











MODELOS BIOLÓGICOS DE CRESCIMENTO EM DIÂMETRO PARA FLORESTA SECUNDÁRIA NO NORTE DE RONDÔNIA

Darcy Maria da Conceição Laura dos Santos¹, Carlos Roberto Sanquetta¹, Greyce Charlyne Benedet Maas¹, Emmanoella Costa Guaraná Araujo², João Paulo Sardo Madi¹, Alexis de Sousa Bastos³, Iara Magalhães Barberena³, Adriane Avelhaneda Mallmann¹

1 Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil. E-mail: darcy_mclaurasantos@hotmail.com; sanquetta@ufpr.br; greyce.maas@gmail.com; joaosardomadi@gmail.com; mallmann.adriane@gmail.com.

2 Universidade Federal de Rondônia, Rolim de Moura, RO, Brasil. E-mail: emmanoella.araujo@unir.br.

3 Centro de Estudos Rioterra, Porto Velho, RO, Brasil. E-mail: alexis@rioterra.org.br; iara@rioterra.org.br.

Autora correspondente: Darcy Maria da Conceição Laura dos Santos. E-mail: darcy_mclaurasantos@hotmail.com.

RESUMO

As florestas são sumidouros importantes de carbono e podem contribuir com a mitigação das mudanças climáticas. Com isto, é preciso compreender o comportamento do crescimento florestal em diferentes fitofisionomias. O objetivo deste estudo foi analisar o crescimento em diâmetro de árvores individuais de diferentes espécies, utilizando modelos biológicos de crescimento para estimar o comportamento do diâmetro a 1,30 m do solo por idade em Rondônia. Os dados foram coletados em duas áreas de regeneração natural, localizadas nos municípios de Itapuã do Oeste e Machadinho do Oeste. Para o ajuste dos modelos foram utilizados discos oriundos de 40 árvores derrubadas e cubadas. Na ocasião foram retirados discos da base das árvores para análise dos anéis de crescimento. Três modelos biológicos foram ajustados, e os parâmetros analisados foram o coeficiente de correlação (R^2), erro padrão da estimativa ($S_{xy}\%$), critério de informação de Akaike e curvas de crescimento. As curvas de crescimento de todas as árvores foram obtidas a partir dos incrementos anuais. Os modelos tiveram comportamentos semelhantes, apresentando o mesmo de R^2 . O $S_{xy}\%$ teve variação entre 31.30 % e 32.21 %. Assim, o modelo de Gompertz foi escolhido por apresentar resultados satisfatórios, e na análise da curva de crescimento foi observado que nenhuma das espécies atingiu a assíntota.

Palavras-chave: Amazônia; análise de tronco; Gompertz

BIOLOGICAL DIAMETER GROWTH MODELS FOR SECONDARY FOREST IN NORTHERN RONDÔNIA, BRAZIL

ABSTRACT

Forests are important carbon sinks and can contribute to climate change mitigation. Therefore, it is necessary to understand the behavior of forest growth in different phytophysionomies. The objective of this study was to analyze the diameter growth of individual trees of different species, using biological growth models to estimate the behavior of the diameter at 1.30 m from the ground by age in Rondônia, Brazil. The data were collected in two areas of natural regeneration, located in the municipalities of Itapuã do Oeste and Machadinho do Oeste. For model fitting, discs from 40 felled and cubed trees were used. At the time, discs were removed from the base of the trees for analysis of the growth rings. Three biological models were adjusted, and the parameters analyzed were the correlation coefficient (R^2), standard error of estimate ($S_{xy}\%$), Akaike's information criterion and growth curves. The growth curves of all trees were obtained from the annual increments. The models had similar behavior, presenting the same R^2 . The $S_{xy}\%$ varied between 31.30% and 32.21%. Thus, the Gompertz model was chosen for presenting satisfactory results, and in the analysis of the growth curve it was observed that none of the species reached the asymptote.

Key words: Amazon; trunk analysis; Gompertz

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MENSURAÇÃO FLORESTAL



INTRODUÇÃO

As florestas exercem papel muito importante para humanidade, sendo uma alternativa para a mitigação das mudanças climáticas, devido a sua capacidade de sequestrar carbono e por conservar a biodiversidade (Freire & Pamplin, 2022). Desta forma, tem-se a necessidade de conhecer e acompanhar o ritmo de crescimento das árvores e dos povoamentos florestais (Pereira Filho *et al.*, 2020).

