

[Trade-off entre segurança e eficiência hidráulica do xilema de espécies arbóreas de uma floresta seca neotropical]

Palavras-Chave: [Anatomia da Madeira], [Densidade da Madeira], [Floresta Amazônica]

Autores/as:

Barbosa, Victor B.(1); Quintilhan, Manolo T.(1); Signori-Müller, Caroline (2); Galbraith, David R.(2); Tavares, Julia T. (2); Oliveira, Rafael; Groenendijk, Peter(1).

(1) Departamento de Biologia Vegetal, Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas

(2) School of Geography, University of Leeds, Leeds UK, United Kingdom

E-mail correspondente: brigatto.victor@gmail.com

INTRODUÇÃO:

Florestas tropicais apesar da sua baixa cobertura terrestre global (<7%) são fundamentais em processos de regulação do clima e ciclos biogeoquímicos (sequestro de 50% da produção primária de carbono global e 30% da drenagem) (Bonan, 2008; Powers and Marín-Spiotta, 2017; Russell and Parton, 2020). Prestam inúmeros serviços ecossistêmicos fundamentais, abrigam vasta biodiversidade e são responsáveis pela manutenção de comunidades indígenas e tradicionais (Alamgir et al., 2016; Levis et al., 2020). A Floresta Amazônica por ser a maior floresta tropical contínua do mundo desempenha papel fundamental na ciclagem de nutrientes (Quesada et al., 2010), na regulação do clima global (Shuttleworth et al., 1984), e é um dos principais estoques de carbono terrestre (Cumplings et al., 2002).

Florestas tropicais são ecossistemas complexos e, mesmo sendo objeto de pesquisa de diversos trabalhos, os processos e mecanismos que regem seu funcionamento não são inteiramente compreendidos (Morris, 2010; Lewis, 2005; Malhi et al., 2014). O papel dos nutrientes no funcionamento florestal é amplo, variando em escala, forma e dinâmica. Apesar de inúmeros trabalhos terem avaliado as propriedades químicas de ecossistemas, avaliou-se principalmente os aspectos do solo e folhas (Ehrenfeld, Ravit e Elgersma, 2005), enquanto os relacionados ao xilema foram pouco investigados (Lira-Martins et al., 2019). Nutrientes essenciais contidos no xilema, como o Ca, K, P, Mn e N, atuam desde a sensibilidade de plantas à seca, a alterações na sua estrutura e funcionamento (e. g. condutância e divisão celular) (Helama et al., 2009; Rozas e Sampedro, 2013; Yoshimura et al., 2016). Contudo, a variação do teor de nutrientes do xilema é regulada tanto por condições edafoclimáticas (Bond, 2010), quanto pela composição e proporção dos seus tecidos, sendo a segunda, pouco investigada em estudos ecológicos (Ali, 2019; Kotowska et al., 2020; Lira-Martins et al., 2019).

O xilema secundário de árvores tropicais é composto por três tecidos principais: as fibras (sustentação), os vasos (transporte de água e nutrientes) e o parênquima (armazenamento) (Bass e Wheeler, 2011). Células de parênquima formam o principal tecido de armazenamento de nutrientes, sendo, portanto, fundamental quanto a regulação e funcionamento de plantas, especialmente de angiospermas lenhosas (Morris, Plavcová, et al., 2018). A rede de parênquima é formada por células axiais e radiais (raios) e, em alguns casos, encontra-se associada a elementos condutores (i.e., vasos), formando uma rede tridimensional altamente interconectada (conexão floema-xilema, radial-axial) (Spicer, 2014). É o principal tecido responsável pelo armazenamento de água e nutrientes no xilema (Carlquist, 2015, 2018; Ewers e Carlquist, 2006) e possui ampla variabilidade na sua fração entre angiospermas dicotiledôneas, especialmente as tropicais (Plavcová et al., 2016). Apesar do seu papel pouco conhecido (Carlquist, 2018), tais características indicam possíveis variações funcionais-ambientais.

