

DIÂMETRO À ALTURA DO PEITO DE ÁRVORES EM UMA ÁREA DE FLORESTA PRIMÁRIA NO SUDOESTE DA AMAZÔNIA

Cássia Cortes Valadão - cassiacortes2@gmail.com

Renata Gonçalves Aguiar - rgaguiar@unir.br

Nelma Tavares Dias Soares - ntds08@gmail.com

Alessandro Carioca de Araújo - alessandro.araujo@gmail.com

Dione Judite Ventura da Silva - dionejvs@hotmail.com

RESUMO

A Floresta Amazônica é o maior dentre os ecossistemas terrestres tropicais, desempenhando um importante papel no ciclo global do carbono, pelo estoque e absorção de carbono excedente na atmosfera. Elucidar as alterações em estruturas florestais torna-se fundamental para o entendimento de como o ecossistema responderá frente às mudanças climáticas e atmosféricas. Deste modo, este estudo teve por objetivo quantificar e avaliar o Diâmetro à Altura do Peito (DAP) de árvores obtidos em levantamentos realizados em uma parcela permanente alocada na Reserva Biológica do Jaru-RO, nos anos de 2016 e 2018. Essa parcela foi instalada em um sítio experimental pertencente ao Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia. O inventário florestal foi realizado em 2016 por um parabolânico vinculado ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia onde foram identificados os indivíduos com DAP > 10 cm e classificados por categorias. Em 2018 foram realizadas novas medidas do DAP em 45% dos indivíduos da parcela permitindo a análise da variação ao longo dos dois anos. Ao avaliar o DAP entre os anos, encontrou-se aumento significativo ($\alpha = 0,05$) de 2,42% nos indivíduos com DAP de 10-20 cm, 0,98% nos indivíduos com DAP de 21-40 cm, enquanto nos indivíduos com DAP > 40 cm não houve aumento significativo, demonstrando um aumento considerável do DAP em indivíduos de menor porte em comparação aos de maior na parcela permanente.

Palavras-chave: Floresta Amazônica, Estoque de carbono, Inventário florestal.

1. INTRODUÇÃO

Constituindo metade das florestas tropicais do mundo, a Amazônia apresenta forte potencial a influenciar o balanço e o fluxo de carbono terrestre, pelo controle significativo sobre as concentrações atmosféricas de dióxido de carbono (CO₂) e, portanto, sobre as taxas de mudanças climáticas globais (MALHI et al., 2013; PHILLIPS; BRIENEN, 2017).

A diversidade e o estoque de carbono apresentam alta variabilidade ao longo da Floresta Amazônica, devido às diferentes características climáticas e edáficas da região (PAN et al., 2013; SULLIVAN et al., 2017).

Medições em longo prazo de trocas de carbono entre ecossistema e atmosfera através de torres de fluxos, permitem avaliar qual o balanço de carbono das florestas Amazônicas, a sazonalidade do metabolismo do ecossistema e de que modo esse varia através dos tipos de biomas e padrões de uso da terra (SALESKA et al., 2013).

Estudos realizadas com fluxos de CO₂, por outro lado, não são unânimes quanto a absorção contínua de CO₂ pela floresta Amazônica. Saleska et al. (2003), por exemplo, observaram no leste

da Amazônia que a floresta foi uma fonte líquida de 1,3 Mg C ha⁻¹ a⁻¹ para a atmosfera e Hutyrá et al. (2007) encontraram um sistema próximo ao equilíbrio ao nordeste desta.

Medidas biométricas quando combinadas com as obtidas em torres de fluxos podem contribuir a elucidar se a floresta é ou não um sorvedouro de carbono (MILLER et al., 2004).

O monitoramento em longo prazo de parcelas permanentes englobando diferentes áreas do mosaico florestal amazônico são fundamentais para quantificar e avaliar os estoques de carbono na biomassa das árvores, uma vez que pequenas mudanças na estrutura florística de florestas maduras podem atingir valores expressivos quando extrapoladas para regiões maiores (PHILLIPS; BRIENEN., 2017).

