

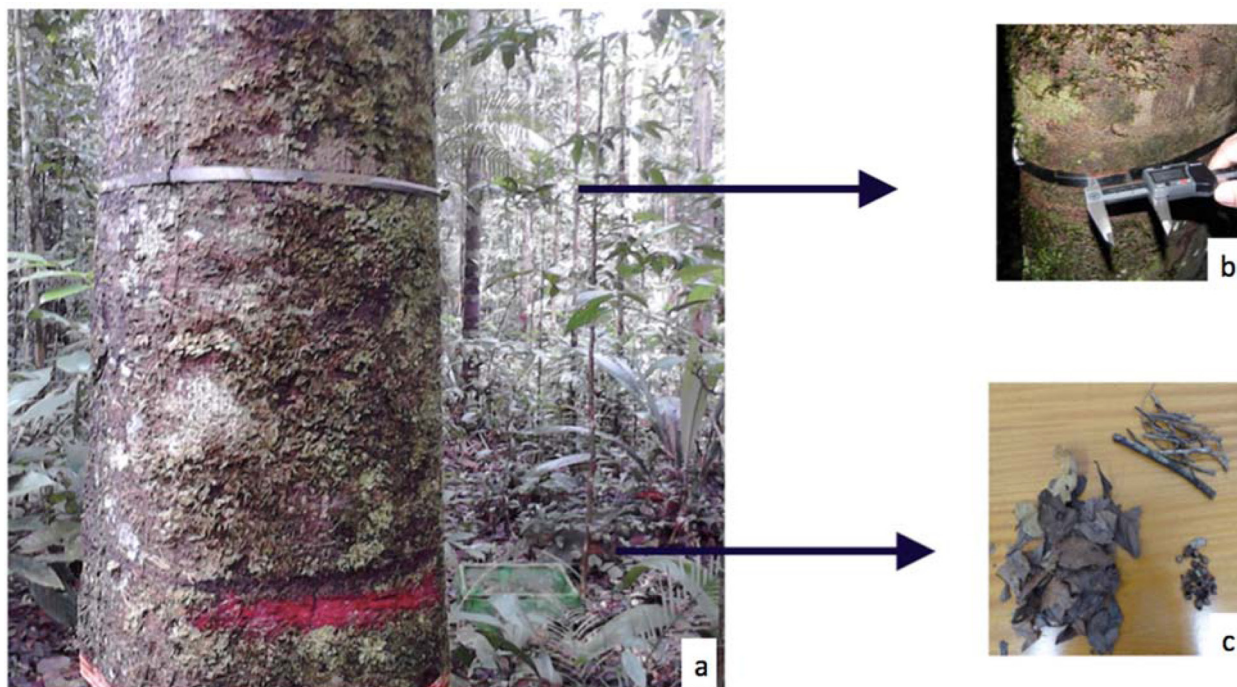
A área de estudo é caracterizada por relevo com diferentes compartimentos topográficos, sendo os platôs localizados em áreas mais elevadas e os baixios como áreas mais baixas, que sofrem influência de cursos de água. O solo de platô é o Latossolo amarelo, com textura mais argilosa para as diferentes profundidades amostradas (5, 30, 50 e 100 cm) com percentual superior a 60%. Nos baixios o tipo de solo é o Espodossolo Hidromórfico, onde predomina a textura arenosa, com maior quantidade de areia grossa (FERRAZ et al., 1998).



### Amostragens e delineamento

Para a coleta de serapilheira foram instalados 120 coletores, distribuídos, proporcionalmente, 60 no platô e 60 no baixo. Os coletores, na forma quadrangular de 0,5 m x 0,5 m, com área de 0,25 m<sup>2</sup> (Figura 2a), foram dispostos sistematicamente em 2 linhas equidistantes 10 m entre si e a cada 40 metros ao longo dos transectos. O material foi coletado em períodos de 15 a 30 dias e separado em folhas, galhos (diâmetro < 2 cm) e miscelânea (Figura 2C). Em seguida, foi seco em estufa a 65 °C até alcançar massa constante em três pesagens consecutivas em uma balança analítica.

O experimento com bandas dendrométricas foi instalado em 1999 (SILVA et al., 2002). Para este estudo, foram considerados somente os dados coletados durante o experimento de serapilheira (setembro 2012 a setembro de 2013). Para a avaliação do incremento foram utilizadas 250 árvores monitoradas por meio de bandas dendrométricas (Figura 2a), com diâmetro a altura do peito (DAP) ≥ 10 cm, sendo 125 árvores em áreas de platô e 125 nos baixos.



**Figura 2.** a) Área de coleta de serapilheira e medição de incremento em diâmetro com bandas dendrométricas; b) coleta de dados nas bandas dendrométricas; c) obtenção da massa seca para o material depositado nos coletores, separados em folhas, galhos (diâmetro < 2 cm) e miscelânea.

**Figure 2.** a) Litter fall collecting area and measure of diameter increment with metal dendrometers; b) metal dendrometers measurement; c) Dried material collected in the litter traps, separated into 3 categories of leaves, twigs (diameter < 2 cm) and miscellaneous parts.

