



PROJETO 'TROPICAL BIOMASS & CARBON' – UM APLICATIVO PARA ESTIMATIVAS DE BIOMASSA E CARBONO FLORESTAL

Hassan Camil David¹

¹ Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil. E-mail: hassancamil@gmail.com.

RESUMO

O objetivo é apresentar o projeto 'Tropical Biomass & Carbon – TB&C', cujo principal produto é um aplicativo de biomassa e carbono florestal; o TB&C App. Esse aplicativo requer como atributos de entrada 'os menores e maiores diâmetros', 'número de árvores', 'área basal e 'parâmetros da distribuição diamétrica'. O aplicativo fornece resultados em dois níveis: (1) Nível do povoamento, incluindo biomassa média acima do solo (AGB) e carbono (AGC), juntamente com intervalos de confiança (ICs) como medidas de incerteza, e; (2) Estimativas a nível de árvore, com AGB e diâmetro para cada árvore simulada. A Fase 1 do projeto TB&C compreende quatro formações florestais: Campinarana, Floresta Estacional, Floresta Ombrófila e Savana. Essa primeira fase conta com um banco de dados padronizado contendo 1.428 árvores com AGB seca medida em campo, sendo esse o maior banco de dados de biomassa arbórea compilado até agora no Brasil. Uma análise de confiabilidade indica que mais de 95% (n = 64.000) dos AGBs verdadeiros se encaixam no IC gerado pelo aplicativo. São vantagens do TB&C App; (i) confiabilidade dos resultados, (ii) *layout* amigável, (iii) estimativas AGB e AGC fornecidas junto com ICs robustos e (iv) estimativas nos níveis de povoamento e árvore com totais consistentes.

Palavras-chave: Análise de incerteza; biomassa acima do solo; biomassa & carbono tropical – TB&C; equações específicas; tipologia florestal

'TROPICAL BIOMASS & CARBON' PROJECT – AN APPLICATION FOR FOREST BIOMASS AND CARBON ESTIMATES

ABSTRACT

The aim is to present the 'Tropical Biomass & Carbon – TB&C' project, whose main product is a biomass and forest carbon application, the TB&C App. This application requires as input attributes 'the smallest and largest diameters', 'number of trees', basal area and 'diametric distribution parameters'. The application provides results at two levels: (1) Standing level, including mean aboveground biomass (AGB) and carbon (AGC) along with confidence intervals (CIs) as measures of uncertainty, and; (2) Tree-level estimates, with AGB and diameter for each simulated tree. Phase 1 of the TB&C project comprises four forest formations: Campinarana, Seasonal Forest, Ombrophylous Forest and Savannah. This first phase has a standardized database containing 1,428 trees with dry AGB measured in the field, which is the largest database of tree biomass compiled so far in Brazil. A reliability analysis indicates that over 95% (n = 64,000) of true AGBs fit the application-generated CI. These are advantages of the TB&C App; (i) reliability of results, (ii) user-friendly layout, (iii) AGB and AGC estimates provided along with robust CIs, and (iv) estimates at stand and tree levels with consistent totals.

Key words: *Uncertainty analysis; aboveground biomass; tropical biomass & carbon – TB&C; specific equations; forest type*

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MENSURAÇÃO FLORESTAL



INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, equações genéricas e globais têm sido cada vez mais utilizadas, citando a equação de biomassa pantropical de Chave *et al.* (2014) e várias outras equações recomendadas pela FAO por meio das pesquisas de Sandra Brown (por exemplo, Brown, 1977; Brown *et al.*, 1989; Brown & Iverson, 1992). Essas equações de larga escala são úteis na ausência de equações publicadas e de amostras coletadas mais localmente. No entanto, os modeladores devem estar cientes de que conclusões erradas podem ser tiradas ao usar equações genéricas para fazer previsões além dos níveis nacionais mais amplos (Henry *et al.*, 2015; Jara *et al.*, 2015). Por exemplo, Ngomanda *et al.* (2014) encontraram diferenças nas estimativas de biomassa de aproximadamente 40% entre modelos específicos de floresta versus modelos genéricos.

Notáveis diferenças entre dois ou mais modelos de biomassa não são incomuns (ver, por exemplo, estudos de Ribeiro *et al.* (2011) e Ketterings *et al.* (2001)), provavelmente porque as equações alométricas subjacentes podem não concordar umas com as outras (Fearnside, 1992). Através da experiência e análise de dados, confirmamos a existência de muitas equações comparáveis (ou seja, recomendadas para um mesmo tipo de floresta) que não fornecem valores consistentes. Por exemplo, quando calculamos o AGB ao nível do povoamento (soma do AGB de todas as árvores em uma parcela) com diferentes equações consultadas na literatura, as maiores diferenças (de AGB por unidade de área) mostraram uma diferença dupla. Mesmo algumas equações de biomassa bem conhecidas para florestas úmidas e úmidas (Brown 1977; Brown *et al.* 1989; Brown & Iverson 1992) mostraram inconsistências significativas em AGB por unidade de área (Nogueira *et al.*, 2008).