Deste modo, o presente estudo busca quantificar e avaliar o Diâmetro à Altura do Peito de árvores obtidos em inventários florestais realizados em uma parcela permanente em área de floresta primária no sudoeste da Amazônia nos anos de 2016 e 2018.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A Amazônia é o maior dentre os ecossistemas terrestres tropicais, cobrindo uma área de aproximadamente 6x10⁶ km² (PAN et al., 2013). É um dos maiores reservatórios de carbono da superfície terrestre estocando cerca de 150 – 200 Pg C em biomassa viva e solo (FELDPAUSCH et al., 2012).

O estoque estimado de biomassa em toda Floresta Amazônica entre 1980 e 2010 (430 [213, 669] Tg C a⁻¹) superou as emissões pela combustão de combustíveis fósseis (149 [131, 167] Tg C a⁻¹) em oito das nove nações amazônicas analisadas por Phillips e Brienén (2017), entre elas o Brasil. Por outro lado, Brienén et al. (2015) em estudo baseado em inventários florestais, demonstraram que a reserva de carbono líquida em áreas de florestas intactas tropicais decresceu 30%, entre as décadas de 80 e 90, com as taxas de crescimento paralisadas, aumento da mortalidade e encurtamento do tempo de residência do carbono.

Estimativas realizadas em diferentes regiões, por torres de medições de fluxo de CO₂ sugerem ainda que a floresta não apresenta constante absorção de CO₂ mantendo-se em estado de equilíbrio ou sendo fonte líquida de carbono, como resultados encontrados por Vourlitis et al. (2011) e Saleska et al. (2013), respectivamente, o que implica em alterações do processo de fixação de CO₂ pela floresta e estocagem na forma de biomassa aérea e radicular em resposta aos fatores hidroclimáticos ou edáficos da região.

Diante disso, o monitoramento em longo prazo de parcelas permanentes englobando diferentes tipos de florestas, solo e clima na região Amazônica possibilita quantificar os estoques e

fluxos de biomassa, permitindo estimativas detalhadas da dinâmica da vegetação, bem como esclarecer de que modo essa responderá seja para acelerar ou mitigar as mudanças climáticas (CELEDÓN et al., 2012; PHILLIPS et al., 2013).

A estimativa da biomassa acima do solo e estoque de carbono pode ser obtida de forma confiável através de modelos estatísticos que se baseiem em equações alométricas que admitem diversos parâmetros explicativos. Ao analisar diversas equações, Lima (2015) observou que o Diâmetro à Altura do Peito (DAP) e a altura da árvore proporcionaram maior precisão nas estimativas de biomassa, sendo, portanto, medidas cruciais para o estudo do estoque de carbono em uma floresta.

3. METODOLOGIA

Este estudo foi realizado na Reserva Biológica do Jaru (Rebio Jaru), onde está em funcionamento desde 1999 uma torre micrometeorológica de aproximadamente 61,5 m pertencente à rede de torres do Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (Programa LBA).

A reserva está na tutela do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, instituída como Unidade de Conservação de Proteção integral em 11 de julho de 1979, pelo Decreto Federal n. 83.716 (BRASIL, 1979).

Com altitude aproximada de 120 m, é classificada como Floresta Primária Ombrófila Aberta e sazonalmente seca (COUPE et al., 2013; CULF et al., 1997), com árvores de altura média de 35 m, algumas emergentes de até 45 m e um sub-bosque rico em palmeiras, com aberturas de até 20 m (RUMMEL et al., 2002; ZERI; SÁ; NOBRE, 2015).

