

Evolução dos solos da Amazônia e sua relação com a densidade da madeira

Monique Rodrigues da Silva Andrade Maia^{1,2}

Liana O. Anderson^{2,3}

Carlos Alberto Quesada¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas da Amazonia/CDAM
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Coordenação de Dinâmica Ambiental.
Avenida Ephigenio Salles 2239 – Aleixo - 69000000 - Manaus, AM - Brasil
moniquerds@gmail.com
quesada.beto@gmail.com

² Tropical Ecosystems and Environmental Sciences Group (TREES)
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE - Divisão de Sensoriamento Remoto
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil

³ Centro Nacional de Monitoramento de Desastres Naturais – CEMADEN Parque
Tecnológico de São José dos Campos, Estrada Doutor Altino Bondensan, 500, São José dos
Campos - São Paulo, 12247-016
liana.anderson@cemaden.gov.br

Abstract. In the Amazon Basin there is a wide variation in the average wood density (AWD). This parameter is fundamental in biomass and carbon cycle estimates. The AWD gradient occurs from the east and central direction with the highest densities and westward the lowest densities. This variation can be determined by composition factors or environmental conditions. A variable known to correlate with AWD is the soils. In this study we aim to explore the relationship between density of the wood and to processes of soil evolution along the Amazon basin. For achieving this, we analysed data from AWD process of soil development. We performed quali-quantitative analysis. Our results suggests a spatial pattern of soils and AWD, which are presented next. Amazonian soils present a gradient distribution of younger soils to the west and mature soils to the east. We found that Ferrasols and Acrisols soils have the highest AWD, while the Cambisols and Leptosols soils showed smaller lower AWDs. The AWD in soils with origin of igneous rocks presented a higher density, correlated with higher degree of pedogenesis in this region. The oldest geological formations had the higher AWD. We also found that slightly inclined and flat topography were the ones that presented the highest AWD. We concluded that there may be a species adaptation to survive in the regions of more infertile soils and it may be that the forest dynamics (mortality and growthth) of the region is not the main strategy of the local species.

Palavras-chave: densidade da madeira, pedogênese, solos da Amazônia.

1. Introdução

Durante décadas as interações entre vegetação e solo tem sido foco de pesquisas de ecologistas e naturalistas na Amazônia (SOMBROEK, 1966; STARK e JORDAN, 1978; JORDAN e HERRERA, 1981), e atualmente esse interesse vem aumentando devido às mudanças climáticas. Estudos recentes indicam que as florestas da Amazônia têm absorvido carbono na ordem de $0,5 \text{ Pg C ano}^{-1}$ (LEWIS et al., 2012; GLOOR et al., 2012) efetivamente ganhando biomassa ao longo do tempo, mas revertendo durante secas extremas (PHILLIPS et al., 2009, FELDSPAUCH et.,2016). No entanto, os mecanismos de ganho e declínio da biomassa ainda não são bem definidos (PHILLIPS et al., 2009; BRIENEN et al., 2015). Os processos que determinam a intensidade e duração do armazenamento de carbono na vegetação (produtividade, biomassa da vegetação e estoque) são constantemente reavaliados e não conclusivos (CHAVE et al., 2008; NOGUEIRA et al., 2008; ESPÍRITO-SANTO et al., 2014; AVITABILE et al., 2016), e a dinâmica da floresta é geralmente relacionada com características do solo (PHILLIPS e GENTRY, 1994; PHILLIPS et al., 1998; PHILLIPS et al., 2004; STEPHENSON e VAN MANTGEN, 2005). Estudos recentes realizados por uma

rede de parcelas permanentes (RAINFOR), indicam que os fatores climáticos como temperatura, radiação e precipitação não foram significativos para explicar a variabilidade observada na produtividade (MALHI et al., 2004; SENNA et al., 2009; QUESADA et al., 2012, GALBRAITH et al., 2013).