Os dados de precipitação foram obtidos por meio de equipamentos automáticos instalados na área de estudo. O pluviômetro automático (modelo MD2SR-RD10, Indústrias Shiro, Japão) possui sistema de armazenamento digital de dados, que monitora a quantidade de chuva. Foram considerados para a análise a precipitação acumulada durante o período de coleta.

### Análises estatísticas

Foi realizada uma ANOVA de medidas repetidas para a produção de serapilheira e incremento em diâmetro. Para proceder esta análise foi utilizado o método proposto por Von Ende (1993) para avaliar experimentos com falta de independência dos dados. Neste método, os fatores de correção G-G (Greenhouse-Geisser) e H-F (Huynh-Feldt) são utilizados para fazer inferência sobre as probabilidades do teste, corrigindo o valor de F. Para o relacionamento entre as variáveis (produção de serapilheira, incremento, precipitação) utilizou-se a correlação de Pearson com o teste de Bonferroni, considerando a média mensal (n = 12) para a correlação.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Precipitação no período de estudo

A precipitação acumulada para o ano estudado foi de 3.155 mm, em torno de 20 % acima da média histórica de 40 anos da EMBRAPA que é de 2.612 mm (ANTONIO, 2011). A distribuição das chuvas durante o período teve algumas discrepâncias em relação à média histórica; o mês de janeiro, por exemplo, ficou com um volume acumulado 90 % maior, com alta precipitação em curto período de tempo. No entanto, a precipitação no ano do estudo quando correlacionada com os dados históricos apresentou correlação muito forte ( $r=0,89$   $p<0,001$ ), demonstrando que a precipitação observada, uma vez que foi um ano atípico, foi bem relacionado com o clima da região.

### Produção de serapilheira

A estimativa da produção de serapilheira para o período foi de  $7,1 \pm 0,23$  Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para o platô,  $6,3 \pm 0,15$  Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para o baixo (Intervalo de Confiança (IC) = 95%). A produção de serapilheira foi diferente entre as classes topográficas ( $n = 120$ ,  $p = 0,008$ ) e entre os meses (tempo = 12,  $n = 120$ ,  $p = 0,0001$ ). Não houve interação entre os fatores topografia e tempo. A queda do material orgânico das árvores apresentou um comportamento contrário à quantidade das chuvas. Observou-se que os primeiros 5 meses, com apenas 20 % da precipitação acumulada (junho a outubro), foram os que apresentaram maior produção de serapilheira, com 56 % do total da queda anual.

A produção de serapilheira por partes apresentou um comportamento similar a produção total. A produção de folhas e a miscelânea tiveram picos no período seco, sendo está tendência diferente para a produção de galhos, que se manteve constante durante o ano. Do total de serapilheira, no platô a produção de folhas significou 69%, seguida de 16% miscelânea e 15% galhos. No baixo, a produção seguiu a mesma tendência, sendo as folhas 68%, 16,5% miscelânea e 15,5% de galhos no total da produção de serapilheira.

Os resultados para a produção média de serapilheira são semelhantes aos encontrados na Amazônia (Tabela 1). No entanto, as incertezas deste estudo são menores; certamente devido ao maior número e a melhor distribuição de coletores utilizados aqui, em relação aos demais. Clark et al. (2001) enfatizam que as estimativas de produção de serapilheira fina podem ter altas incertezas, pelo fato do insuficiente número de coletores usados frente à diversidade da floresta e, dessa forma, as estimativas devem apresentar o intervalo de confiança para demonstrar a incerteza.

**Tabela 1.** Estimativas de produção de serapilheira para florestas tropicais.

**Table 1.** Estimates for litter production in Amazonian forests.

Autor	Local	Produção (Mg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	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
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 - PA	8,87			20	Platô
Silva et al. 2009	Caxiuanã - PA	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  $IC = Z * (DP / \sqrt{N})$ , com  $Z = 1,96$  ( $\alpha = 0,05$ ).

Os estudos que compararam a produção no platô e baixio encontraram valores menores para o segundo. O baixio possui uma menor densidade de árvores por hectare comparativamente ao platô ( $560 \pm 44$  a  $632 \pm 46$ ), no entanto, a área basal é quase a mesma ( $28,2 \pm 3,7$  e  $29,1 \pm 44$ , baixio e platô, respectivamente); o que sugere que as árvores são de maior porte neste local (MARRA et al., 2014). A presença de palmeiras pode significar um viés para a produção no baixio, pois suas folhas grandes podem dificultar a queda das folhas nos coletores (CHAVE et al., 2010). No entanto, entre os meses de maio e junho de 2013 ocorreu um período de 12 dias sem chuva, que pode ser responsável por um pico na produção da serapilheira na área de estudo, sendo especificamente neste período, a produção do baixio superior a do platô total.