Existem diferentes técnicas para analisar o crescimento de árvores e povoamentos florestais, entre elas, tem-se a técnica de análise de tronco (ANATRO), a qual é muito útil quando as árvores formam anéis de crescimento anuais claros (Sanquetta *et al.*, 2016). Outra forma seria por meio de modelos de crescimento e produção, tendo como base ajuste de regressão linear ou não linear (Castro *et al.*, 2013).

Os modelos podem ser empíricos ou biológicos, este último recentemente vem ganhando ênfase, devido ao seu potencial de explicar os processos biológicos ocorridos por trás das expressões matemáticas (Sanquetta *et al.*, 2016). Muitos modelos biológicos estão sendo utilizados na área florestal, entre eles tem-se: Bertalanffy, Chapman-Richards, Gompertz, Logística e Monomolecular (Zanin, 2013).

Dentro desse contexto, a análise de anéis de crescimento é uma ferramenta que oferece uma abordagem retrospectiva dos padrões de crescimento de árvores individuais ao longo de toda a sua vida, utilizando diferenças anatômicas na formação anual da madeira para datação de zonas de crescimento (Kohl *et al.*, 2017). Embora se tenha alguns estudos com espécies florestais nativas, grande parte das pesquisas científicas, encontradas na literatura, são referentes à fase de germinação das sementes e produção de mudas, tendo poucos trabalhos avaliando o potencial silvicultural em povoamentos puros (Sanquetta *et al.*, 2016).

Sendo assim, o objetivo deste estudo foi analisar o crescimento em diâmetro de árvores individuais de diferentes espécies, utilizando modelos biológicos de crescimento para estimar o comportamento do diâmetro a 1,30m do solo (D) por idade em Rondônia.

MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi desenvolvido a partir de material coletado em áreas de projetos de pesquisas realizados pelo Centro de Estudos e do Meio Ambiente da Amazônia –Rioterra em parceria com a UFPR, por meio do Centro de Excelência em Pesquisas sobre Fixação de Biomassa (Biofix). Para tanto, 40 árvores foram derrubadas e cubadas em duas áreas de regeneração natural, localizadas nos municípios de Itapuã do Oeste e Machadinho do Oeste. Na ocasião foram retirados discos da base das árvores para análise dos anéis de crescimento.

Os discos foram encaminhados para o Centro Biofix de Pesquisas sobre Fixação de Carbono na Biomassa da Universidade Federal do Paraná em Curitiba, onde foram secos em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C, até obtenção do peso constante. Posteriormente, foi realizado o

VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

polimento do material para melhor visualização dos anéis de crescimento, utilizando lixas de gramatura de 60 até 1200 grãos cm⁻². Para a demarcação dos anéis anuais de crescimento, foi utilizado lupa de mesa com iluminação embutida e microscópio. Os raios identificados e registrados nos discos de madeira foram convertidos em diâmetro para todas as idades, sendo multiplicado por dois.

As curvas de crescimento de todas as árvores foram então obtidas a partir dos incrementos anuais, gerando uma nuvem de pontos do diâmetro à altura do peito com função da idade em anos. A média e o coeficiente e variação dos incrementos médios anuais foram calculados a partir dos dados.

Os indivíduos estudados representaram 13 espécies, sendo elas: 1 - *Enterolobium schomburgkii* (Benth.) Benth; 2 - *Bellucia grossularioides* (L.) Triana; 3 - *Vismia brasiliensis* Choisy; 4 - *Jacaranda copaia* (Aubl.) D. Don.; 5 - *Vismia guianensis* (Aubl.) Choisy; 6 - *Tabernaemontana* sp.; 7 - *Tapirira guianensis* Aubl.; 8 - *Guatteria* sp.; 9 - *Cecropia sciadophylla* Mart.; 10 - *Pouteria* sp.; 11 - *Miconia* sp.; 12 - *Senna silvestre* (Vell.) H.S.Irwin & Barneby; 13 - *Swartzia* sp. Para descrever o crescimento passado e possibilitar prognose futuras, foram utilizado três modelos biológicos reconhecidos na literatura correlata (Tabela 1).