Atualmente existe um gradiente bem documentado de estoque de biomassa produtividade e densidade da madeira (MALHI et al., 2004; BAKER et al., 2004, MITCHARD et al., 2014) ao longo da Amazônia. Este coincide com um gradiente bem documentado de fertilidade da floresta (SOMBROEK, 1966; IRION, 1978; FITTKAU, 1941; JORDAN e HERRERA, 1981; QUESADA et al., 2010; QUESADA et al., 2011; QUESADA et al., 2012; MAIA, 2015). Em um estudo realizado por BAKER et al., (2004) a densidade da madeira apresentou um gradiente espacial inverso ao da produtividade da floresta, com maiores valores de densidade ocorrendo em solos inférteis em áreas centrais e orientais da Amazônia, enquanto que menores densidades são encontradas nas áreas ocidentais que apresentam solos mais férteis (BAKER et al., 2004). Isso pode ser devido a limitações de condições ambientais ou composição florística. Florestas no oeste da Amazônia apresentam uma maior produtividade e menor biomassa acima do solo quando comparado com a região leste e central, que apresenta taxas de crescimento mais lento e com maior biomassa acima do solo (FITTKAU, 1971; BAKER et al., 2004; MALHI et al., 2004; QUESADA et al., 2010; QUESADA et al., 2011; QUESADA et al., 2012).

De forma geral os solos Amazônicos apresentam uma acidez elevada (pH baixo), são pobres em nutrientes (macronutrientes) e possuem uma alta concentração de alumínio, (MARQUES et al., 2002; QUESADA et al., 2010; QUESADA et al., 2011; QUESADA et al., 2012; MAIA, 2015). Apresentam também, a disponibilidade de fósforo limitada, sendo esse o nutriente principal para o desenvolvimento dessa vegetação (WALKER e SYERS 1976; QUESADA et al., 2010; QUESADA et al., 2011; QUESADA et al., 2012). Os processos como intemperismo e reciclagem de matéria orgânica são os vetores de disponibilidade desses nutrientes para a nutrição da planta. Com as variações de relevo, idades geológicas divergentes e intemperismo intenso, formam-se os variados processos geomorfológicos atuando em toda a bacia Amazônica. Estes processos ao longo do tempo determinam a diversidade, evolução dos solos e pedogênese (JENNY, 1940; SOMBROEK, 1966; VITOUSEK, 1984; FAO, 2001; CASTILHO, 2006; HIGGINS, 2011; QUESADA et al., 2010). Com isso, este trabalho tem como objetivo avaliar como a densidade da madeira está relacionada com processos de evolução do solo (pedogênese) ao longo da bacia Amazônica, contribuindo assim para a compreensão dos processos ecológicos nesta região.

2. Material e Método

2.1 Área de estudo

A área de estudo compreende a floresta tropical da bacia Amazônica, com uma extensão de cerca de 6.10.000 km² (ANA, 2013), apresenta uma estrutura vegetal variada composta por terra firme, vegetação secundária, vegetação alagada e savana (SAATCHI, 2007; MALHI et al., 2002; EVA e HUBER, 2005). Apresentando três grandes regiões geológicas: bacia pré-cambriana, parte central (região das Guianas na porção norte e Brasileira na porção sul), e região dos Andes - parte oeste (FITTKAU, 1971; FITTKAU, 1975; IRION, 1978; JORDAN e HERRERA, 1981). O limite espacial (latitudes 8,647116 N e 18,350914 S e longitude: 78,978653 O e 44,357777 L utilizado neste estudo foi publicado num acordo entre países disponível na publicação de Eva e Huber (2005) (Figura 1).

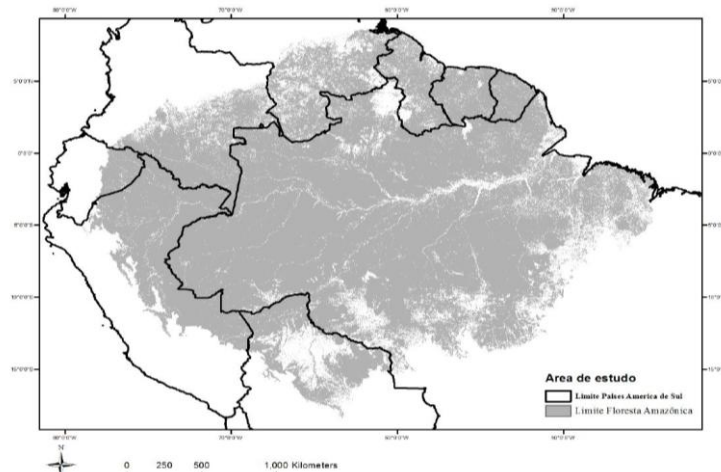


Figura 1. Área de estudo.