Seguindo Henry *et al.* (2015) e Jara *et al.* (2015), o TB&C foi derivado da crença de que os estoques florestais globais de C poderiam ser mais bem previstos se cada país tivesse suas próprias equações específicas para cada floresta. O objetivo neste trabalho é apresentar os resultados da Fase 1 do TB&C, bem como divulgar o algoritmo do aplicativo TB&C.

MATERIAL E MÉTODOS

Dados

O banco de dados é uma compilação de amostras de árvores selecionadas em remanescentes de vegetação natural localizados nas quatro vegetações nacionais aqui estudadas. Cerca de 62% de nosso banco de dados veio de pesquisadores brasileiros sobre biomassa florestal, e o restante (38%) da fonte de dados é um subconjunto do banco de dados global publicado por Chave *et al.* (2014). Os remanescentes de vegetação estão localizados ao longo de oito estados brasileiros, a saber; Amazonas, Mato Grosso, Pará, Paraná, Rio Grande do Sul, Rondônia, Roraima e Santa Catarina. De acordo com as definições da FAO (2004), a vegetação natural onde as amostras de árvores foram coletadas diferem em (1) estágio sucessional, variando de vegetação jovem a clímax; e (2) tipo de vegetação, incluindo floresta primária, secundária e natural modificada. Pelo menos 21 (entre 31) remanescentes de vegetação tiveram distúrbios naturais e / ou humanos

anteriores (como incêndios florestais e presença de gado) observados quando os dados de campo foram coletados. Uma observação é que os incêndios florestais ocorrem comumente em Savanas e Campinaranas, tanto naturalmente quanto induzidos por humanos (Silveira *et al.*, 2016; Santana *et al.*, 2018).

Todas as árvores que compõem nosso banco de dados foram derrubadas e tiveram seu AGB fresco medido em campo, incluindo tronco, galhos e folhas. Amostras frescas desses três compartimentos de árvores foram coletadas e levadas ao laboratório para secagem em estufa, para então finalmente calcular o AGB seco das árvores. O número de árvores amostradas por classe de vegetação é apresentado na Tabela 1, bem como as principais estatísticas descritivas de AGB seco, diâmetro e altura total das árvores que compõem nosso banco de dados. Com exceção da Campinarana, as árvores foram amostradas em pelo menos duas subclasses de vegetação, de acordo com o IBGE (2012).

Tabela 1. Estatísticas descritivas da base de dados

Classe de vegetação	Variável	Mínima	Média	Máximo	CV (%)	n_{trees}
Campinarana	b_{tree} (kg)	0,14	3,50	20,37	113,6	98
	D ₀ (cm)	1,59	4,09	9,55	41,7	
	H (m)	1,20	3,34	6,10	33,5	
Floresta estacional	b_{tree} (kg)	4,08	203,17	5.225,37	277,1	118
	D (cm)	5,00	16,15	79,30	72,9	
	H (m)	3,80	11,17	27,40	43,3	
Floresta ombrofila	b_{tree} (kg)	3,36	437,00	20.415,96	311,2	964
	D (cm)	5,10	19,10	138,00	79,7	
	H (m)	4,45	15,70	54,10	43,1	
Savana	b_{tree} (kg)	0,03	22,32	443,56	194,4	248
	D (cm)	1,40	8,38	31,28	59,6	
	H (m)	0,25	3,02	7,50	52,3	
Total						1.428

b_{tree} : biomassa seca acima do solo; D: diâmetro a 1,3m do solo; D₀: diâmetro na altura do solo; H: altura total; n_{trees} : número de árvores

Aplicativo TB&C

O TB&C App foi programado como um aplicativo da web interativo usando o pacote R 'brilhante' (Chang *et al.*, 2020). As subseções a seguir descrevem o processo passo a passo para reproduzir nosso algoritmo. Uma visão geral disso também é apresentada na Figura 1.

Para selecionar árvores de nosso banco de dados e, em seguida, simular parcelas de 1 ha, desenvolvemos uma abordagem que combina a simulação de Monte Carlo (MC) e a técnica de Bootstrap. A ideia era, primeiro, simular parcelas de campo (via simulação MC) com árvores Ds seguindo a distribuição Beta (Gupta & Nadarajah, 2004), e segundo, selecionar árvores (via Bootstrap) do banco de dados obedecendo à distribuição do D do simulado parcelas. Escolhemos a distribuição Beta para retratar a distribuição do diâmetro devido à sua boa flexibilidade e, mais importante, porque podemos definir os diâmetros inferior e superior da distribuição. Este último benefício permite aos usuários prever biomassa e carbono para qualquer faixa de diâmetro.