Por exemplo, trabalhos indicam que maior associação vasos-parênquima está relacionada com maior osmorregulação do transporte de água (principalmente por meio de cátions, como o K) em plantas vasculares (Carlquist, 2015; Morris, Plavcová, et al., 2018; Pfautsch et al., 2016). Assim, por estarem relacionados à supressão e reversão de processos de embolismo (i.e., redução da mortalidade de plantas) (Braun, 1984; Carlquist, 2018; Holbrook, Zwieniecki e Melcher, 2002) sua regulação é fundamental para manutenção de ecossistemas tropicais. No experimento, realizado em Florestas tropicais do Equador,

observaram que maior teor de N e N+P (tratamentos de solo, sob mesmo regime hídrico) resultaram em maior diâmetro de vasos e agrupamento de vasos menores no xilema, contrabalanceando eficiência e segurança hidráulica. Além disso, constataram variação no arranjo de células de parênquima, estando estas, mais associadas a vasos de diâmetro maior (Kotowska, Wright e Westoby, 2020; Morris, Gillingham, et al., 2018; Spann1, Homeier e Bräuning, 2016). Essa arquitetura viabiliza processos osmorreguladores do parênquima (e.g. refilling) sobre o sistema hidráulico de árvores, amenizando estresses ambientais (Carlquist, 2018; Ewers e Carlquist, 2006).

Entender como a estrutura do xilema e seus diferentes tecidos (e.g., vasos e parênquima) estão relacionados com a capacidade de árvores em armazenar nutrientes e como essa variação ocorre em diferentes períodos de seca e chuva forma a base para se entender o papel que nutrientes têm dentro das árvores. O papel do parênquima na regulação do armazenamento e transporte de água e nutrientes em períodos de seca e chuva nunca foi abordado em florestas da Amazônia. Sua investigação em florestas secas de alta sazonalidade apresenta grande potencial para compreender o papel de nutrientes-xilema em condições mais restritivas. Tal conhecimento é fundamental para maior entendimento acerca de mecanismos fisiológicos da mortalidade de árvores induzida pela seca, principalmente considerando que previsões indicam que secas serão cada vez mais longas e intensas devido ao efeito das mudanças do clima (IPCC, 2014). Portanto, para o presente estudo temos como objetivo quantificar a estrutura anatômica (vasos e parênquima) e a densidade da madeira do ramo de árvores tropicais de uma floresta seca da Bacia Amazônica, a fim de compreender mecanismos associados com a sua dinâmica de nutrientes, estrutura e funcionamento. Nesse sentido, testamos a seguinte hipótese: i) com o aumento da área de vasos menor foi a densidade da madeira.

METODOLOGIA:

O projeto utilizou amostras de ramos de 11 espécies arbóreas coletadas em uma floresta seca da bacia amazônica, localizada em Hacienda Kenia, Santa Cruz, Bolívia (Figura 1, AM01). Medimos as características anatômicas da madeira através de fotos em grande escala de seções transversais dos ramos, que foram cortadas em um micrótomo de deslize e analisadas no software ImageJ (versão 1.3e). Avaliamos a densidade e a estrutura anatômica da madeira das espécies por meio de um teste de Kruskal-Wallis, com teste de Dunn a posteriori e aplicamos uma Correlação de Spearman, por meio do software R.

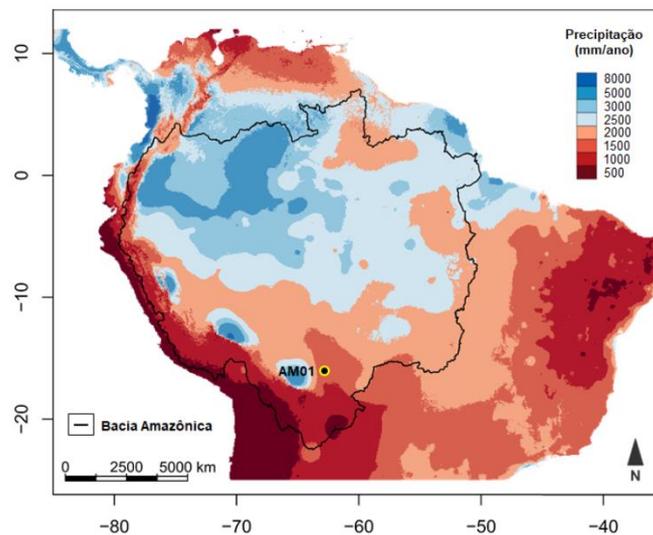


Figura 1: Correlação entre área de vasos (m^2) e densidade da madeira (g/cm^3) das 11 espécies avaliadas.