2.2 Bases de Dados

2.2.1 Dados de vegetação

Neste estudo foram utilizadas informações sobre a vegetação ao longo da bacia Amazônica. Essas informações foram colhidas em 367 parcelas de monitoramento de projetos diversos e independentes (Figura 2). A base de dados está disponível online na publicação de MITCHARD et al., (2014).

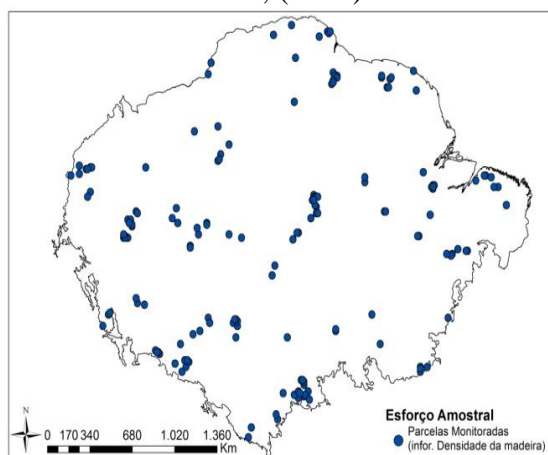


Figura 2. Espacialização das parcelas de monitoramento com as informações de densidade da madeira.

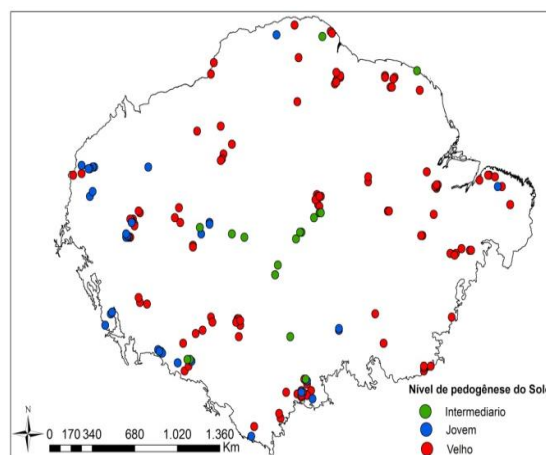


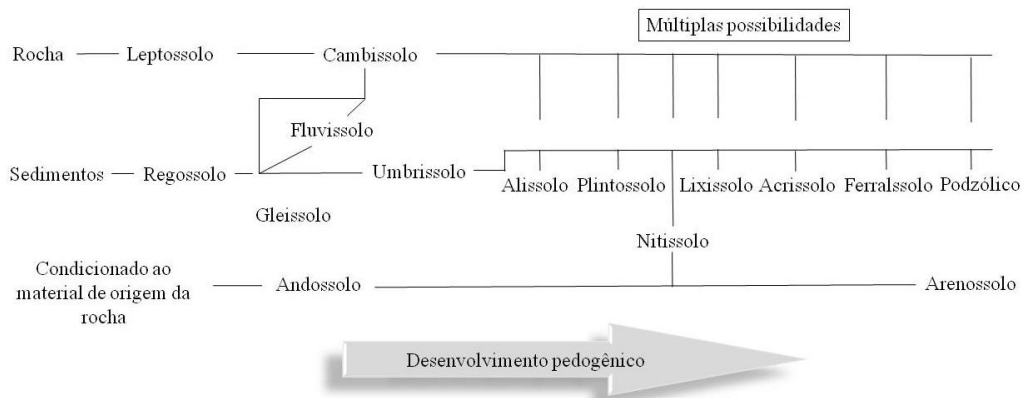
Figura 4. Gradiente pedogênico baseado em estudo de Quesada et al. 2010.