O pico de produção no período de menor precipitação é parte da estratégia de sobrevivência das árvores para economizar água. A diminuição da umidade no solo faz com que as árvores dispersem folhas velhas para diminuir a perda de água por transpiração (VAN SCHAIK et al., 1993). As correlações entre a produção de serapilheira e a precipitação acumulada apresentaram valores negativos, demonstrando que os maiores valores de produção estão associados aos menores valores de precipitação acumulada, onde a correlação de Pearson para o platô foi de  $r = -0,83$  ( $p = 0,001$ ) e  $r = -0,70$  ( $p = 0,011$ ) para o baixio.

Estas correlações são bem mais altas do que de outros estudos, com  $r = -0,34$  (LUIZÃO, 1989) e  $r = -0,40$  (RICE et al., 2004). Um fraco sinal de correlação na sazonalidade da queda de serapilheira e precipitação pode significar possíveis limitações nos dados e também a influência de mecanismos biológicos que afetem essa sincronia (CHAVE et al., 2010). Análises por meio de imagens de satélite utilizando o índice de área foliar de florestas maduras na Amazônia como variável independente sugerem que a troca de folhas é mais influenciada pela sazonalidade da radiação do que da precipitação (MYNENI et al., 2007). No entanto, os autores destacam que períodos sem precipitação maiores que 5 dias podem ocasionar picos na queda das folhas; com isso a distribuição das chuvas torna-se também importante para determinar a produção da serapilheira (LUIZÃO, 1989).

### **Incrementos em diâmetro**

O incremento diamétrico médio para as 250 árvores foi de  $1,43 \pm 0,18$  mm ano<sup>-1</sup> (IC = 95 %). Quando separado pelas classes topográficas, no platô o incremento médio foi de  $1,46 \pm 0,18$  mm ano<sup>-1</sup> (IC = 95%) e  $1,35 \pm 0,26$  mm ano<sup>-1</sup> (IC = 95 %) no baixio. A ANOVA de medidas repetidas demonstra que o fator classe topográfica apresentou um fraco sinal ( $n = 250$  e  $p = 0,23$ ), indicando que os incrementos entre classes topográficas não foram diferentes. Resultados semelhantes foram obtidos por Silva et al. (2002), em um estudo na mesma área, onde verificou-se um sinal ainda mais fraco da interação entre o incremento e a classe topográfica ( $p = 0,886$ ). No entanto, considerando o fator mês, houve um forte sinal (tempo = 12,  $n = 250$  e  $p < 0,001$ ), o que indica que o incremento variou com o passar do tempo.

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. A correlação entre a precipitação e o incremento médio das árvores para o período estudado foi de  $r = 0,55$  ( $p = 0,063$ ).

Apesar da maior produção de serapilheira e, conseqüentemente, maior quantidade de nutrientes no platô é pouco provável que haja diferença no incremento entre platô e baixio ( $p = 0,23$ ). Os resultados demonstram que embora o período deste estudo seja de apenas um ano e apresentar de índices pluviométricos acima da média histórica, o incremento se assemelha a de outros estudos para a Amazônia central. Silva et al. (2002) encontraram o incremento de  $1,64 \pm 0,21$  mm ano<sup>-1</sup> (IC = 95%) de 272 árvores. Acompanhando o incremento durante 5 anos do mesmo experimento valores médios de  $1,5$  mm ano<sup>-1</sup> para 545 árvores foram encontrados por Higuchi et al., 2011.