RESULTADOS:

Na Figura 2 são apresentados os valores de área de vasos das 11 principais espécies que compõem o sítio de estudo (Hacienda Kenia). Nela, observa valores maiores para as espécies *Centrolobium microchaete* ($4137,438 \mu m^2$) e *Jacaratia digitata* ($3998,263 \mu m^2$), sendo as menores *Ampelocera ruizii* ($1510,999 \mu m^2$) e *Pouteria nemorosa* ($1968,337 \mu m^2$) e as intermediárias *Ficus crocata* ($3403,323 \mu m^2$) e *Cariniana estrellensis* ($3561,109 \mu m^2$). Na Figura 3 a relação entre a densidade da madeira e área de vasos das 11 espécies avaliadas é apresentada. Nela, observa-se correlação negativa e significativa entre as duas variáveis ($R^2=-0.57$, $p=0.0035$). O resultado da análise de componentes principais (PCA, Figura 4), por sua vez, teve 78.8% da variância dos dados explicada no eixo 1 e 21,2% no eixo 2, evidenciando a caracterização e agrupamento das espécies por meio dos seus valores de densidade da madeira e área de vasos.

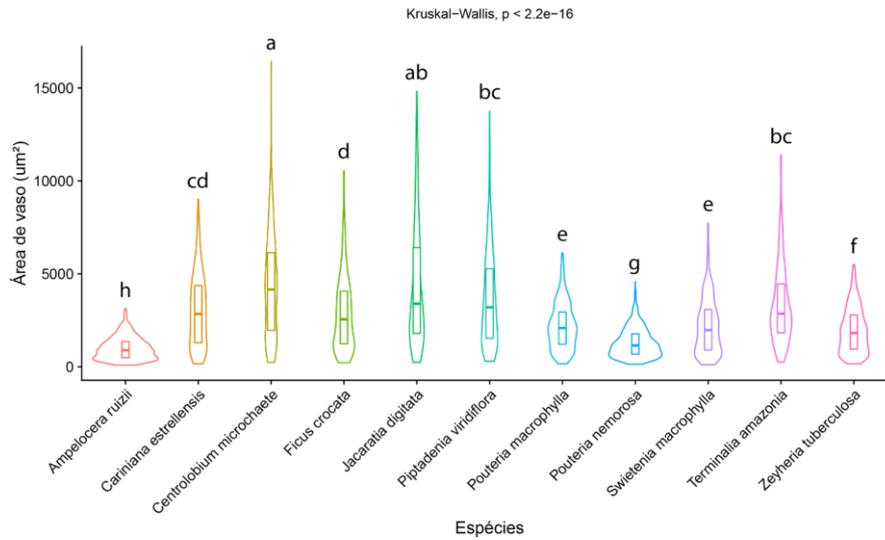


Figura 2: Análise da área de vasos das 11 espécies avaliadas.