2.2.2 Dados de solo

Para as informações de classificação do solo e idade geológica foram utilizadas as bases de dados dos projetos SOTERLAC (*The Soil and Terrain database for Latin America and the Caribbean* - versão 2.0, escala de 1:5.000,000) (COCHRANE et al., 2001; DIJKSHOORN et al., 2005) e HWSD (*Harmonized World Soil Database* - escala de 1:5.000,000) (FISCHER, 2008; BATJES, 2012).

2.2.2 Dados de pedogêneses

O processo de pedogênese dos solos foi determinado através das informações dos valores de concentração de fósforo total nos solos e através dos índices de intemperismo e depropriedades físicas publicados por QUESADA et al., (2008 , 2010) (Figura 3).



3. Fluxograma da evolução do solo. Adaptado de QUESADA et al 2011.

2.3 Métodos

2.3.1 Pré-processamento da base de dados

Os dados foram espacializados com o auxílio do programa ArcGIS (ESRI, 2011). Foi realizada uma reclassificação dos grupos de solo para criar a variável pedogenese (mais informações item: 2.2.2 deste documento) originando as categorias de: solos jovens, intermediários e velhos, no processo de evolução e formação (Figura 4).

Tabela 1. Apresentação da reclassificação das classes de solo, segundo seu processo de evolução e pedogênese.

Jovens: Cambisol – CA; Fluvisol– FL; Gleysol – GL; Leptosol - LE
Intermediário: Lixisol – LI; Plinthosol – PL;
Velho: Ferrisol – FE; Acrisol – AC; Arenosol - AR

2.3.2 Análise dos dados

Para as análises dos dados e elaboração dos gráficos foi utilizado o programa ArcGIS (ESRI, 2011) e R *statistical (R Development Core Team, 2016)*. Foi realizada uma análise descritiva de comparação de valores entre as variáveis densidade da madeira e idade geológica, material de origem da rocha, processo pedogênico e classe de solo.

3. Resultados e Discussão

Os resultados apresentaram que os maiores valores de densidade média da madeira ocorrem nos solos que possuem um processo de formação mais avançado, são esses solos: Ferrisol, Acrisol e Arenosol (Figura 5).

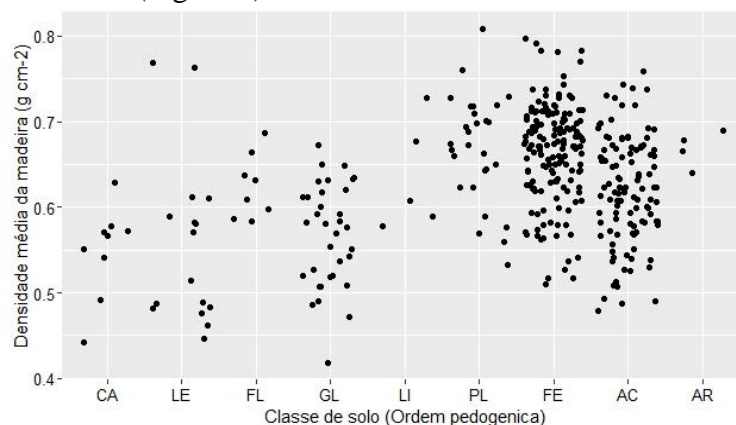


Figura 5. Variação da densidade media da madeira por classes de solos.

As classes de processo pedogênico intermediário e velho apresentam as maiores médias de densidades da madeira (Figura 6). E os solos do período geológico Proterozóico (entre 2,5 bilhões e 542 milhões de anos) apresentaram um adensamento dos pontos entre os valores de 0,6 e 0,7 g cm⁻² de densidade média da madeira, enquanto a classe de período geológico Terciário (entre 2,6 milhões e 65 milhões de anos) apresentou uma maior variação da transformação do solo, sendo solos deste período muito recorrente na Amazônia (Figura 6).