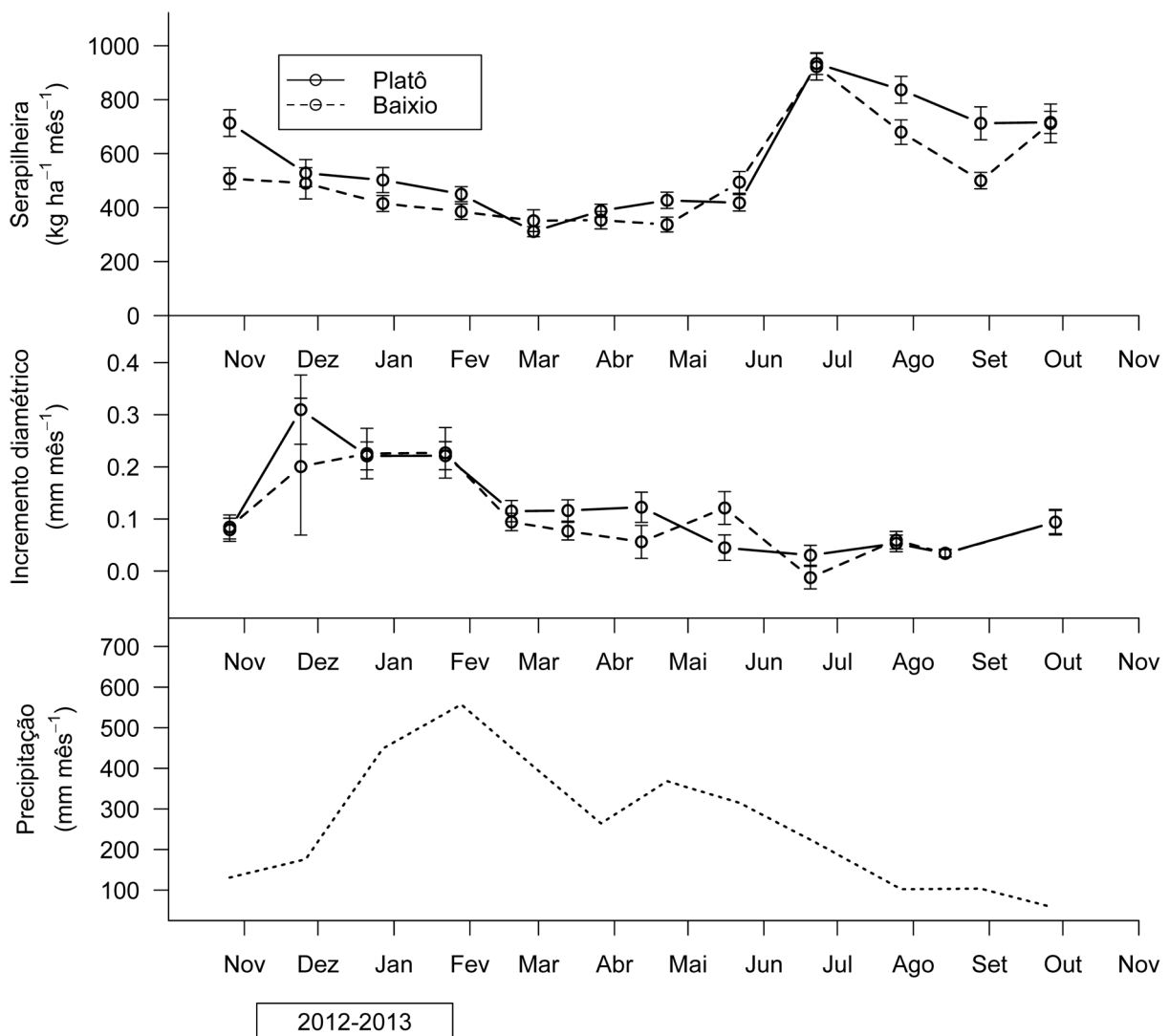
A correlação positiva entre a sazonalidade das chuvas e o incremento da árvores também foi encontrada em outros estudos. Silva et al., 2003, encontrou o coeficiente de correlação de Pearson de  $r = 0,398$  para um ano de monitoramento. Vieira (2003) obteve índices semelhantes com os deste estudo, de  $r = 0,59$ . Correlações com coeficientes ainda mais fortes, com  $r = 0,71$  (RICE et al., 2004) e em experimento com cinco anos de acompanhamento  $r = 0,73$  (HIGUCHI et al., 2011).

Tão importante quanto à quantidade de chuvas é a distribuição das mesmas ao longo do mês. 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 seguiu esse padrão na mesma intensidade. Em seu monitoramento, Vieira (2003) no mês de abril de 2000 registrou precipitação acumulada de 730 mm; neste mês ao contrário do que se esperava houve um decréscimo no incremento médio das árvores. Tanto o excesso de água, quanto a falta da mesma pode 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 (TRIBUZY, 1998).

### Serapilheira e incremento

A correlação entre a produção de serapilheira e o incremento em diâmetro das árvores foi de  $r = -0,60$  ( $p = 0,06$ ). Quando a correlação é feita em função das classes topográficas, a correlação para o platô é de  $r = -0,51$  ( $p = 0,087$ ) e para o baixio é  $r = -0,57$  ( $p = 0,055$ ). As correlações entre a produção de serapilheira com a precipitação foi mais forte do que a correlação do incremento com as chuvas, sendo esta um indicativo que a queda de serapilheira é mais rapidamente influenciada pela quantidade de chuva do que o incremento. No entanto, ambas as variáveis são bem correlacionadas com a precipitação, demonstrando a estreita relação com as condições temporais de chuva (Figura 3).



**Figura 3.** Produção de Serapilheira no platô e no baixio ( $\text{Kg ha}^{-1} \text{mês}^{-1}$ ) com o Erro Padrão da Estimativa (EPE); b) Incremento em diâmetro ( $\text{mm mês}^{-1}$ ) no platô e no baixio seguido com (EPE); c) Precipitação acumulada ( $\text{mm mês}^{-1}$ ) para o período de outubro de 2012 a outubro de 2013.

**Figure 3.** The litter fall production in plateau and in low land ( $\text{Kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{month}^{-1}$ ) with standard error of means; b) diameter increment in plateau and low land ( $\text{mm} \cdot \text{month}^{-1}$ ) with standard error of means; c) and precipitation ( $\text{mm} \cdot \text{month}^{-1}$ ) for the period collected (October 2012 to October 2013).

**Tabela 2.** Matriz de correlações entre as variáveis serapilheira, incremento e precipitação.  
**Table 2.** Correlation matrix of litter fall, trunk increment and rainfall.