A região apresenta período úmido característico de janeiro a março e período seco de julho a setembro. A precipitação média entre os anos de 1999 a 2010 foi de 2001 mm (GOMES et al., 2015), por sua vez a média de temperatura do ar no período seco e úmido na região foi $25,7 \pm 0,6$ (todo valor após o sinal \pm correspondem a intervalo de confiança de 95%) e $24,2 \pm 1,3$ respectivamente, de 2004 a 2010 (ANDRADE et al., 2016).

Foi instalada, em fevereiro de 2016, uma parcela permanente de 1 ha, localizada a 80 m da torre micrometeorológica (Figura 1), alocada aleatoriamente dentro dos estratos geomorfológicos locais e em área de pegada (*footprint*) da torre.

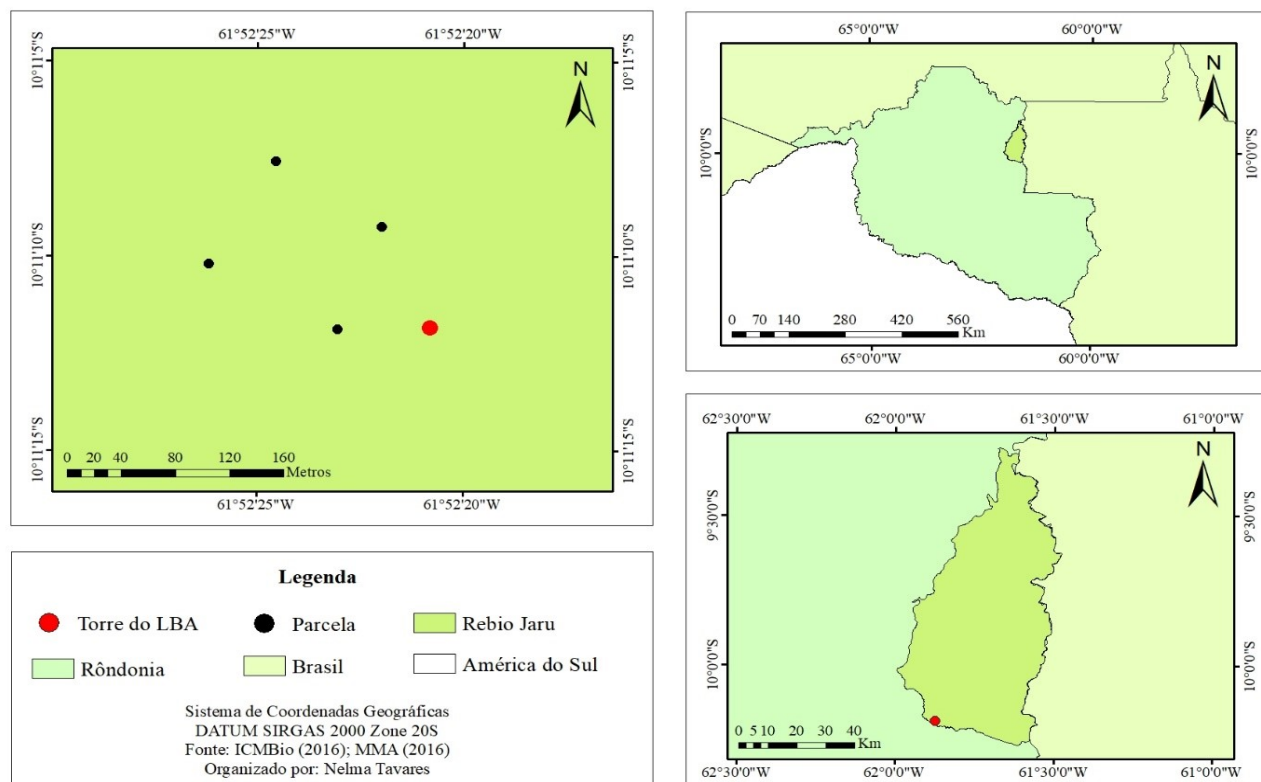


Figura 1 – Localização da parcela em relação à torre do Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA) na Reserva Biológica do Jarú (Rebio Jarú).