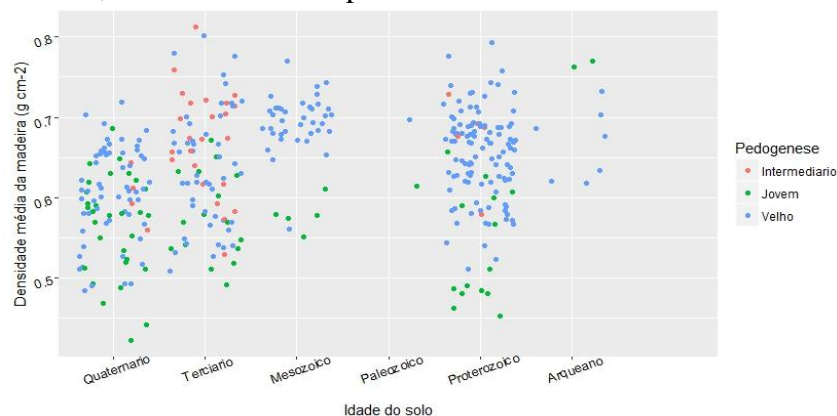


Figura 6. Variação da densidade média da madeira por períodos geológicos.

Para as informações de tipo rocha, tem-se que as ígneas mantiveram similaridade com a categoria pedogênica classificada como velha e a distribuição dos pontos de maior valor de densidade média da madeira (Figura 7). Quanto à relação de declividade do terreno e densidade média da madeira, tem-se que as maiores densidades ocorrem com mais frequência em áreas de solo levemente inclinado e planas, enquanto as regiões de superfícies planas com processos de evolução do solo num período intermediário, as densidades médias da madeira são menores (Figura 8).

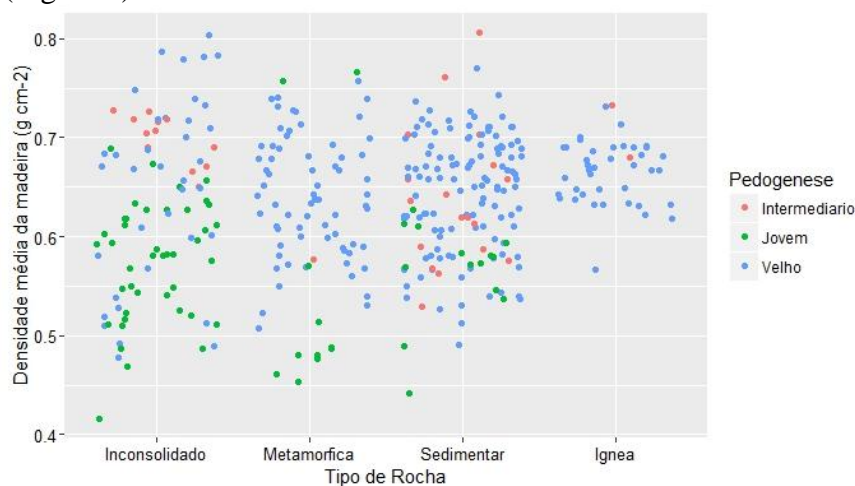


Figura 7. Variação da densidade média da madeira por material de origem da rocha.