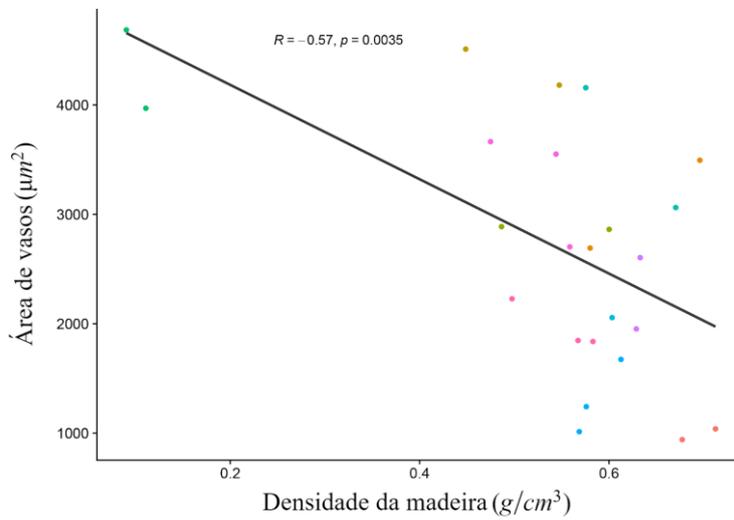


Figura 3: Correlação entre área de vasos (μm^2) e densidade da madeira (g/cm^3) das 11 espécies avaliadas.

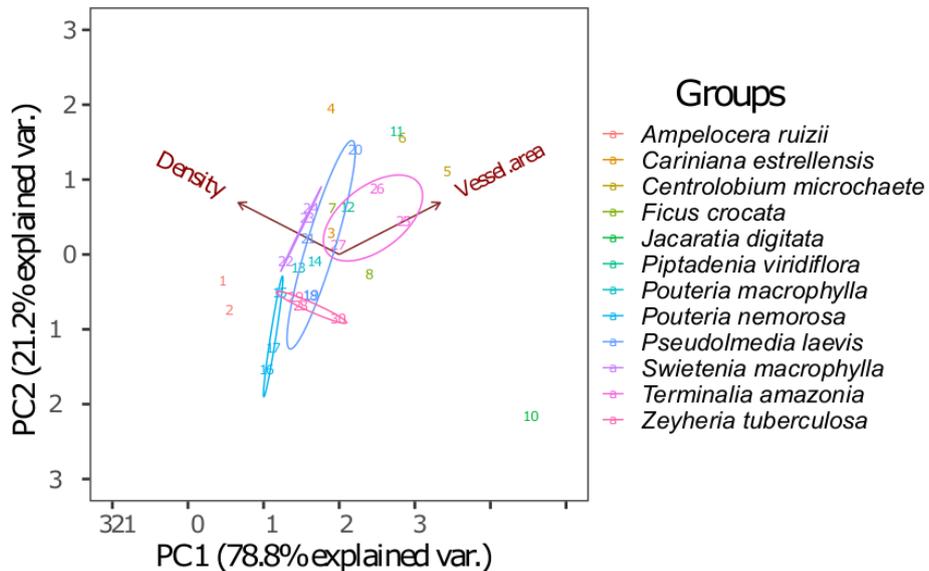


Figura 4: Análises de componentes principais das 11 espécies avaliadas, agrupadas em função da área de vasos e densidade da madeira.

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES:

Variações estruturais anatômicas no xilema de árvores tropicais são esperadas, visto sua composição heterogênea, com espécies variando em estratégias de crescimento, reprodução e longevidade (Fichtler e Worbes, 2012). Essa característica é observada na comunidade avaliada do presente estudo (Figura 2), onde há ampla variação nas estratégias de transporte de água e nutrientes (i.e., área de vasos). Enquanto algumas espécies apresentaram maior variação no tamanho dos vasos (e.g., *Centropogon microchaete* e *Jacaratia digitata*) e conseqüentemente indivíduos tanto mais eficientes, quanto mais seguros no transporte de água, outras espécies apresentaram valores menores de área dos vasos e com menor variação (*Ampelocera ruizii* e *Pouteria nemorosa*), apresentando estratégias especialmente de segurança no transporte hidráulico.

Estratégias relacionadas ao transporte de água e nutrientes de plantas afetam diretamente seu crescimento e sua alocação de C, pois espera-se que indivíduos mais eficazes cresçam mais e aloquem menos C (densidade da madeira) (Fan et al., 2012). Conforme observado na Figura 3, há um trade-off funcional (densidade vs. anatomia da madeira) na comunidade avaliada. Mesmo as espécies apresentando ampla variação na sua estrutura anatômica (Figura 2) sua correlação negativa foi significativa. Isso vai de acordo com os trabalhos Zanne et al., 2010; Preston et al., 2006 e Martinez-Cabrera et al., 2011, onde maior densidade da madeira, esteve associado com vasos de menor calibre. Essa estratégia é evidenciada na Figura 4, onde algumas espécies se agrupam no sentido do eixo de densidade, enquanto outras, no de área dos vasos, apontando as tendências antagônicas entre essas duas variáveis.

