

Estimativa da biomassa aérea de castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Kunt) em plantios homogêneos, na Amazônia Central¹

Roberval Monteiro B. de Lima – Embrapa Amazônia Ocidental, UFAM, UNIP²

Marcelo Renan de Oliveira Teles – Universidade Estadual do Amazonas

João Bosco Soares – Universidade Estadual do Amazonas

Carlos Augusto Rocha Araújo Filho - Universidade Estadual do Amazonas

Resumo Esta pesquisa teve como objetivo ajustar modelos matemáticos para estimar o valor médio da biomassa aérea de castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Kunt) em plantios homogêneos. Os dados foram coletados em um talhão com 12,45 ha localizado na Fazenda Aruanã, município de Itacoatiara – Amazonas, Brasil (03°00'29'' e 58°49'53''). Foi realizada cubagem rigorosa das árvores-amostras utilizando-se o método de Smalian e pesagem dos componentes: fuste, galhos verdes, galhos secos, folhas e ponteira, onde se obteve o peso da matéria verde e posteriormente o peso da matéria seca, após a secagem das amostras em estufa de circulação forçada de ar, à 105±3° C em 72 horas. A seleção dos melhores modelos para estimativa da biomassa foi baseada nos seguintes critérios: maior coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), menor erro padrão residual (S_{yx}) e análise gráfica dos resíduos. A biomassa média seca total do plantio (p) foi estimada pelo modelo: $p = -5,0085dap + 0,76944dap^2$ ($S_{yx} = 16,52$ e $R^2_{aj} = 0,9949$). O valor médio da biomassa total em $Mg.ha^{-1}$, foi estimada em: $134,06 \leq \text{Peso seco} \leq 149,35$. Os resultados obtidos, referentes ao aporte de biomassa em plantios florestais em áreas alteradas na Amazônia, é relevante devido à crescente demanda para o reflorestamento e produção de biomassa com espécies nativas e com a possibilidade de acesso aos créditos de carbono.

Palavras-chave: Alometria; Seqüestro de carbono; Variáveis dendrométricas; Reflorestamento

Introdução

A biomassa de uma árvore pode ser determinada diretamente no campo, por meio da determinação do peso da biomassa úmida de cada componente, e pela amostragem representativa de frações destes componentes, para estimar o teor de umidade e o peso da biomassa seca total. Indiretamente a biomassa seca pode ser obtida pelo ajuste de equações de regressão, em que o peso da biomassa de cada componente arbóreo é estimada em função de variáveis dendrométricas de fácil obtenção, como diâmetro à altura do peito (dap) e altura total.

A biomassa aérea das espécies florestais está relacionada com algumas características dendrométricas, como o diâmetro a 1,30 m do solo ou diâmetro à altura do peito e a altura total da árvore. Para explicar esta relação, diversos modelos de regressão têm sido empregados para sua estimativa, utilizando-se estas duas variáveis. A expressão da massa seca como variável dependente é desejável, pois

¹Agradecimentos à Agropecuária Aruanã S.A. pelo apoio na realização desta pesquisa.

²Contato: roberval.lima@cmaa.embrapa.br

serve de base comparativa entre indivíduos de uma mesma espécie e para distinção entre espécies. De outra forma, considerando-se a massa verde, não seria viável, pois esta varia com o teor de umidade da madeira de cada espécie (Campos *et al.*, 1992).

Frequentemente, a relação alométrica entre a biomassa de plantas e alguma medida linear de crescimento (exemplo dap) é bem descrita pelo modelo (Heamus *et al.*, 2000) : Biomassa = $a(\text{dap})^b$

em que,

dap = diâmetro à altura do peito;

a e b = constantes específicas.

Essa equação é universal e geralmente válida para qualquer relação entre as frações de biomassa, podendo ser usada para estimativa da biomassa do fuste, de galhos e outras partes, mas neste caso as relações de dependência são menos estáveis, alterando-se com as características intrínsecas da floresta (Sanquetta *et al.*, 2003).

Em povoamentos florestais no Sul do Estado do Paraná, Brasil, Sanquetta *et al.* (2003) testaram sete modelos para *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia*, entre os quais cita-se: $P = b_0 + b_1 d + b_2 d^2$ e $P = b_0 d^{b_1} h^{b_2}$. Os resultados indicaram que as equações para fuste sempre foram as de melhor ajuste, com erros padrão da estimativa percentuais quase sempre inferiores a 15% e coeficientes de determinação superiores a 0,90.