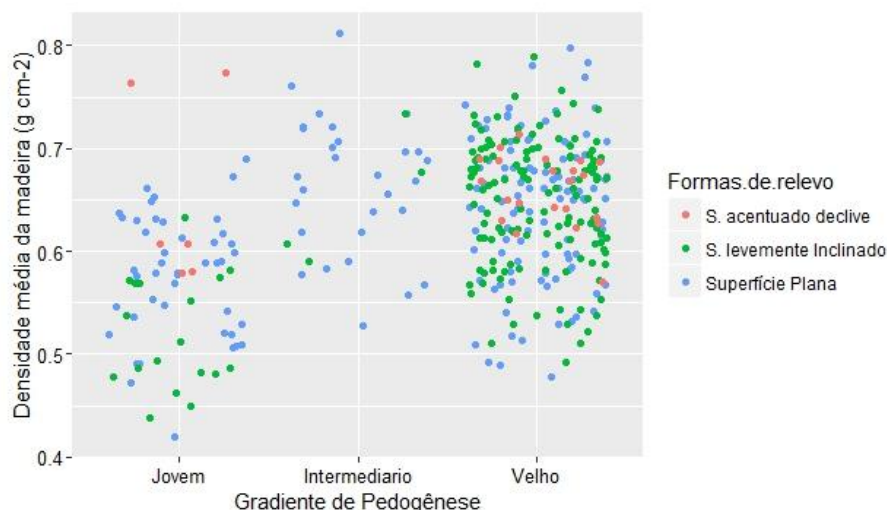


Figura 8. Variação da densidade média da madeira por declividade do terreno.

4. Conclusões

A densidade da madeira pode ser influenciada por limitações químicas, físicas do solo e conseqüentemente o processo de formação do solo (BAKER et al., 2004; QUESADA et al., 2010;2012). Esta variação da densidade da madeira ao longo da Bacia Amazônica pode também ser justificada pela composição das espécies e adaptações das espécies a disponibilidades ou limitações de recursos (CHAMBERS et al., 1998; PHILLIPS et al., 2004; BAKER et al., 2004; STEEGE et al., 2006.)

Agradecimentos: A primeira autora agradece ao suporte financeiro da Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (processo 313065/2015-2). E ao grupo de trabalho do TREES – INPE.

Referencias

- AVITABILE, V., HEROLD, M., HEUVELINK, G., LEWIS, S. L., PHILLIPS, O. L., ASNER, G. P., et al. 2016. An integrated pan tropical biomass map using multiple reference datasets. *Global change biology*. Volume 22, Issue 4, Version of Record online: 10 JAN 2016.
- Baker, T R, Phillips, O L, Malhi, Y, Almeida, S, Arroyo, L, Di Fiore, A, Erwin, T, Killeen, T J, Laurance, S G, Laurance, W G, Lewis, S, Lloyd, J, Monteagudo, A, Neill, D A, Patino, S, Pitman, N C A, Silva, J M N and Martinez, R V (2004) Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian forest biomass. *Global Change Biology* 10: 545-562.
- Baker, T R, Phillips, O L, Malhi, Y, Almeida, S, Di Fiori, A, Erwin, T, Higuchi, N, Killeen, T J, Laurance, S G, Laurance, W F, Lewis, S L, Monteagudo, A, Neil, D A, Vargas, P N, Pitman, N C A, Silva, J N M and Martinez, R V (2004) Increasing biomass in Amazonian forest plots. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B* 359: 353-365.
- Batjes, N. H. 2012. Projected changes in soil organic carbon stocks upon adoption of recommended soil and water conservation practices in the upper Tana river catchment, Kenya. *Land Degradation & Development*. 25: 278-287.
- Brienen, R. J. W; Phillips, O. L. Feldpausch, T. R. Gloor. et al. 2015. Long-term decline of the Amazon carbon sink. *Nature* 519, 344–348.
- CASTILHO, C. V., MAGNUSSON, W. E., de ARAÚJO, R. N. O., LUIZAO, R. C., LUIZAO, F. J., LIMA, A. P., et al. 2006. Variation in aboveground tree live biomass in a central Amazonian Forest: Effects of soil and topography. *Forest ecology and management*, 234(1), 85-96.
- CHAVE, J., CONDIT, R., MULLER-LANDAU, H. C., THOMAS, S. C., ASHTON, P. S., BUNYAVEJCHEWIN, S., et al. 2008. Assessing evidence for a pervasive alteration in tropical tree communities. *PLoS Biol*, 6(3), e45.