Espécies arbóreas como *Jacaratia digitata* e *Ampelocera ruizii*, por estarem nos extremos do espectro avaliado, ilustram bem a correlação negativa entre densidade da madeira e área de vasos (i.e., estratégias de crescimento). Enquanto que em *Jacaratia digitata* (Caricaceae), observa-se características de espécie *r-selection*: pioneira, crescimento rápido e produção de frutos do tipo baga, altos valores de área dos vasos ($\sim 3998,2 \mu\text{m}^2$) e mínimos de densidade da madeira ($< 0,2 \text{ g cm}^3$), o oposto é observado nos indivíduos de *Ampelocera ruizii*. Nesta espécie, os menores valores área de vasos ($\sim 1510,999 \mu\text{m}^2$) e os maiores de densidade da madeira (acima de $0,6 \text{ g cm}^3$) são encontrados, caracterizando uma espécie *K-selection*, mais conservadora e de crescimento lento.

Essa variação estrutural do xilema permite avaliarmos premissas clássicas, como os diferentes trade-offs relacionados ao crescimento e a densidade da madeira de indivíduos arbóreos. Uma teoria clássica observada na literatura é a de Seleção *r/K*, que propõe uma relação entre quantidade (crescimento e reprodução) e qualidade (densidade da madeira e longevidade) na busca do sucesso da espécie em um ambiente específico (REZNIK et al., 2002). Tal condição parte da premissa de que, em ambientes mais instáveis e imprevisíveis, espécies enfatizam altas taxas de crescimento e de reprodução, com menor investimento em qualidade, favorecendo a exploração de nichos ecológicos pouco populosos (espécies *r-selection*). Para ambientes mais favoráveis, as espécies tendem a exibir traços mais fortes de competição, investindo mais em qualidade e longevidade do que em quantidade (espécies *K-selection*). Essa relação é comum em florestas tropicais e em diferentes escalas (Phillips et al., 2019). Tais informações nos permitem avaliar como variações estruturais no xilema de indivíduos arbóreos geram insights sobre as estratégias de crescimento e vulnerabilidades de florestas tropicais da Bacia Amazônica.

BIBLIOGRAFIA

- ALAMGIR, M.; TURTON, S. M.; MACGREGOR, C. J.; PERT, P. L. Assessing regulating and provisioning ecosystem services in a contrasting tropical forest landscape. *Ecological Indicators*, v. 64, p. 319–334, 1 maio 2016.
- ALI, A. Forest stand structure and functioning: Current knowledge and future challenges. *Ecological Indicators*, v. 98, n. January, p. 665–677, 2019.
- BABITA, M.; MAHESWARI, M.; RAO, L. M.; SHANKER, A. K.; RAO, D. G. Osmotic adjustment, drought tolerance and yield in castor (*Ricinus communis* L.) hybrids. *Environmental and Experimental Botany*, 2010.
- BONAN, G. B. Forests and Climate Change: Forcings, Feedbacks, and the Climate Benefits of Forests. [s.l.: s.n.]. Disponível em: . Acesso em: 21 maio. 2019.
- BOND, W. J. Do nutrient-poor soils inhibit development of forests? A nutrient stock analysis. *Plant and Soil*, 2010.
- BONINSEGNA, J. A.; VILLALBA, R.; AMARILLA, L.; OCAMPO, J. Studies on Tree Rings, Growth Rates and Age-Size Relationships of Tropical Tree Species in Misiones, Argentina. *IAWA Journal*, v. 10, n. 2, p. 161–169, 1989.
- BRAUN, H. J. The significance of the accessory tissues of the hydrosystem for osmotic water shifting as the second principle of water ascent, with some thoughts concerning the evolution of trees. *IAWA Journal*, 1984.
- CARLQUIST, S. Living cells in wood. 1. Absence, scarcity and histology of axial parenchyma as keys to function. *Botanical Journal of the Linnean Society*, v. 177, n. 3, p. 291–321, 2015.
- Living Cells in Wood 3. Overview; Functional Anatomy of the Parenchyma Network. *Botanical Review*, v. 84, n. 3, p. 242–294, 2018.
- CHRISTINA, M.; MAIRE, G. LE; BATTIE-LACLAU, P.; NOUVELLON, Y.; BOUILLET, J. P.; JOURDAN, C.; MORAES GONÇALVES, J. LEONARDO DE; LACLAU, J. P. Measured and modeled interactive effects of potassium deficiency and water deficit on gross primary productivity and light-use efficiency in *Eucalyptus grandis* plantations. *Global Change Biology*, v. 21, n. 5, p. 2022–2039, 2015.
- CUMMINGS, D. L.; BOONE KAUFFMAN, J.; PERRY, D. A.; FLINT HUGHES, R. Aboveground biomass and structure of rainforests in the southwestern Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management*, 2002.
- EHRENFELD, J. G.; RAVIT, B.; ELGERSMA, K. FEEDBACK IN THE PLANT-SOIL SYSTEM. *Annual Review of Environment and Resources*, 2005.