Estudos sobre biomassa nos compartimentos arbóreos de *Ceiba pentandra*, na região de Manaus, AM, Brasil, indicaram produção de biomassa seca de 82,03 Mg.ha⁻¹ e 166,65 Mg.ha⁻¹ aos 43 e 55 meses de idade, respectivamente, o que evidencia um acréscimo na biomassa produzida de 2,03 vezes no período de um ano. Nas idades monitoradas, a distribuição da biomassa entre os diferentes compartimentos apresentou a seguinte ordem decrescente (Mg ha⁻¹): tronco (45,31; 98,52); casca (15,19; 30,52); galhos (14,61; 28,71); folhas + pecíolo (6,92; 8,90), respectivamente aos 43 e 55 meses (NEVES *et al.*, 2001).

Metodologia

Este estudo foi realizado na Fazenda Aruanã, Município de Itacoatiara, Amazonas, Brasil (03°00'29" Sul, 58°49'53" Oeste).

A coleta dos dados foi realizada no perímetro 01, com área de 12,45 ha em um povoamento com 9 anos de idade. Neste talhão foram plantados inicialmente 33.300 indivíduos em espaçamento de 1,5 x 2,5 m.

Para estimativa da biomassa aérea da espécie, inicialmente foram utilizadas as equações apresentadas na tabela 1.

O peso da biomassa nos diferentes compartimentos arbóreos foram obtidos na condição verde e seca. Os ajustes das equações foram realizados utilizando-se o programa R, versão 2.8 (R Development Core Team, 2006).

Tabela 1. Equações de simples e dupla entrada para estimar o peso médio da biomassa aérea das árvores .

Modelo n°	Formulação matemática
1	$p = \beta_0 \cdot \text{dap}^{\beta_1} + \varepsilon$
2	$p = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{dap} + \beta_2 \cdot \text{dap}^2 + \varepsilon$
3	$p = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{dap} + \beta_2 \cdot \text{dap}^2 \cdot h + \varepsilon$
4	$p = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{dap} + \beta_2 \cdot \text{dap}^2 + \beta_3 \cdot \text{dap}^2 \cdot h + \varepsilon$
5	$p = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{dap}^3 + \beta_2 \cdot \text{dap}^2 \cdot h + \varepsilon$
6	$p = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{dap} + \beta_2 \cdot h + \varepsilon$
7	$p = \beta_0 \cdot \text{dap}^{\beta_1} \cdot h^{\beta_2} + \varepsilon$

Nota:

dap = diâmetro à 1,30m do solo .

g = área transversal individual.

h = altura total (m).

p = peso seco ou verde da árvore individual (kg).

$\beta_0, \beta_1, \beta_2$ = coeficientes de regressão.

ε = erro aleatório

A seleção do melhor modelo foi baseada nos seguintes critérios: maior coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), menor erro padrão residual da estimativa (Syx) e análise gráfica dos resíduos.

Mesmo sendo as estimativas de ajuste bons indicadores para a escolha da melhor equação, foi indispensável à análise gráfica de resíduos para a escolha em questão, pois permitiu detectar se houve ou não tendenciosidade na estimativa da variável dependente ao longo da linha de regressão; se os resíduos foram independentes; ou se houve homogeneidade na variância dos resíduos.

De acordo com Draper & Smith (1980) o uso dos resíduos na forma relativa (percentagem), em função da variável dependente estimada, é o mais adequado para se ter uma melhor noção da dimensão das sub ou superestimativas do valor real e a comparação entre os diversos modelos ajustados.

Como a avaliação gráfica é subjetiva, esta foi utilizada em conjunto com as análises estatísticas.

Resultados

Os resultados dos modelos ajustados, coeficientes de regressão e estatísticas de precisão são mostrados na tabela 2.

Tabela 2. Modelos, coeficientes, e estatísticas de precisão estimadas.