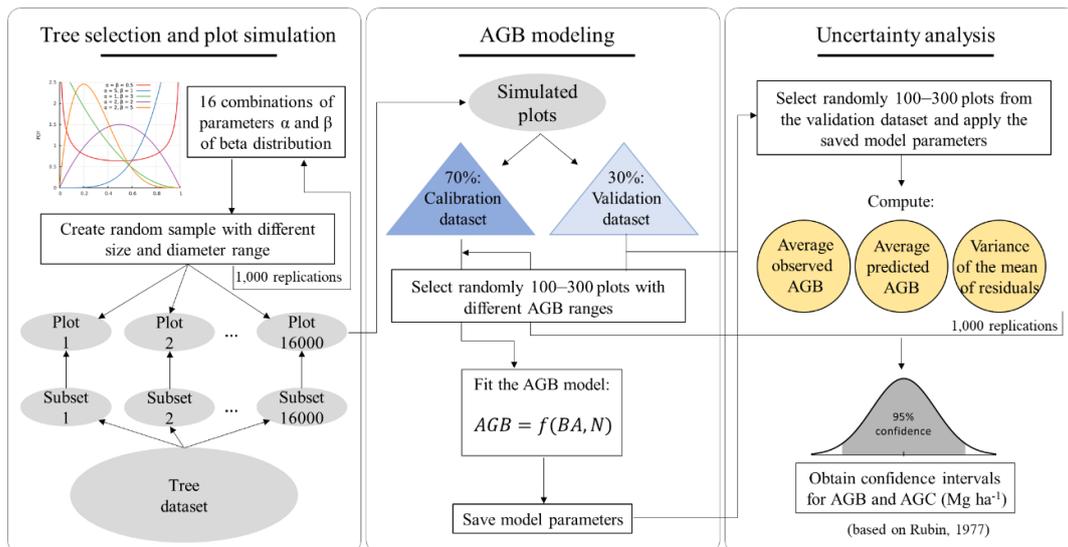


Figura 1. Visão geral do algoritmo implementado para o projeto Tropical Biomass & Carbon (Fase 1)

A confiabilidade dos atributos de saída fornecidos pelo aplicativo TB&C será analisada no nível do estande. O conjunto de 16.000 (por classe de vegetação) parcelas simuladas originadas na subseção ‘Algoritmo para seleção de árvore e simulação de parcela’ foi usado. Tendo os valores verdadeiros, a seguinte análise de confiabilidade foi realizada. Primeiro, para cada gráfico simulado, a Equação 14 foi utilizada para estimar o IC para o AGB em $Mg\ ha^{-1}$, e então computamos o número de parcelas cujo verdadeiro valor de AGB se ajustou ao IC, assumindo o AGB observado em $Mg\ ha^{-1}$ (obtido como na Equação 2) como nossa referência. Lembre-se de que o conjunto completo de 16.000 plotagens contém uma variedade de formas de distribuição de diâmetro entre as plotagens, uma vez que os parâmetros α e β variaram entre 0,5–5,0 (consulte a etapa 1, subseção ‘Algoritmo para seleção de árvore e simulação de plotagem’). Na segunda análise, selecionamos, do conjunto de 16.000 parcelas, aquelas cuja distribuição diamétrica segue a curva em forma de J invertido. O número de parcelas em que o verdadeiro AGB se encaixa no IC foi calculado de forma semelhante. Assumimos como uma curva em forma de J invertido qualquer distribuição de dados com combinação de parâmetros $\alpha \leq 1,0$ e $\beta \geq 2,0$. A ideia com isso é examinar os resultados do aplicativo TB&C em condições que se assemelham às florestas tropicais, uma vez que a distribuição do diâmetro nessas florestas normalmente segue a curva em forma de J invertido.

