

## MODELOS ALOMÉTRICOS PARA ESTIMATIVA DA BIOMASSA AÉREA EM UMA SAVANA AMAZÔNICA

Marisol Alfaro Cruz<sup>1</sup>

Ricardo Adaime<sup>2</sup>

Jose Júlio Toledo<sup>3</sup>

Salustiano Vilar Costa-Neto<sup>4</sup>

**Mudança Climática**

### *Resumo*

Realizar estimativas de biomassa aérea em ambientes de savana é essencial para entender o papel que tais ecossistemas desempenham no ciclo global do carbono. Este trabalho objetivou desenvolver modelos alométricos para determinar a biomassa aérea das árvores nas savanas amazônicas. Mediante dados de inventários florísticos de 30 parcelas permanentes foram selecionadas 150 árvores, distribuídas proporcionalmente de acordo com as abundâncias das espécies nos inventários, para amostragem destrutiva e pesagem. Foram desenvolvidos 84 modelos alométricos para previsão da biomassa aérea das árvores usando diâmetro de base do tronco, altura total e diâmetro da copa. A precisão ( $R^2$ ) dos modelos variou de 0.7052 até 0.9587. Os modelos que incluem o diâmetro de copa são os que apresentaram os melhores ajustes. Esses resultados mostram a importância da copa nas estimativas de biomassa nas áreas de savana.

Palavras-chave: Modelos matemáticos; Carbono; Cerrado; Copa; Mudanças climáticas

<sup>1</sup> Mestranda em Biodiversidade Tropical, PPGGIO. Universidade Federal do Amapá – Campus Marco Zero, Laboratório de Ecologia, [marilunalfaro@gmail.com](mailto:marilunalfaro@gmail.com)

<sup>2</sup> Prof. Dr. Ricardo Adaime, Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias – Macapá, [ricardo.adaime@embrapa.br](mailto:ricardo.adaime@embrapa.br)

<sup>3</sup> Prof. Dr. Jose Júlio Toledo, Universidade Federal do Amapá – campus Marco Zero, Laboratório de Ecologia, [jjuliotoledo@gmail.com](mailto:jjuliotoledo@gmail.com)

<sup>4</sup> Prof. Dr. Salustiano Vilar Costa-Neto, Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá, [salucostaneto@gmail.com](mailto:salucostaneto@gmail.com)

## INTRODUÇÃO

O Cerrado destaca-se por ocupar uma área de cerca de 2 milhões de km<sup>2</sup> e é responsável pela geração de diferentes serviços ecossistêmicos, como o armazenamento de grandes quantidades de carbono (PAIVA et al. 2011). É importante realizar estudos para conhecer a dinâmica do carbono dentro destas áreas para obter estimativas precisas de estoques de carbono e quantificar sua biomassa total. As estimativas nestas áreas são escassas devido à alta diversidade de espécies e grande variabilidade entre os indivíduos de uma mesma espécie (REZENDE 2006). No entanto, grande parte dos estudos realizados para quantificar a biomassa para o Cerrado se concentra no Brasil Central (PAIVA 2011; REZENDE 2006).

Tendo em vista a necessidade de reduzir as incertezas sobre os estoques e emissões de carbono, torna-se necessário realizar mapeamentos dos estoques de carbono terrestre para determinar com maior precisão os impactos ocorridos nas mudanças da terra, e apoiar políticas encaminhadas à mitigação das mudanças climáticas (CHAVE et al. 2014, ROITMAN et al. 2018). Para estimar os estoques de biomassa na vegetação se usam modelos alométricos derivados de dados de inventário florístico que permitem realizar estimativas com maior rapidez e precisão mediante a relação de diferentes variáveis (BROWN 1997; BROWN et al. 1989; GOODMAN et al. 2014). Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho foi desenvolver modelos alométricos para determinar indiretamente a biomassa aérea das árvores nas savanas amazônicas.

## METODOLOGIA

A área de estudo situa-se no estado do Amapá, onde 6,87% de seu território é ocupado por áreas de savanas, distribuídas no eixo norte-sul e uma parte do sudoeste do Estado, entre as coordenadas 04°30' N a 01°10' N e 50°00' W a 52°00' W ZEE,2002. O clima da área de acordo a classificação de Köppen é tropical quente, com precipitações entre 1.500 mm a 3.500 mm. Os tipos de solo são Latossolo Amarelo, aluminizados, constituídos por sedimentos areno-argilosos, arenosos, argilo-siltosos e conglomerados, distribuindo-se em relevo plano e suave ondulado (RODRIGUES et al. 2000).