EWERS, F. W.; CARLQUIST, S. Comparative Wood Anatomy: Systematic, Ecological, and Evolutionary Aspects of Dicotyledon Wood. *Taxon*, 2006.

GRAU, O. et al. Nutrient-cycling mechanisms other than the direct absorption from soil may control forest structure and dynamics in poor Amazonian soils. *Scientific Reports*, 2017.

HACKE, U. G.; SPERRY, J. S. Functional and ecological xylem anatomy. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, v. 4, n. 2, p. 97–115, 2001.

HEINEMAN, K. D.; TURNER, B. L.; DALLING, J. W. Variation in wood nutrients along a tropical soil fertility gradient. *New Phytologist*, v. 211, n. 2, p. 440–454, 29 jul. 2016.

HELAMA, S.; LÄÄNELAID, A.; RAISIO, J.; TUOMENVIRTA, H. Oak decline in Helsinki portrayed by tree-rings, climate and soil data. *Plant and Soil*, 2009. HOFHANSL, F.; ANDERSEN, K. M.; FLEISCHER, K.; FUCHSLUEGER, L.; RAMMIG, A.; SCHAAP, K. J.; VALVERDE-BARRANTES, O. J.; LAPOLA, D. M. Amazon forest ecosystem responses to elevated atmospheric CO₂ and alterations in nutrient availability: Filling the gaps with model experiment integration. *Frontiers in Earth Science*, 2016.

HOLBROOK, N. M.; ZWIENIECKI, M. A.; MELCHER, P. J. The dynamics of “dead wood”: Maintenance of water transport through plant stems. *Integrative and Comparative Biology*. Anais...2002 IPCC. *Climate Change* 2014. [s.l: s.n.].

KOTOWSKA, M. M.; WRIGHT, I. J.; WESTOBY, M. Parenchyma Abundance in Wood of Evergreen Trees Varies Independently of Nutrients. *Frontiers in Plant Science*, 2020.

LAUS, M. N.; SOCCIO, M.; TRONO, D.; LIBERATORE, M. T.; PASTORE, D. Activation of the plant mitochondrial potassium channel by free fatty acids and acyl-CoA esters: A possible defence mechanism in the response to hyperosmotic stress. *Journal of Experimental Botany*, 2011.

LEVIS, C.; FLORES, B. M.; MAZZOCHINI, G. G.; MANHÃES, A. P.; CAMPOS-SILVA, J. V.; BORGES DE AMORIM, P.; PERONI, N.; HIROTA, M.; CLEMENT, C. R. Help restore Brazil's governance of globally important ecosystem services. *Nature Ecology and Evolution*. *Nature Research*, 1 fev. 2020.