Utilizou-se para instalação da parcela métodos da Rede Amazônica de Inventários Florestais (RAINFOR) descritos por Phillips et al. (2016) e Marthews et al. (2012).

Um mês após a instalação da parcela, foi realizado o inventário florestal em campo por um parobotânico vinculado ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), utilizando para a identificação florística o levantamento de todas as árvores com $DAP \geq 10$ cm. Os diâmetros foram obtidos a partir das medições das circunferências dos troncos por meio de fita métrica milimetricamente graduada, na qual todos os valores encontrados foram convertidos por meio da Equação 1.

$$DAP = \frac{\text{Circunferência à Altura do Peito}}{\pi}$$

(1)

Posteriormente à coleta dos dados foi realizada a classificação das árvores de acordo com o DAP, sendo pequenas de 10-20 cm, médias de 21-40 cm e grandes > 40 cm, seguindo os procedimentos estabelecidos pela RAINFOR (MARTHEWS et al., 2012).

Em fevereiro de 2018, foram realizadas novamente medidas do DAP em 45% dos 506 indivíduos identificados no primeiro levantamento igualmente por fita métrica, retirando-se da

amostragem palmeiras e lianas. Ao estratificar em categorias de DAP a amostra final foi de 148 árvores pequenas, 63 médias e 19 grandes, totalizando 230 árvores novamente medidas. Os indivíduos após estratificados foram selecionados por amostragem aleatória simples utilizando o Minitab 17.

Todos os dados obtidos nos levantamentos foram tabulados no programa Excel 2016 e os testes realizados com um nível de confiança de 95%, no programa Minitab 17. Para averiguação de normalidade aplicou-se teste de Kolmogorov-Smirnov ($\alpha = 0,05$).

Devido a não aderência aos pressupostos de normalidade e homocedasticidade a avaliação do DAP foi realizada por meio do teste Wilcoxon Signed Rank de amostra pareadas ($\alpha = 0,05$), sendo o intervalo de confiança (IC) obtido por meio de reamostragem *bootstrap*, com 1.000 repetições ($\alpha = 0,05$).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A categoria que apresentou maior diferença média no DAP entre os anos analisados foi a pequena (P) com um crescimento de 0,34 centímetros, porém, o oposto foi observado na categoria G que apresentou um decréscimo de 0,19 centímetros, sendo também a categoria que apresenta maior desvio padrão e amplitude (Tabela 1). Isso pode ser explicado pelo maior crescimento das árvores nas fases iniciais de desenvolvimento.

Tabela 1 – Medidas de tendências centrais e de variabilidade dos Diâmetros à Altura do Peito (cm) de cada categoria nos anos de 2016 e 2018 na Reserva Biológica do Jaru (Rebio Jaru)

Estatística/Categoria	Pequena		Média		Grande	
	2016	2018	2016	2018	2016	2018
Média	14,09	14,43	26,25	26,51	62,56	62,37
Mediana	13,84	14,12	25,03	25,06	54,14	50,99
Moda	10,51	11,94	22,61	21,97	48,09	*
Desvio padrão	2,72	2,99	4,76	4,70	24,64	24,92
Amplitude	9,71	18,89	19,43	18,82	77,39	76,05
Mínimo	10,03	10,19	20,06	21,15	40,13	40,73
Máximo	19,75	29,08	39,49	39,97	117,52	116,78
Tamanho amostral	148	148	63	63	19	19

Nota: * =Amodal.

Analisando os dados de variação do DAP (Tabela 2), DAP obtido em 2018 menos o obtido em 2016, observou-se que aproximadamente 83% dos indivíduos censitados apresentaram aumento em seu diâmetro de até 3 cm e 13% evidenciaram um decréscimo. Chagas et al. (2004) em um estudo

realizado com medidas mensais do DAP ao longo de 16 meses em uma área de floresta madura no estado de São Paulo, atribuiu a redução do diâmetro das espécies arbóreas em resposta ao déficit hídrico no período de baixa precipitação, de modo geral estas retornaram o crescimento ao longo do período chuvoso.