Foram usadas 30 parcelas permanentes instaladas segundo o protocolo do PPBio (Programa de Pesquisas em Biodiversidade), desenvolvido por BARBOSA et al. (2006). Um total de 150 árvores de 20 espécies foram usados para amostragem destrutiva, espalhados na área de estudo e distribuídos em 10 classes de DAP (Diâmetro à Altura do Peito) com intervalos de 5 cm cada uma. As classes foram definidas mediante a fórmula de Sturges. Para cada um das 150 árvores selecionadas foram medidas as variáveis independentes: (1) Diâmetro a altura do solo (DAS); (3) Altura de fuste ( $H_f$ ); (4) Altura total ( $H_t$ ), tomada da base da árvore até a copa e (4) diâmetro médio de copa ( $D_c$ ), tomada pela maior e menor distância. Os indivíduos foram selecionados proporcionalmente à abundância das espécies baseado nos dados dos inventários.

Depois de realizadas todas as medições, as árvores foram cortadas e divididas em quatro componentes: (1) folhas (total presente); (2) gravetos (peças lenhosas com diâmetro  $< 5$  cm); (3) galhos ( $5 \leq d < 10$  cm) e (4) troncos ( $d \geq 10$  cm). Os componentes foram acondicionados em sacos plásticos e pesados em uma balança comercial para obter o peso verde. Foram usados 84 modelos com diferentes combinações das variáveis independentes (DAS,  $H_t$ ,  $D_c$ ) para prever a biomassa (TB) (variável dependente) com as variáveis independentes, bem como a suas combinações. A regressão foi desenvolvida usando o método dos mínimos quadrados (função GLM) para equações com variáveis logaritmizadas e usando o algoritmo de máxima verossimilhança restrita para modelos mistos (função GLMM) usando espécies como variável randômica. Todas as análises foram executadas no software R (CoreTeam. 2020).

Além das variáveis das árvores foram incluídas variáveis ambientais, como déficit máximo climatológico (CWD) e estresse ambiental (E), obtidas de CHAVE et al. (2014).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todas as equações alométricas geradas das 150 amostras coletadas para estabelecer a relação entre a biomassa e as variáveis independentes apresentaram coeficientes de determinação ( $R^2$ ) variando de 0.7052 até 0.9587, mostrando a existência de uma alta correlação da variável dependente com as independentes. Os valores mais altos para  $R^2$

apresentados foram para o modelo que usa as variáveis DAS, Ht e área da copa, como mostra a Tabela 1.

A variável com maior predição foi a o diâmetro da copa, com um  $R^2$  de 0.92. Para a redução dos erros nas estimativas se sugere a inclusão do raio da copa nos modelos alométricos para lograr maior precisão nas estimativas de biomassa desejadas (GOODMAN et al. 2014). A proporção da copa varia de acordo ao histórico de crescimento das árvores pelo qual o tamanho é atribuído ao raio da copa (MAKELA e VALENTINE 2006). A área da copa melhora consideravelmente as estimativas no modelo comparada à altura total. GOODMAN et al. (2014) sugerem que quando o raio da copa está incluído no modelo, não é necessário usar a altura total.

Ao adicionar ao modelo 8b a variável ambiental CWD, o  $R^2$  e AIC melhorou (modelo 36b), ao incluir no modelo 8b a variável E, o  $R^2$  não apresentou melhoras (modelo 58b), no entanto seu AIC foi maior que do modelo 8b e 36b. FELDPAUSCH et al. (2011) encontraram uma correlação positiva entre a altura e a sazonalidade da precipitação. CHAVE et al. (2014) encontraram uma relação entre diâmetro-altura explicada pela variável E sendo uma função linear de CWD, sazonalidade da temperatura e precipitação. A relação diâmetro-altura da árvore deixa em evidência o efeito da tolerância às secas e variabilidade da temperatura na fisiologia das plantas.

Tabela 1. Modelos alométricos para estimativa de biomassa numa savana amazônica baseado em variáveis independentes e ambientais.