Variáveis (r)	Precipitação		Incremento		
	(p)	(r)	(p)	(r)	
Platô	Folhas	-0,80	0,002	-0,60	0,037
	Galhos	0,10	0,74	0,76	0,003
	Miscelânea	-0,86	0,000	-0,58	0,044
	Serapilheira total	-0,83	0,001	-0,51	0,087
Baixio	Folhas	-0,65	0,024	-0,65	0,022
	Galhos	-0,32	0,35	-0,14	0,653
	Miscelânea	-0,75	0,005	-0,55	0,065
	Serapilheira total	-0,70	0,011	-0,57	0,055
Incremento	0,55	0,063	-	-	

(r) – coeficiente de correlação de Pearson;

(p) – Probabilidade do teste de correlação.

Neste estudo, quando os valores de precipitação acumulada foram superiores a 200 mm por mês, as árvores tiveram incrementos mais altos e uma deposição baixa de serapilheira. Nos meses em que a precipitação foi inferior a 200 mm, o incremento das árvores foi menor e a queda de folhas (deposição) teve um grande pico na produção de serapilheira.

Esta relação é importante para o ciclo de carbono das florestas. Quando a floresta apresenta incremento positivo, isto indica que as árvores estão retirando carbono da atmosfera, sendo este armazenado em sua biomassa. Ao contrário, quando há uma grande deposição de serapilheira, as árvores estão com menores incrementos e conseqüentemente o balanço de carbono pode ser negativo, ou seja, a floresta em vez de captar está emitindo carbono para a atmosfera. Todo esse balanço tem uma variável importante e fortemente correlacionada, que é a precipitação.

A produção primária bruta cresce linearmente com a sazonalidade do déficit de água; esses resultados podem ser vistos em contrastantes tipos de solos de leste a oeste da bacia Amazônica. Assim, os autores sugerem segundo os seus resultados que a fotossíntese pode ser prevista e modelada em função da sazonalidade (MALHI et al., 2015). A precipitação regula em primeira ordem o ecossistema; no entanto, a distribuição das chuvas também é importante, pois estações secas mais longas e intensas podem reduzir substancialmente a fotossíntese (GUAN et al., 2015).

Na floresta de “La Selva” na Costa Rica, experimentos demonstraram uma forte relação ( $R^2 = 0,85$ ) entre o incremento das árvores e a quantidade de chuva durante o período seco. De forma geral, pequenos períodos sem chuva diminuem o incremento das árvores, e em anos com estações secas mais severas, os incrementos diamétricos podem reduzir em até 20 % comparados a anos mais chuvosos (CLARK et al., 2010). Na Guiana Francesa, experimentos têm demonstrado que o crescimento anual das árvores é mais dependente do incremento em diâmetro no início da temporada de chuvas (WAGNER et al., 2012).

Em experimento com medições de biomassa trimestrais, (ROWLAND et al., 2014) encontraram uma forte relação entre o acúmulo de biomassa e a quantidade de chuva e água no solo. No período seco, houve uma diminuição de 40 a 55 % no incremento em biomassa comparado ao período chuvoso. No monitoramento de quatro anos no estudo com exclusão de água, verificou-se que houve também um decréscimo na produção primária líquida acima do solo. O incremento em biomassa teve a maior queda onde as taxas de produção chegaram a ficar com valores 60 % inferiores do que a parcela controle (BRANDO et al., 2008).

Com a produção de serapilheira, as diferenças foram menos acentuadas, pois como se esperava, houve um acréscimo de queda das folhas nos primeiros três anos. Contudo, a produtividade primária líquida acima do solo foi na média 21 % menor no experimento com privação parcial de água do que no controle. Ademais, o balanço no carbono acima do solo que era de 40 e 60 % para biomassa e serapilheira respectivamente, passou para 29 e 71 % no terceiro ano de exclusão (BRANDO et al., 2008).

Apesar da diminuição do incremento em diâmetro comumente observado no período seco, este pode não ser um indicativo de diminuição na produção primária líquida (FEELEY et al., 2007). Nesse período, pode haver um incremento na produtividade de raízes finas, buscando aumentar a área de captação de água, principalmente em solo arenoso como os de baixio (ARAGÃO et al., 2009; SILVA,



2014). Dessa forma, as árvores podem investir mais em produtividade abaixo do solo; assim, ainda que o incremento no tronco seja desacelerado, a produtividade primária líquida do sistema, considerando acima e abaixo do solo, pode se manter constante e ou até aumentar (FEELEY et al., 2007).

Com base em imagens de satélite, a seca de 2005 provocou danos na estrutura do dossel das árvores, o qual demorou alguns anos para se recuperar (SAATCHI et al., 2012). Os resultados sugerem que secas com frequências de 5 a 10 anos podem causar alterações estruturais permanentes no dossel. No ano posterior à seca, em reflexo das perdas na cobertura do dossel, as árvores priorizaram o investimento mais em folhas do que em raízes finas (DOUGHT et al., 2015).