Tabela 1. Modelos biológicos testados para dados de D e idade em floresta secundária no norte de Rondônia

Modelo	Formulação
Bertalanffy	$D = \alpha(1 - \exp(-\beta \cdot I))^{2/3} \varepsilon_i$
Gompertz	$D = \alpha \exp(-\beta \exp(-\gamma \cdot I)) \varepsilon_i$
Logística	$D = \alpha (1 - \exp(-\gamma \cdot I)) \varepsilon_i$

Em que: D = diâmetro 1,30m do solo (cm); I = idade (anos); α , β e γ = parâmetros a estimar por regressão não linear

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ajuste de modelos biológicos

Os modelos apresentaram comportamento semelhantes (Tabela 2), com mesmo coeficiente de determinação (R²). O erro padrão da estimativa variou entre 31.30% e 32.21%. Os resultados de R² e S_{xy}% podem ser aceitáveis por se tratar de indivíduos de diferentes, com alta variação entre as idades e D.

Tabela 2. Coeficientes de regressão estatísticas de ajuste para D e idade em floresta secundária no norte de Rondônia

Modelo	a	b	c	R ²	S _{xy} (%)	AIC
Bertalanffy	89,80	0,09	-	0,85	31,91	493,19
Gompertz	33,72	3,86	0,12	0,85	31,30	489,05
Logística	22,42	-19,41	0,27	0,85	32,21	496,65

Em que: D = diâmetro a 1,30m do solo (cm); a, b e c = coeficientes de regressão; R² = coeficiente de determinação; S_{xy}% = erro padrão da estimativa em percentagem; AIC = Critério de Informação de Akaike

Normalmente, tem-se uma complexidade ao ajustar modelos hipsométricos para espécies nativas em comparação aos plantios florestais, devido ao comportamento fenotípico heterogêneo entra as espécies (Andrade *et al.*, 2015; Machado *et al.*, 2019). Na pesquisa realizada por Hess *et*

VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

al. (2014), foi ajustado modelos de relação hipsométrica para espécies da Floresta Amazônica, no qual obteve alta variação entre os valores de $R^2_{ajustado}$ (0,17 a 0,97) e S_{xy} % (0,08 % a 13,3 %).

O modelo de Gompertz teve menor erro padrão da estimativa em porcentagem (S_{xy} %) e menor critério de informação de Akaike (AIC) (Tabela 2). Resultados semelhantes foram observados no estudo realizado por Machado *et al.* (2019), os quais realizaram o ajuste de dez modelos hipsométricos para vegetação em processo de regeneração da mata nativa de Cerrado. Entre os modelos que eles estudaram, o modelo biomatemático de Gompertz foi mais sensível às particularidades das áreas nativas, tendo os melhores resultados.

As curvas de crescimento das espécies em DAP apresentam sigmoide até a idade estudada, contudo nenhum das espécies avaliadas atingiram a assíntota. As espécies não tiveram a curva completa até 16 anos, significando que os indivíduos têm capacidade de crescer provavelmente isso deve ter ocorrido porque as árvores têm a capacidade de os discos foram tomados a 1,30 m e não na base da árvore (Figura 1).