LIRA-MARTINS, D.; HUMPHREYS-WILLIAMS, E.; STREKOPYTOV, S.; ISHIDA, F. Y.; QUESADA, C. A.; LLOYD, J. Tropical tree branch leaf nutrient scaling relationships vary with sampling location. *Frontiers in Plant Science*, v. 10, n. July, 2019.

LLOYD, J.; FARQUHAR, G. D. The CO₂ Dependence of Photosynthesis, Plant Growth Responses to Elevated Atmospheric CO₂ Concentrations and Their Interaction with Soil Nutrient Status. I. General Principles and Forest Ecosystems. *Functional Ecology*, 1996.

MORRIS, H.; GILLINGHAM, M. A. F.; et al. Vessel diameter is related to amount and spatial arrangement of axial parenchyma in woody angiosperms. *Plant Cell and Environment*, v. 41, n. 1, p. 245–260, 2018.

MORRIS, H.; PLAVCOVÁ, L.; GORAI, M.; KLEPSCH, M. M.; KOTOWSKA, M.; JOCHEN SCHENK, H.; JANSEN, S. Vessel-associated cells in angiosperm xylem: Highly specialized living cells at the symplast–apoplast boundary. *American Journal of Botany*, v. 105, n. 2, p. 151–160, 2018.

NAVARRO, G. Clasificación de la vegetación de Bolivia. [s.l: s.n.].

PAREDES-VILLANUEVA, K.; LÓPEZ, L.; NAVARRO CERRILLO, R. M. Regional chronologies of *Cedrela fissilis* and *Cedrela angustifolia* in three forest types and their relation to climate. *Trees - Structure and Function*, 2016.

PFAUTSCH, S.; HARBUSCH, M.; WESOŁOWSKI, A.; SMITH, R.; MACFARLANE, C.; TJOELKER, M. G.; REICH, P. B.; ADAMS, M. A. Climate determines vascular traits in the ecologically diverse genus *Eucalyptus*. *Ecology Letters*, v. 19, n. 3, p. 240–248, mar. 2016.

PLAVCOVÁ, L.; HOCH, G.; MORRIS, H.; GHIASI, S.; JANSEN, S. The amount of parenchyma and living fibers affects storage of nonstructural carbohydrates in young stems and roots of temperate trees. *American Journal of Botany*, v. 103, n. 4, p. 603–612, 2016.

POWERS, J. S.; MARÍN-SPIOTTA, E. Ecosystem Processes and Biogeochemical Cycles in Secondary Tropical Forest Succession. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, v. 48, n. 1, p. 497–519, 2 nov. 2017.

QUESADA, C. A. et al. Variations in chemical and physical properties of Amazon forest soils in relation to their genesis. *Biogeosciences*, 2010.

Basin-wide variations in Amazon forest structure and function are mediated by both soils and climate. *Biogeosciences*, 2012.

ROZAS, V.; SAMPEDRO, L. Soil chemical properties and dieback of *Quercus robur* in Atlantic wet forests after a weather extreme. *Plant and Soil*, 2013.

RUSSELL, A. E.; PARTON, W. J. Modeling the Effects of Global Change on Ecosystem Processes in a Tropical Rainforest. *Forests*, v. 11, n. 2, p. 213, 13 fev. 2020.

SARDANS, J.; PEÑUELAS, J.; COLL, M.; VAYREDA, J.; RIVAS-UBACH, A. Stoichiometry of potassium is largely determined by water availability and growth in Catalanian forests. *Functional Ecology*, v. 26, n. 5, p. 1077–1089, 1 out. 2012.

SCHWEINGRUBER, F. H. Wood structure and environment. [s.l.] Springer, 2007.

SETTE JR, C. R.; LACLAU, J. P.; TOMAZELLO FILHO, M.; MOREIRA, R. M.; BOUILLET, J. P.; RANGER, J.; ALMEIDA, J. C. R. Source-driven remobilizations of nutrients within stem wood in *Eucalyptus grandis* plantations. *Trees - Structure and Function*, v. 27, n. 4, p. 827–839, 2013.