O entendimento da influência do clima na produtividade da floresta é a chave para o desenvolvimento de modelos mais precisos do comportamento das florestas perante a mudança do clima. Apesar de muitos estudos quantificando a produção de serapilheira e o incremento diamétrico da floresta, ainda existem algumas lacunas geográficas (MALHI et al., 2011). Em resumo, há uma variação substancial na alocação acima do solo, sem um único fator para explicação, pois estes se mostraram diferentes na partição da produtividade de serapilheira a produção de biomassa lenhosa para todos os locais de florestas tropicais amostrados (MALHI et al., 2015).

## CONCLUSÕES

A dinâmica de incremento e deposição de serapilheira durante o período de estudo demonstrou resultados que corroboram outros estudos para a floresta amazônica. Com base no estudo e no referencial teórico é forte o indicio de que as florestas na Amazônia Central têm a precipitação como um fator importante em todas as suas correlações, considerando a quantidade e distribuição da chuva. Diferenças no regime hídrico, com extensão de períodos secos e diminuição das chuvas podem afetar consideravelmente a produtividade das florestas e, conseqüentemente, o ciclo de carbono.

O mecanismo de crescimento e a reciclagem de nutrientes estão especificamente desenhados e sincronizados para o padrão de precipitação. As estimativas de produção de serapilheira para a região apresentam ainda grandes incertezas. As diferenças entre a produção nas toposequências avaliadas demonstram quão variada é a produção das florestas e as suas inter-relações. Essa característica, quando extrapolada resulta em grande erro nas estimativas. Nesse sentido, um maior esforço amostral e continuidade dos estudos pode melhorar a confiabilidade das estimativas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTONIO, I. C. *Boletim agrometeorológico 2010*: Estação agroclimatológica da Embrapa Amazônia Ocidental, no Km 29 da rodovia AM-010. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2011, 28 p. (Documentos, 93). Disponível em: [http://servicos.cpa.embrapa.br/livraria/arquivos\\_gratis/Doc\\_93.pdf](http://servicos.cpa.embrapa.br/livraria/arquivos_gratis/Doc_93.pdf) Acesso: 25 fev. 2015.

ARAGÃO, L. E. O. C.; POULTER, B.; BARLOW, J. B.; ANDERSON, L. O.; MALHI, Y.; SAATCHI, S.; PHILLIPS, O. L.; GLOOR, E. Environmental change and the carbon balance of Amazonian forests. *Biological Reviews*, v. 89, n. 4, p. 913-931, nov. 2014.

BRANDO, P. M.; NEPSTAD, D. C.; DAVIDSON, E. A.; TRUMBORE, S. E.; RAY, D.; CAMARGO, P. Drought effects on litterfall, wood production and belowground carbon cycling in an Amazon forest: results of a throughfall reduction experiment. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, v. 363, p. 1839–1848, 2008.

CHAVE, J.; NAVARRETE, D.; ALMEIDA, S.; ÁLVAREZ, E.; ARAGÃO, L. E. O. C.; BONAL, D.; CHÂTELET, P.; SILVA-ESPEJO, J. E.; GORET, J. Y.; VON HILDEBRAND, P.; JIMÉNEZ, E.; PATIÑO, S.; PEÑUELA, M. C.; PHILLIPS, O. L.; STEVENSON, P.; MALHI, Y. Regional and seasonal patterns of litterfall in tropical South America. *Biogeosciences*, v. 7, n. 1, p. 43–55, 2010.

CLARK, D. A.; BROWN, S.; KICKLIGHTER, D. W.; CHAMBERS, J. Q. Measuring net primary production in forests: concepts and field methods. *Ecological Applications*, Washington, v. 11, n. 2, p. 356-370, 2001.