Modelo alométrico	$\alpha$	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	RSE	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> adj	AIC	CV
8b: ln(TB)~ln(HGDm)+ ln(Htm)+ln(Crarea) +Specie	1.058	0.639	0.591	0.813		0.429	0.958	0.951	195.919	0.243
36b:ln(TB)~ln(HGDm)+ ln(Htm)+ln(Crarea)+ Specie+ln(CWD)	-382.311	0.628	0.590	0.810	36.968	0.429	0.959	0.951	196.281	0.203
58b: ln(TB)~ln(HGDm)+ ln(Htm)+ln(Crarea)+ Specie+ln(E)	1.053	0.640	0.592	0.812	0.080	0.431	0.958	0.950	197.915	0.204

$\alpha$  e  $\beta$  são parâmetros do modelo, RSE= Residual Standar Error,  $R^2$ = Coeficiente de determinação,  $R^2$ adj= Coeficiente de determinação ajustado, AIC= Critério de informação Akaike.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nosso estudo mostrou que a inclusão da área de copa nos modelos alométricos pode melhorar as estimativas de biomassa a partir dos dados de inventários *in loco*, como também através do uso de tecnologia de sensoriamento remoto. É necessário desenvolver modelos alométricos em nível regional e local para melhorar as estimativas de biomassa e apoiar políticas focalizadas na mitigação das mudanças climáticas.

## REFERÊNCIAS

- BRAZIL. INSTITUTO DE PESQUISAS CIENTÍFICAS E TECNOLÓGICAS DO ESTADO DO AMAPÁ; RABELO, Benedito Vitor. **Macrodiagnóstico do Estado do Amapá: primeira aproximação do ZEE**. IEPA, ZEE, 2002.
- BROWN, Sandra. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer. **For the Food and Agriculture Organization of the United Nations**, Rome, FAO Forestry Paper – 134. ISBN 92-5-103955-0.1997.
- BROWN, Sandra; GILLESPIE, Andrew JR; LUGO, Ariel E. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. **Forest Science**, [S.I.], v. 35, n. 4, p. 881-902, 1989.
- CHAVE, Jérôme et al. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. **Global change biology**, [S.I.], v. 20, n. 10, p. 3177-3190, 2014. Disponível em: [http://chave.ups-tlse.fr/pantropical\\_allometry.htm](http://chave.ups-tlse.fr/pantropical_allometry.htm)
- FELDPAUSCH, Ted R. et al. Height-diameter allometry of tropical forest trees. **Biogeosciences**, Alemanha, v.8, n. 5, p. 1081-1106 2011.
- GOODMAN, Rosa C.; PHILLIPS, Oliver L.; BAKER, Timothy R. The importance of crown dimensions to improve tropical tree biomass estimates. *Ecological Applications*, Washington, v. 24, n. 4, p. 680-698, 2014.
- MÄKELÄ, Annikki; VALENTINE, Harry T. Crown ratio influences allometric scaling in trees. **Ecology**, Washington, v. 87, n. 12, p. 2967-2972, 2006.
- PAIVA, Artur Orelli; REZENDE, Alba Valéria; PEREIRA, Reginaldo Sergio. Estoque de carbono em cerrado sensu stricto do Distrito Federal. **Revista Árvore**, Viçosa, Minas Gerais v. 35, n. 3, p. 527-538, 2011.
- R CORE TEAM. Versão 4.0.2: **A Language and Environment for Statical Computing**, Vienna, Austria. Jun, 2020. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Download em 27 jun. 2020.
- REZENDE, A. V. et al. Comparison of mathematical models to volume, biomass and carbon stock estimation of the woody vegetation of a Cerrado Sensu Stricto in Brasília, DF. **Scientia Forestalis**, São Carlos, SP, v. 71, p. 65-76, 2006.
- RODRIGUES, T. E. et al. Caracterização e classificação dos solos do Campo Experimental do Cerrado da Embrapa Amapá, Estado do Amapá. **Embrapa Amazônia Oriental-Documentos (INFOTECA-E)**, 2000.
- ROITMAN, Iris et al. Optimizing biomass estimates of savanna woodland at different spatial scales in the Brazilian Cerrado: Re-evaluating allometric equations and environmental influences. **PloS ONE**, [S.I.], v. 13, n. 8, p. e0196742, 2018.