Cerca de 65% do aumento do DAP nos indivíduos observado são referentes a árvores de pequeno porte (havendo mudança de categoria em quatro árvores para médio porte), 30% a árvores de porte médio, e apenas 5% refere-se a indivíduos de grande porte.

Tabela 2 - Frequência de indivíduos por classe de variação do Diâmetros à Altura do Peito (DAP) entre os anos de 2016 e 2018 em amostra de 230 árvores, na Reserva Biológica do Jarú

Variação do DAP (cm)	Frequência	Frequência Percentual
[-15; -12 [	1	0,43
[-12; -9 [	1	0,43
[-9; -6 [	0	0,00
[-6; -3 [	1	0,43
[-3; 0 [	31	13,48
[0; 3 [	190	82,61
[3; 6 [	5	2,17
[6; 9 [	0	0,00
[9; 12]	1	0,43
Total	230	100

Ao analisar a significância das médias do DAP nas três categorias (Tabela 3), foi encontrado aumento altamente significativo ($p < 0,001$) de 2,42% na categoria de 10-20 cm ao comparar os dados do DAP obtidos em 2016 e 2018. Na categoria de 21-40 cm o aumento foi de 0,98%, também altamente significativo ($p < 0,001$).

Tabela 3 - Valores médios (cm) e intervalos de confiança (IC) dos Diâmetros à Altura do Peito (DAP) obtidos por classe, nos censos realizados em março de 2016 e fevereiro de 2018 na Reserva Biológica do Jarú. As diferenças significativas foram detectadas utilizando o teste de Wilcoxon Signed Rank (p valor $\leq 0,05$).

Classe de DAP	2016		2018		n	p-valor
	Média	IC	Média	IC		
Pequena 10-20 cm	14,09	[13,68; 14,60]	14,43	[13,97; 14,97]	148	< 0,001
Média 21-40 cm	26,25	[25,19; 27,39]	26,51	[25,44; 27,61]	63	< 0,001
Grande > 40 cm	62,55	[52,48; 74,48]	62,37	[52,53; 74,27]	19	0,623

Nota: n = Tamanho amostral; p- valor= derivado do teste de Wilcoxon Signed Rank ($\alpha = 0,05$).

Por conseguinte, apenas na categoria referente às árvores de grande porte não houve diferença significativa (p -valor = 0,623) entre os dados obtidos em 2016 (62,55 cm) e 2018 (62,37 cm). Sheil et al. (2016) por exemplo, em análises realizadas em áreas de florestas na Bolívia, Cameron, e Tailândia entre os anos de 2006 e 2010, não detectou nenhuma tendência expressiva de aumento de área basal entre os maiores indivíduos das espécies em estudo, essa diretamente relacionada com as medidas do DAP.

De acordo com Bowman et al. (2013) o incremento de altura e diâmetro das árvores geralmente atingem o pico no início de sua vida, enquanto o pico de incremento da área basal e biomassa só é atingido com indivíduo em idade maior, corroborando com o resultado encontrado neste estudo de expressivo aumento do DAP em indivíduos de menor porte em detrimento aos de maior na parcela permanente.

Sheil et al. (2016) em seus estudos retratam a importância de medidas contínuas para avaliação de crescimento, uma vez que mudanças no caule (quantidade de água e perda de casca), passagem da fita em locais diferentes podem superestimar ou subestimar o crescimento. Além do que a análise de apenas um intervalo entre as medidas não permite distinguir tendências de impacto de variáveis microclimáticas ou outros eventos.

A utilização de anéis dendrométricos em substituição de medidas realizadas por fita métrica, é uma abordagem indicada por Chitra-Tarak et al. (2015) para correta aferição de crescimento, permitindo uma reinterpretação dos resultados encontrados nas tendências temporais devido ao entendimento das flutuações reversíveis induzidas pela água.