- CLARK D. B.; CLARK D. A.; OBERBAUER S. F. Annual wood production in a tropical rain forest in NE Costa Rica linked to climatic variation but not to increasing CO<sub>2</sub>. **Global Change Biology**, London, v. 16, n. 2, p. 747–759, 2010.
- DOUGHTY, C. E.; METCALFE, D. B.; GIRARDIM, C. A. J.; AMÉZQUITA, F. F.; CABRERA, D. G.; HUASCO, W. H.; SILVA-ESPEJO, J. E.; ARAUJO-MURAKAMI, A.; COSTA, M. C.; ROCHA, W.; FELDPAUSCH, T. R.; MENDOZA, A. L. M.; COSTA, A. C. L.; MEIR, P.; PHILLIPS, O. L.; MALHI, Y. Drought impact on forest carbon dynamics and fluxes in Amazonia. **Nature**, London, v. 519, n. 7541, p. 78-82, 2015.
- GUAN, K.; PAN, M.; LI, H.; WOLF, A.; WU, J.; MEDVIGY, D.; CAYLOR, K. K.; SHEFFIELD, J.; WOOD, E. F.; MALHI, Y.; LIANG, M.; KIMBALL, J. S.; SALESKA, S. R.; BERRY, J.; JOINER, J.; LYAPUSTIN, A. I. Photosynthetic seasonality of global tropical forests constrained by hydroclimate. **Nature Geoscience**, v. 8, p. 284-289, 2015.
- FERRAZ, J. et al. Distribuição dos solos ao longo de dois transectos em floresta primária ao norte de Manaus (AM). In: HIGUSHI, N.; CAMPOS, M. A. A.; SAMPAIO, P. T. B.; SANTOS, J. (Eds.) **Pesquisas para conservação da floresta e reabilitação de áreas degradadas**. Manaus: INPA, 1998. p. 110-143
- FEELEY, K. J.; WRIGHT, S. J.; SUPARDI, M. N. N.; KASSIM, A. R.; DAVIES, S. J. Decelerating growth in tropical forest trees. **Ecology Letters**, v. 10, n. 6, p. 461–469, 2007.
- FIELD, C. B.; BEHRENFELD, J. M.; RANDERSON, J. T.; FALKOWSKI, P. Primary Production of the Biosphere: Integrating Terrestrial and Oceanic Components. **Science**, London, v. 281, n. 5374, p. 237-240, mar. 1998.
- HERRERA, R.; JORDAN, C. F.; KLINGE, H.; MEDINA, E. Amazon ecosystems: Their structure and functioning with particular emphasis on nutrients. **Interciência**, v. 3, n. 4, p. 223-232, 1978.
- HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; LIMA, A. J. N.; HIGUSHI, F. G.; CHAMBERS, J. Q. A floresta amazônica e a água da chuva. **Floresta**, Curitiba, v. 41, n. 3, p. 427-434, 2011.
- KLINGE, H. RODRIGUES, W. A. Litter production in an area of Amazonian terra firme forest. **Amazoniana**, v. 1, 287–310, 1968.
- LEWIS, S. L.; BRANDO, P. M.; PHILLIPS, O. L.; VAN DER HEIJDEN, G. M. F.; NEPSTAD, D. The 2010 Amazon drought. **Science**, London, v. 331, n. 6017, p. 554, 2011.
- LUIZÃO, F. J. Litter Production and Mineral Element Input to the Forest Floor in a Central Amazonian Forest. **GeoJournal**, v. 19, n. 4, p. 407-417, 1989.
- LUIZÃO, F. J. SCHUBART, H. R. Litter production and decomposition in a terra-firme forest of central Amazon. **Experientia**, v. 43, n. 3, p. 259-265, 1987.
- LUIZÃO, R. C. C.; LUIZÃO, F. J.; PAIVA, R. Q.; MONTEIRO, T. F.; SOUSA, L. S.; KRUIJTS, B. Variation of carbon and nitrogen cycling processes along a topographic gradient in a central Amazonian Forest. Blackwell Publishing Ltd, **Global Change Biology**, London, v. 10, p. 592–600, 2004.
- MALHI, Y. C. E.; DOUGHTY, C.; GALBRAITH, D. The allocation of ecosystem net primary productivity in tropical forests. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, v. 366, n. 1582, p. 3225-3245, 2011.
- MALHI, Y. C. E.; DOUGHTY, C. E.; GOLDSMITH, G. R.; METCALFE, D. B.; GIRARDIN, C. A. J.; MARTHEWS, T. R.; AGUILA-PASQUEL, J.; ARAGÃO, L. E. O. C.; ARAUJO-MURAKAMI, A.; BRANDO, P.; COSTA, A. C. L.; SILVA-ESPEJO, J. E.; AMÉZQUITA, F. F.; GALBRAITH, D. R.; QUESADA, C. A.; ROCHA, W.; SALINAS-REVILLA, N.; SILVÉRIO, D.; MEIR, P.; PHILLIPS, O. L. The linkages between photosynthesis, productivity, growth and biomass in lowland Amazonian forests. **Global Change Biology**, London, v. 21, n. 6, p. 2283-2295, 2015.

MALHI, Y. C. E.; WOOD, D.; BAKER, T. R.; WRIGHT, J.; PHILLIPS, O. L.; COCHRANE, T.; MEIR, P.; CHAVE, J.; ALMEIDA, S.; ARROYO, L.; HIGUCHI, N.; KILLEEN, T. J.; LAURANCE, S. G.; LAURANCE, W. F.; LEWIS, S. L.; MONTEAGUDO, A.; NEILL, D. A.; VARGAS, P. N.; PITMAN, N. C. A.; QUESADA, C. A.; SALOMÃO, R.; SILVA, J. N. M.; LEZAMA, A. T.; TERBORGH, J.; MARTÍNEZ, R. V.; VINCETI, B. The regional variation of aboveground live biomass in old-growth Amazonian forests. *Global Change Biology*, London, v. 12, n. 7, p. 1107-1138, 2006.

MARRA, D. M.; CHAMBERS, J. Q.; HIGUCHI, N.; TRUMBORE, S. E.; RIBEIRO, G. H. P. M.; SANTOS, J.; NEGRÓN-JUÁREZ, R. I.; REU, B.; WIRTH, C. Large-scale wind disturbances promote tree diversity in a Central Amazon Forest. *PLoS One*, v. 9, n. 8, 2014.