- Cochrane, T. A.; Cochrane, T. T.; Killeen, T. 2001. The digital land systems survey of the Amazon. 2001. Disponível em: <http://www.agteca.com/publications/CLAS_dig.pdf>, acesso em 29 de maio de 2015.
- Dijkshoorn J. A., Huting, J. R. M. and Tempel, P. (2005) Update of the 1:5 million Soil and Terrain Database for Latin America and the Caribbean (SOTERLAC; version 2.0). Report 2005/01, ISRIC - World Soil Information, Wageningen,.
- ESPÍRITO-SANTO, F. D., GLOOR, M., KELLER, M., MALHI, Y., SAATCHI, S., NELSON, B., et al.2014. Size and frequency of natural forest disturbances and the Amazon forest carbon balance. *Nature communications*, 5.
- Eva, H. D.; Huber, O. 2005. A proposal for defining the geographical boundaries of Amazonia. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- FAO/ISRIC. 2000. *Soil and Terrain Database, Land Degradation Status and Soil Vulnerability Assessment for Central and Eastern Europe Version 1.0 (1:2.5 million scale)*. Land and Water Digital Media Series # 10.
- Fischer, G.; Nachtergaele, F.; Prieler, S.; Velthuisen, H.T.; Verelst, L.; Wiberg, D. 2008. Global Agro-ecological Zones Assessment for Agriculture (GAEZ 2008). IIASA, Laxenburg, Austria and FAO, Rome, Italy.
- Fittkau, E. J.: Esboço de uma divisão ecológica da região amazônica. *Proc. Symp. Biol. Trop. Amaz., Florencia y Leticia*, 1969, 363-372, 1971.
- Fittkau, E. J., Irmiler, U., Junt, W. J., Reis, F. and Schmidt, G. W.: Productivity, biomass and population dynamics in Amazonian water bodies, in: Tropical ecological systems. Trends in terrestrial and aquatic and research (ed G. B. Golley and E. Medina), Springer, New York, Berlin, 289-311, 1975.
- Galbraith, D.; Malhi Y.; Affum-Baffoe, K.; Castanho, A.D.A.; Doughty, C.E.; Fisher, R.A.; Lewis, S.L.; Peh, K. S.-H.; Phillips, O.L.; Quesada, C.A.; Sonké, B.; Lloyd, J. 2013. Residence times of woody biomass in tropical forests, *Plant Ecology & Diversity*, DOI:10.1080/17550874.2013.770578.
- Gloor, M.; Gatti, L.; Brienen, R.; Feldpausch, TR; Phillips, OL; Miller, J; et al. 2012. The carbon balance of South America: A review of the status, decadal trends and main determinants. *Biogeosciences*, 9: 5407-5430.
- Higgins, M.A.; Ruokolainen, K.; Tuomisto, H., Llerena, N.; Cardenas, G.; Phillips, O.L. et al. 2011. Geological control of floristic composition in Amazonian forests. *J. Biogeogr.*, 38, 2136-2149.
- Irion, G (1978) Soil infertility in the Amazonian rain forest. *Naturwissenschaften* 65: 515-519.
- JENNY, H. 1940. FACTORS OF SOIL FORMATION A System of Quantitative Pedology.
- Jordan, C F and Herrera, R. 1981; Tropical rain forests: are nutrients really critical ? *The American Naturalist* 117: 167-180.
- Lewis, S., 2012. On the ground monitoring of tropical forests, RAINFOR, AfriTRON and forestsplot.net. Disponível em: (http://www.gofc-gold.unijena.de/wg_biomass/wp-content/uploads/2012/06/Lewis_Simon.pdf). Acesso em 25 de maio de 2015.
- Lopez-Gonzalez G, Mitchard ETA, Feldpausch TR, Brienen RJW, Monteagudo A, Baker TR, Lewis SL, Lloyd J, Quesada CA, et al. 2014. Amazon forest biomass measured in inventory plots. Plot Data from "Markedly divergent estimates of Amazon forest carbon density from ground plots and satellites." *ForestPlots.net*. doi: 10.5521/FORESTPLOTS.NET/2014_1
- Marques, J J G S M, Teixeira, W G, Schulze, D G and Curi, N (2002) Mineralogy of soils with unusually high exchangeable Al from the western Amazon Region. *Clay Mineralogy* 37: 651-661.
- Maia, M. R. S. A. 2015. Avaliação dos solos Amazônicos: integração de dados multifontes para caracterização das condições edáficas. Disponível em: <http://bdtd.inpa.gov.br/handle/tede/1959>.
- Malhi, Y.; Phillips, O.L.; Baker, T.; Almeida, S.; Fredericksen, T.; Grace, J.; Higuchi, N. et al. 2002. An international network to understand the biomass and dynamics of Amazonian forests (RAINFOR). *Journal of Vegetation Science*, 13:439-450.
- Malhi, Y.; Wright, J. A. 2004. Spatial patterns and recent trends in the climate of tropical forest regions, *Phil. T. Royal Soc*, 311-329.
- Mitchard, E. T. A., Feldpausch, T. R., Brienen, R. J. W., Lopez-Gonzalez, G., Monteagudo, A., Baker, et al. (2014), Markedly divergent estimates of Amazon forest carbon density from ground plots and satellites. *Global Ecology and Biogeography*. doi: 10.1111/geb.12168