A biomassa florestal está diretamente relacionada à estocagem de carbono pelas florestas, Souza et al. (2011) relatam que aproximadamente 65% do estoque, conseqüentemente sequestro de CO₂, estão concentrados em indivíduos com DAP < 45 cm. Diante disso, visto que crescimentos significativos observados neste estudo entre os anos foram encontrados nos indivíduos de pequeno e médio porte, infere-se que ocorre uma estocagem de carbono florestal considerável na parcela analisada e aumenta-se o interesse do estudo das mudanças de biomassa acima do solo por meio de medidas contínuas por dendrometria na região.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao quantificar e avaliar o diâmetro à altura do peito dos indivíduos arbóreos entre os levantamentos realizados em 2016 e 2018, encontrou-se um aumento altamente significativo nas

categorias de pequeno e médio porte, enquanto nos indivíduos classificados como de grande porte não houve diferença significativa.

Visto que há estudos que apontam a maior estocagem de carbono em indivíduos de grande porte, aumenta-se o interesse na continuação das medidas por dendrometria na região e do estudo das mudanças de biomassa acima do solo e estocagem de carbono, principalmente como possível resposta do ecossistema aos impactos de alterações climáticas.

Elucidar a sazonalidade do estoque de carbono na biomassa das árvores por meio de medidas dendrométricas, juntamente com medidas de fluxo de CO₂ realizadas na torre micrometeorológica do Programa LBA possibilitará avanços no entendimento do papel da floresta na absorção de CO₂ atmosférico.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, R. N. et al. Variabilidade sazonal e interanual do microclima em área de floresta no sudoeste da Amazônia. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 38, p. 169-176. 2016.

BRASIL. Decreto-lei n. 83.716, de 11 de julho de 1979. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 83, p. 2, 1979. Seção 1.

BOWMAN, S. J. D. et al. Detecting trends in tree growth: not so simple. **Trends in Plant Science**, Xi'an, v. 18, n. 1, p. 11-17, jan. 2013.

BRIENEN, R. J. et al. Long-term decline of the Amazon carbon sink. **Nature**, Londres, v. 519, p. 344-348, mar. 2015.

CHAGAS, K. R. Crescimento Diametral de Espécies Arbóreas em Floresta Estacional Semidecidual ao Longo de Seis Anos. In. BÔAS, V. O; DURIGAN, G. **Pesquisas em Conservação e Recuperação Ambiental no Oeste Paulista**. São Paulo, v.1, p. 265-290, jan. 2004.

CELEDÓN, J. M. et al. Sensitivity and variability of two plant water stress indicators: exploring criteria for choosing a plant monitoring method for avocado irrigation management. **Chilean Journal of Agricultural Research**, Chillán, v. 72, n. 3, p. 379-387, jul. 2012.

CHITRA-TARAK, R. et al. And yet it shrinks: a novel method for correcting bias in forest tree growth estimates caused by water-induced fluctuations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 336, p. 129-136, jan. 2015.

COUPE, R. N. et al. What drives the seasonality of photosynthesis across the Amazon basin? A cross-site analysis of eddy flux tower measurements from the Brasil flux network. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 182-183, p. 128-144, dez. 2013.

CULF, A. D. et al. The influence of the atmospheric boundary layer on carbon dioxide concentrations over a tropical forest. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 85, n. 3-4, p. 149-158, jul. 1997.

FELDPAUSCH, T. R. et al. Tree height integrated into pantropical forest biomass estimates. **Biogeosciences**, Germany, v. 9, n. 9, p. 3381-3403, abr. 2012.

GOMES, J. B. et al. Conversão de Florestas Tropicais em sistemas pecuários na Amazônia: Quais são as implicações no microclima da região? **Revista Brasileira de Climatologia**, São Paulo, v. 17, p. 67-81, jul./dez. 2015.