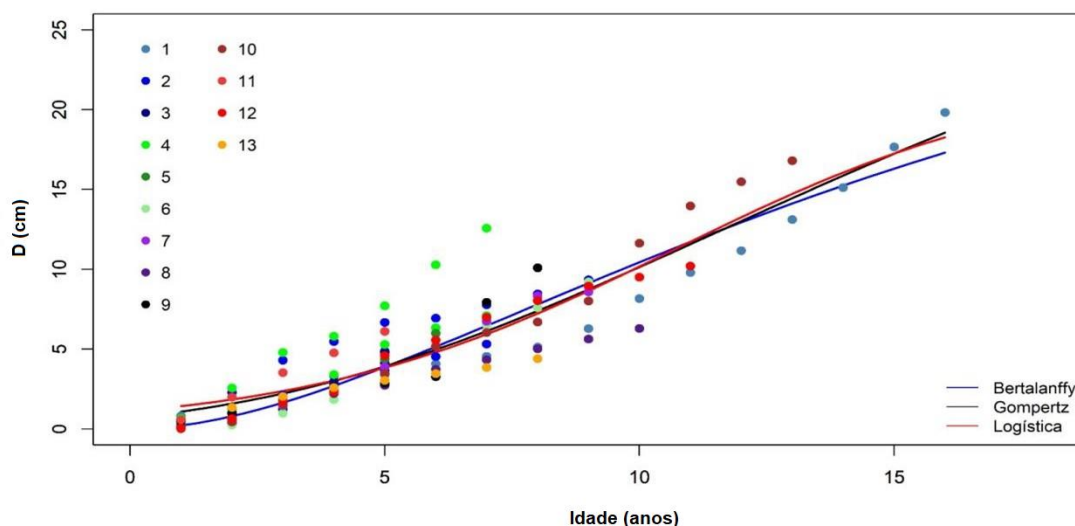


Figura 1. Modelos biológicos testados para dados de diâmetro a 1,30m do solo (D) e idade em floresta secundária no norte de Rondônia

CONCLUSÃO

Ao analisar o crescimento em diâmetro e árvores individuais de diferentes espécies, foi observado que nenhum das 13 espécies atingiu a assíntota, significando que elas possuem a capacidade de crescer mais. Entre os três modelos biológicos estudados, o Gompertz teve os melhores resultados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrade, V. C. L.; Kroetz, E. A.; Nicola, A.; Souza, P. B.; Nohama, F. K.; Leite, H. G.; Binoti, D. H. B.; Binoti, M. L. M. S. Amostragem e agrupamento de dados de relação hipsométrica em inventários florestais de Cerrado Tocantinense. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 83, p.227-238, 2015. <https://doi.org/10.4336/2015.pfb.35.83.683>.

Castro, R. V. O.; Soares, C. P. B.; Martins, F. B.; Leite, H. G. Crescimento e produção de plantios

VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

- comerciais de eucalipto estimados por duas categorias de modelos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 3, p.287-295, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000300007>.
- Freire, C. F.; Pamplin, P. A. Z. A rede urbana nos biomas brasileiros e o papel das florestas urbanas como mitigação das mudanças climáticas. In: Castro, A. C.; Leite, D. S.; Silva, M. F. F.; Sanches, A. G.; Cardoso, D. S. (Orgs.). **Tópicos Atuais em Desenvolvimento Regional e Urbano**. v. 1. 1.ed. Guarujá: Editora Científica Digital, 2022. Cap. 5, p.77-93. <https://doi.org/10.37885/220910073>.
- Hess, A. F.; Braz, E. M.; Thaines, F.; Mattos, P. P. Ajuste de relação hipsométrica para espécies da Floresta Amazônica. **Ambiência**, v. 10, n. 1, p.21-29, 2014. <https://doi.org/10.5935/ambiencia.2014.01.02>.
- Kohl, M.; Neupane, P. R.; Lotfiomran, N. The impact of tree age on biomass growth and carbon accumulation capacity: A retrospective analysis using tree ring data of three tropical tree species grown in natural forests of Suriname. **PLoS One**, v. 16, n. 8, e0181187, 2017. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0181187>.
- Machado, I. E. S.; Medeiros, P. S. A. O.; Carvalho, M. G. C.; Marin Peres, C. A.; Santana, T. F.; Andrade, V. C. L. Modelos hipsométricos ajustados para um fragmento de cerrado *Sensu stricto* tocaninense. **Revista Agrogeoambiental**, v. 11, n. 1, p.49-61, 2019. <https://doi.org/10.18406/2316-1817v11n120191174>.
- Pereira Filho, G. M.; Jacovine, L. A. G.; Schettini, B. L. S.; Paiva, h. N.; Leite, f. P.; Villanova, P. H.; Rocha, S. J. S. S.; Leite, H. G. Correlação entre dimensões das árvores de eucalipto em alto fuste e talhadia. **Scientia Forestalis**, v. 48, n. 125, e3212, 2020. <https://doi.org/10.18671/scifor.v48n125.24>.
- Sanquetta, C. R.; Durigan, A.; Sanquetta, M. N. I.; Dalla Corte, A. P.; Maas, G. C. Modelos biológicos de crescimento em diâmetro para aroeira. **Enciclopedia Biosfera**, v. 13, n. 23, p.812-821, 2016. https://doi.org/10.18677/Enciclopedia_Biosfera_2016_070.
- Zanin, N. T. **Modelagem da produção mensal de indivíduos de *Araucaria angustifolia* e *Pinus taeda* com inclusão de variáveis meteorológicas**. 2013. 97f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/31804>. Acesso em: 19 Mar. 2023.