SHUTTLEWORTH, W. J. et al. Eddy correlation measurements of energy partition for Amazonian forest. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 1984.

SPANNL, S.; HOMEIER, J.; BRÄUNING, A. Nutrient-induced modifications of wood anatomical traits of *Alchornea lojaensis* (Euphorbiaceae). *Frontiers in Earth Science*, v. 4, n. May, p. 1–13, 2016.

SPICER, R. Symplasmic networks in secondary vascular tissues: Parenchyma distribution and activity supporting long-distance transport. *Journal of Experimental Botany*, 2014.

VITOUSSEK, P. M.; SANFORD, R. L. Nutrient cycling in moist tropical forest. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1986.

YOSHIMURA, K.; SAIKI, S. T.; YAZAKI, K.; OGASA, M. Y.; SHIRAI, M.; NAKANO, T.; YOSHIMURA, J.; ISHIDA, A. The dynamics of carbon stored in xylem sapwood to drought-induced hydraulic stress in mature trees. *Scientific Reports*, 2016.

ZIEMIŃSKA, K.; WESTOBY, M.; WRIGHT, I. J. Broad Anatomical Variation within a Narrow Wood Density Range—A Study of Twig Wood across 69 Australian Angiosperms. *PLOS ONE*, v. 10, n. 4, p. e0124892, 23 abr. 2015.

Morris Rebecca J. 2010 Anthropogenic impacts on tropical forest biodiversity: a network structure and ecosystem functioning perspective. *Phil. Trans. R. Soc.* B3653709–3718

Lewis Simon L 2006 Tropical forests and the changing earth system. *Phil. Trans. R. Soc.* B361195–210

Malhi, Y.; Gardner, T. A.; Goldsmith, G. R.; Silman, M. R.; Zelazowski, P. Tropical Forests in the Anthropocene. *Annual Review of Environment and Resources* 2014 39:1, 125-159

Baas P, Wheeler EA. Wood anatomy and climate change. In: Hodkinson T, Jones M, Waldren S, Parnell J, editors. *Climate change, ecology and systematics*. Cambridge: Cambridge University Press; 2011. p. 141-55.

Fichter E.; Worbes M. Wood anatomical variables in tropical trees and their relation to site conditions and individual tree morphology. *Volume 33: Issue 2*. <https://doi.org/10.1163/22941932-90000084>. p. 119–140. 01 Jan 2012.

Ze-Xin Fan, Shi-Bao Zhang, Guang-You Hao, J.W. Ferry Slik, Kun-Fang Cao. Hydraulic conductivity traits predict growth rates and adult stature of 40 Asian tropical tree species better than wood density. *Journal of Ecology*, 10.1111/j.1365-2745.2011.01939.x. January 2012.

Amy E. Zanne, Mark Westoby, Daniel S. Falster, David D. Ackerly, Scott R. Loarie, Sarah E. J. Arnold, David A. Coomes. Angiosperm wood structure: Global patterns in vessel anatomy and their relation to wood density and potential conductivity. *American Journal of Botany*. 10.3732/ajb.0900178. February 2010.

Katherine A. Preston, William K. Cornwell, Jeanne L. DeNoyer. Wood density and vessel traits as distinct correlates of ecological strategy in 51 California coast range angiosperms. 10.1111/j.1469-8137.2006.01712.x. *New Phytologist*, June 2006.

Martínez-Cabrera, H.I., Schenk, H.J., Cevallos-Ferriz, S.R.S. and Jones, C.S. (2011), Integration of vessel traits, wood density, and height in angiosperm shrubs and trees. *American Journal of Botany*, 98: 915-922. <https://doi.org/10.3732/ajb.1000335>.

Phillips, O.L., Sullivan, M.J.P., Baker, T.R. et al. Species Matter: Wood Density Influences Tropical Forest Biomass at Multiple Scales. *Surv Geophys* 40, 913–935 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10712-019-09540-0>.

<https://plantidtools.fieldmuseum.org/en/nlp/catalogue/3678599>. Acesso 09/02/2021.