MARTIUS, C.; HÖFER, H.; GARCIA, M. V. B.; BÖMBKE, J.; HANAGARTH, W. Litter fall, litter stocks and decomposition rates in rainforest and agroforestry sites in central Amazonia. *Nutrient Cycling Agroecosystem*, Dordrecht, v. 68, n. 2, p.137-154, 2004.

MYNENI, R. B.; YANG, W.; NEMANI, R. R.; HUETE, A. R.; DICKINSON, R. E.; KNYAZIKHIN, Y.; DIDAN, K.; FU, R.; NEGRÓN JUÁREZ, R. I.; SAATCHI, S. S.; HASHIMOTO, H.; ICHII, K.; SHABANOV, N. V.; TAN, B.; RATANA, P.; PRIVETTE, J. L.; MORISSETTE, J. T.; VERMOTE, E. F.; ROY, D. P.; WOLFE, R. E.; FRIEDL, M. A.; RUNNING, S. W.; VOTAVA, P.; EL-SALEOUS, N.; DEVADIGA, S.; SU, Y.; SALOMONSON, V. V. Large seasonal swings in leaf area of Amazon rainforests. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Washington, v. 104, n. 12, p. 4820-4823, 2007.

PHILLIPS, O. L. et al. Drought Sensitivity of the Amazon Rainforest. *Science*, London, v. 323, n. 5919, p. 1344-1347, mar. 2009.

RICE, A. H.; PYLE, E. H.; SALESKA, S. R.; HUTYRA, L.; PALACE, M.; KELLER, M.; CAMARGO, P. B.; PORTILHO, K.; MARQUES, D. F.; WOFSY, S. C. Carbon balance and vegetation dynamics in an old-growth Amazonian forest. *Ecological Applications*, Washington, v. 14, n. 4, p. 55-71, 2004.

ROWLAND, L. Y.; MALHI, Y.; SILVA-ESPEJO, J. E.; FARFÁN-AMÉZQUITA, F.; HALLADAY, K.; DOUGHTY, C. E.; MEIR, P.; PHILLIPS, O. L. The sensitivity of wood production to seasonal and interannual variations in climate in a lowland Amazonian rainforest. *Oecologia*, Berlin, v. 174, n. 1, p. 295-306, 2014.

SILVA, R. O. **Turnover de raízes finas em uma floresta de terra firme na Amazônia Central**. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciências de Florestas Tropicais). Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2009.

SILVA, R. P.; NAKAMURA, S.; AZEVEDO, C. P.; CHAMBERS, J.; ROCHA, R. M.; PINTO, A. C. M.; SANTOS, J.; HIGUCHI, N. Uso de banda dendrométrica na definição de padrões de crescimento individual em diâmetro de árvores da bacia do rio Cuieiras. *Acta Amazônica*, Manaus, v. 33, n. 1, p. 67-84, 2003.

SILVA, R. P.; SANTOS, J.; TRIBUZY, E. S.; CHAMBERS, J. Q.; NAKAMURA, S.; HIGUCHI, N. Diameter increment and growth patterns for individual tree growing in Central Amazon, Brazil. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v. 166, n. 1-3, p. 295-301, 2002.

TELLES, E. D. C.; CAMARGO, P. B.; MARTINELLI, L. A.; TRUMBORE, S. E.; COSTA, E. S.; SANTOS, J.; HIGUCHI, N.; OLIVEIRA JR., R. C. Influence of soil texture on carbon dynamics and storage potential in tropical forest soils of Amazonia. *Global Biogeochemical Cycles*, v. 17, n. 2, p. 9-1-12, 2003.

TRIBUZY, E. S. **Metabolismo do carbono e do nitrogênio em plantas de Ingá (Ingá vera Willd.) submetidas a diferentes alturas e tempos de submersão**. 1998. 64 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1998.

VAN SCHAIK, C. P.; TERBORGH, J. W.; WRIGHT, S. J. The phenology of tropical forests: adaptive significance and consequences for primary consumers. *Annual Review Ecology Systematics*, Palo Alto, v. 24, p. 353-377, 1993.

VIEIRA, S. A. **Mudanças globais e taxa de crescimento arbóreo na Amazônia**. 2003, 133 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

VITOUSEK, P. M. Litterfall, nutrient cycling, and nutrient limitation in tropical forests. **Ecology**, Washington, v. 65, n. 1, p. 285-298, 1984.

VON ENDE, C. N. Repeated-Measures Analysis: Growth and Other Time-Dependent Measures. In: SCHEINER, S. M.; GUREVITCH, J. **Design and Analysis of Ecological Experiments**, Chapman & Hall. p. 113-137, 1993.

WAGNER, F.; ROSSI, V.; STAHL, C.; BONAL, D.; HÉRAULT, B. Water availability is the main climate driver of Neotropical tree growth. **PLoS One**, v. 7, n. 4, 2012.

Recebido em 19/07/2015

Aceito para publicação em 27/04/2016