HUTYRA, R. L. et al. Seasonal controls on the exchange of carbon and water in an Amazonian rain forest. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 112, n. G03008, p. 1-16, Ago. 2007.

LIMA, R. C. **Equações para estimativas de biomassa de uma Floresta tropical úmida do Amapá**. Recife, UFRPE, 2015. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2015.

MALHI, Y. et al. The Production, Storage, and Flow of Carbon in Amazonian Forests. In: KELLER, M. et al. **Amazonia and Global Change**, Washington, v. 186, n. 1, p. 355-371, mar. 2013.

MARTHEWS, T. et al. **Manual de campo para censo em parcelas intensivas: Medição da alocação de carbono da floresta tropical e ciclismo**. A RAINFOR-GEM Field Manual for Intensive Census Plots. Manual, Global Ecosystems Monitoring Network. v. 2.2, 2012.

MICROSOFT. Excel 2016. California, 2016. Disponível em: <<https://products.office.com/en/excel>>. Acesso em: 26 jun. 2016.

MILLER, S. D. et al. Biometric and micrometeorological measurements of tropical forest carbon balance. **Ecological Applications**, Washington, v. 14, n. sp4, p. 114-126, ago. 2004

MINITAB, Minitab Statistical Software 2017. EUA. Disponível em: <<http://www.minitab.com/pt-br>>. Acesso em: 26 maio. 2016.

PAN, Y. et al. The Structure, Distribution, and Biomass of the World's Forests. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, Palo Alto, v. 44, p. 593-622, out. 2013.

PHILLIPS, L. O.; BRIENEN, R. J. Carbon uptake by mature Amazon forests has mitigated Amazon nations carbon emissions. **Carbon Balance Management**, Londres, v. 12, n. 1, p. 2-9 fev. 2017.

PHILLIPS, L. O. et al. Changes in Amazonian Forest Biomass, Dynamics, and Composition, 1980–2002. In: KELLER, M. et al. **Amazonia and Global Change**, Washington, v. 186, n. 1, p. 373-387, mar. 2013.

PHILLIPS, L. O. et al. **Manual de campo para o estabelecimento e remedição de parcelas da RAINFOR**. A RAINFOR-GEM Field Manual for Intensive Census Plots. 2016.



RUMMEL, U. et al. Eddy covariance measurements of nitric oxide flux within an Amazonian rain forest. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 107, n. D20, p. 171-179, set. 2002.

SALESKA, S. et al. Carbon in Amazon Forests: Unexpected Seasonal Fluxes and Disturbance-Induced Losses. **Science**, Washington, v. 302, n. 5650, p. 1554-1557, nov. 2003.

SALESKA, S. et al. Ecosystem Carbon Fluxes and Amazonian Forest Metabolism In: KELLER, M. et al. **Amazonia and Global Change**, Washington, v. 186, n. 1, p. 389-407, mar. 2013.

SHEIL, D. et al. Does biomass growth increase in the largest trees? Flaws, fallacies and alternative analyses. **Functional Ecology**, London, v. 31, n. 3, p. 538-581, set. 2016.

SOUZA, A. L. et al. Estoque e crescimento em volume, biomassa, carbono e dióxido de carbono em Floresta Estacional Semidecidual. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 6, p. 1277-1285, nov./dez.2011.

SULLIVAN, P. J. M. et al. Diversity and carbon storage across the tropical forest biome. **Scientific Reports**, London, v. 7, n. 39102, p. 1-12, jan. 2017

VOURLITIS, G. L. et al. Temporal patterns of net CO₂ exchange for a tropical semideciduous forest of the southern Amazon Basin. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 116, n. G3, p. 1-15, set. 2011.

ZERI, M.; SÁ, D. L. A.; NOBRE A. Contribution of coherent structures to the buoyancy heat flux under different conditions of stationarity over Amazonian forest sites. **Atmospheric Science Letters**, Londres, v. 16, n. 3, p. 228-233, set. 2015.