NOGUEIRA, E. M., FEARNSSIDE, P. M., NELSON, B. W., BARBOSA, R. I., & KEIZER, E. W. H. 2008. Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: New allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. *Forest Ecology and Management*, 256(11), 1853-1867.

Phillips, O L and Gentry, A H (1994) Increasing turnover in through time in tropical forests. *Science* 263: 954-958.

Phillips O L, Malhi, Y, Higuchi, N, Laurance, W F, Nuñez V P, Vásquez M R, Laurance, S G, Ferriera, L V, Stern, M, Brown, S and Grace, J (1998) Changes in the carbon balance of tropical forests: evidence from long-term plots. *Science* 282: 439-442.

Phillips, O L, Baker, T, Arroyo, L, Higuchi, N, Killeen, T, et. al(2004) Patterns and process in Amazon tree turnover, 1976-2001. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B* 359: 437-462.

Phillips, O. L.; Aragão, L. E. O. C.; Lewis, S. L.; Fisher, J. B.; Lloyd, J.; Gonzalez, G. L. 2009. Drought sensitivity of the Amazona rainforest. *Science*, 323: 1344-1347.

Quesada, C. A.; Lloyd, J. Schwarz, M.; Patiño, S.; Baker, T. R.; Czimezik, C. I. et al. Variations in chemical and physical properties of Amazon forest soils in relation to their genesis. 2010. *Biogeosciences*, 7: 1515-1541.

Quesada, C. A.; Lloyd, J.; Anderson, L. O.; Fyllas, N. M.; Schwarz, M.; Czimezik, C. I. 2011. Soils of Amazonia with particular reference to the RAINFOR sites. *Biogeosciences*, 8(6).

Quesada, C. A.; Phillips, O. L.; Schwarz, M.; Czimezik, C. I.; Baker, T. R.; Patiño, S. et al. 2012. Basin-wide variations in Amazon forest structure and function are mediated by both soils and climate. *Biogeosciences*, 9: 2203-2246.

Saatchi, S.; Houghton, R. A.; Santos, R. C. A.; Soares, J. V.; Yu, Y. 2007. Distribution of aboveground live biomass in the Amazon basin. *Global Change Biology*, 13: 816-837.

Senna, M.C.A.; Costa, M. H.; Pires, F.G. 2009 Vegetation-atmosphere-soil nutrient feedbacks in the Amazon for different deforestation scenarios. *Journal of geophysical research*, 114, D04104.

Sombroek, W G (1966) A reconnaissance of the soils of the Brazilian Amazon region. Centre for Agricultural Publications and Documentation, Wageningen.

Stark, N and Jordan, C F (1978) Nutrient retention by the root mat of an Amazonian forest. *Ecology* 59: 434-437.

Steege et al. 2006. Continental-scale patterns of canopy tree composition and function across Amazonia. *Nature* Sep 28;443(7110):444-7.

Stephenson, N and Van Mantgen, P J (2005) Forest turnover rates follow global and regional patterns of productivity. *Ecology Letters* 8: 524-531.

Vitousek, P M (1984) Litterfall, nutrient cycling, and nutrient limitation in tropical forests. *Ecology* 65: 285-298.