Um segundo painel foi dedicado a prever as variáveis da árvore. A modelagem em nível de árvore é possível porque o algoritmo do aplicativo TB&C gera um conjunto de diâmetros de árvore (consulte a etapa 3, subseção ‘Algoritmo para seleção de árvore e simulação de gráfico’) sempre que é executado. Isso significa que o algoritmo permite estimar o AGB da árvore em função de seu diâmetro a 1,30m do solo (D).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brown, S. **Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1977. 55p. (FAO Forestry Paper 134). Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/w4095e/w4095e00.HTM>. Acesso em: 15 Jul. 2023.
- Brown, S.; Iverson, L. R. Biomass estimates for tropical forests. **World Resource Review**, v. 4, n. 3, p.366-384, 1992.
- Brown, S.; Hall, C. A. S.; Knabe, W.; Raich, J.; Trexler, M. C.; Wooster, P. Tropical forests: their past, present and potential future role in the terrestrial carbon budget. In: Wisniewski, J.; Sampson, R. N. (Eds.) **Terrestrial biospheric carbon fluxes quantification of sinks and sources of CO₂**. Dordrecht: Springer, 1993. p.71-94. https://doi.org/10.1007/978-94-011-1982-5_5.
- Chang, W.; Cheng, J.; Allaire, J. J.; Xie, Y.; McPherson, J. shiny: Web Application Framework for R. R package version 1.5.0. 2020. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=shiny>. Acesso em: 13 Mar. 2023.
- Chave, J.; Réjou-Méchain, M.; Búrquez, A.; Chidumayo, E.; Colgan, M. S *et al.* Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. **Global Change Biology**, v. 20, n. 10, p.3177–3190, 2014. <https://doi.org/10.1111/gcb.12629>.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO. **Global forest resources assessment update 2005: terms and definitions (final version)**. Rome: FAO, 2004. (Forest Resources Assessment WP 83). Disponível em: <https://www.fao.org/3/ae156e/ae156e00.htm>. Acesso em: 19 Mar. 2023.
- Fearnside, P.M. Forest biomass in Brazilian Amazonia: comments on the estimate by Brown and Lugo. **Interciencia**, v. 17, n. 1, p.19-27, 1992. Disponível em: http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/1992/Forest%20Biomass%20Lugo.pdf. Acesso em: 10 Mar. 2023.
- Gupta, A. K.; Nadarajah, S. **Handbook of Beta distribution and its applications**, Boca Raton: CRC Press, 2004. 600p. <https://doi.org/10.1201/9781482276596>.
- Henry, M.; Jara, M. C.; Réjou-Méchain, M.; Piotto, D.; Fuentes, J. M. M. *et al.* Recommendations for the use of tree models to estimate national forest biomass and assess their uncertainty. **Annals of Forest Science**, v. 72, 769–777, 2015. <https://doi.org/10.1007/s13595-015-0465-x>.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2.ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 271p. IBGE. Manuais técnicos em Geociências, 1). Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv63011.pdf>. Acesso em: 22 Jun. 2023.
- Jara, M. C.; Henry, M.; Réjou-Méchain, M.; Wayson, C.; Zapata-Cuartas, M. *et al.* Guidelines for documenting and reporting tree allometric equations. **Annals of Forest Science**, v. 72, 763–768, 2015. <https://doi.org/10.1007/s13595-014-0415-z>.
- Ketterings, Q. M.; Coe, R.; Noordwijk, M. V.; Ambagau, Y.; Palm, C.A. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. **Forest Ecology and Management**, v. 146, n. 1-3, p.199-209, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00460-6](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00460-6).
- Ngomanda A.; Obiang, N. L. E.; Lebamba, J.; Mavouroulou, Q. M.; Gomat, H. *et al.* Site-specific versus pantropical allometric equations: Which option to estimate the biomass of a moist central African forest? **Forest Ecology and Management**, v. 312, p.1-9, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.10.029>.
- Nogueira, E. M.; Fearnside, P. M.; Nelson, B. W.; Barbosa, R. I.; Keiser, E. W. H. Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: new allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. **Forest Ecology and Management**, v. 256, n. 11, p.1853–1867, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.07.022>.
- Ribeiro, S. C.; Fehrmann, L.; Soares, C. P. B.; Jacovine, L. A. G.; Kleinn, C.; Gaspar, R. O. Above- and belowground biomass in a Brazilian Cerrado. **Forest Ecology and Management**, v. 262, n. 3, p.491–499, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.04.017>.
- Santana, N.; Carvalho Júnior, O.; Gomes, R.; Guimarães, R. J. R. S. Burned-Area Detection in Amazonian Environments Using Standardized Time Series Per Pixel in MODIS Data. **Remote Sensing**, v. 10, n. 12, e1904, 2018. <https://doi.org/10.3390/rs10121904>.
- Silveira, J. M.; Louzada, J.; Barlow, J.; Andrade, R.; Mestre, L.; Solar, R.; Lacau, S.; Cochrane, M. A. *et al.* A multi-taxa assessment of biodiversity change after single and recurrent wildfires in a Brazilian Amazon forest. **Biotropica**, v. 48, n. 2, p.170–180, 2016. <https://doi.org/10.1111/btp.12267>.