Modelos	Coeficientes				R^2_{Aj}	Syx
	β_0	β_1	β_2	β_3		
01 $p = \beta_0 \text{dap}^{\beta_1}$	229,4855***	23,3021***	-	-	0,9603	30,39
02 $p = \beta_0 + \beta_1 \text{dap} + \beta_2 \text{dap}^2$	-16,5976	-3,0772	0,7192***	-	0,9879	16,8
03 $p = \beta_1 \text{dap} + \beta_2 \text{dap}^2$	-	-5,0085***	0,7694***	-	0,9949	16,52
04 $p = \beta_0 + \beta_1 \text{dap} + \beta_2 \text{dap}^2 h$	-1,919725	-0,801731	0,031371***	-	0,9907	14,75
05 $p = \beta_0 + \beta_1 \text{dap} + \beta_2 \text{dap}^2 + \beta_3 \text{dap}^2 h$	11,247216	-3,801515	0,301382	0,020887**	0,9918	13,79
06 $p = \beta_0 + \beta_1 \text{dap}^3 + \beta_2 \text{dap}^2 h$	-20,762706*	0,211369	0,020342**	-	0,9916	13,96
07 $p = \beta_0 + \beta_1 \text{dap} + \beta_2 h$	-185,249***	26,312***	-6,091	-	0,9618	29,83
08 $p = \beta_0 \text{dap}^{\beta_1} h^{\beta_2}$	-16,5976	-3,0772	0,7192***	-	0,9879	16,8

Significância: 0`***` 0,001`**` 0,01`*` 0,05`. `0,1` `1

Considerando os critérios estabelecidos, observou-se que o modelo 3 apresentou melhor qualidade de ajuste, pois apresentou maior coeficiente de determinação ($R^2_{aj} = 0,9949$) e pequeno erro padrão das estimativas. Ademais, a significância dos coeficientes de regressão no modelo 3 foram altamente significativos com β_1 e β_2 abaixo de 0,1% de significância. Verificou-se também na análise gráfica dos resíduos que o modelo 3, não apresentou nenhuma tendenciosidade, sendo capaz de estimar com eficiência os valores médios do peso da biomassa seca.

Um fator relevante neste estudo é que o modelo 3 assim como o modelo 7, mostraram-se capazes de estimar a biomassa aérea do plantio apenas com a utilização de uma variável dependente (dap), possibilitando maior economia e redução no tempo da coleta dos dados, haja vista que o “dap” é uma variável dendrométrica de fácil medição.

Na tabela 2, apresenta-se valores estimados em toneladas (Mg) de carbono por hectare/ano para diferentes locais na Amazônia. Observa-se que os valores estimados neste estudo são compatíveis com os valores encontrados por outros autores. O espaçamento inicial estabelecido nos plantios da Fazenda Aruanã considera-se muito pequeno para o melhor desempenho da castanha-do-brasil, refletindo para que o aporte final de biomassa ficasse abaixo do esperado.

Tabela 2. Valores médios estimados para a produção de carbono da *Bertholletia excelsa* na Amazônia brasileira.

Local	Idade (anos)	Espaçamento (m)	Carbono (Mg.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	Fonte
Belterra-PA	6,5	3,0 x 2,0	2,74	Yared et al. (1988)
Curuá-Una-PA	17	2,5 x 2,5	7,18	Sudam (1979)
Belterra-PA	40	10,0 x 10,0	4,17	Yared et al. (1993)
Cantá-RR	7,0	2,5 x 2,0	9,05	Tonini e Arco-Verde (2004)
Itacoatiara-AM	9,0	1,5 x 2,5	7,45	O autor

Resultados de outras espécies do mesmo grupo ecológico como a *Hevea brasiliensis*, indicaram que ao final de 12 anos, o plantio em espaçamento 7 x 3 m (476 árvores.ha⁻¹) seqüestrou, em média 62,10 Mg.ha⁻¹ de carbono (Fernandes et al., 2007).

LIMA E SOUZA (2009) trabalhando com andiroba (*Carapa guianensis*), aos 14 anos em espaçamento 3 x 3 m, em Manaus-AM, verificaram valores de 182,7 Mg de carbono seqüestrado.

Pela aplicação do modelo 3 para estimativa dos valores de biomassa seca e multiplicando-se pelo fator 0,5 verificou-se que o plantio de castanha aos 9 anos de idade, seqüestrou por hectare 67,05 Mg de carbono.

Comparando-se os incrementos médios anuais, com os valores obtidos com as outras espécies nos estudos supracitados, tem-se: *C. guianensis* (13,05 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹) > *B. excelsa* (7,45 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹) > *H. brasiliensis* (5,17 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹).

Conclusões

- Para estimativa do valor médio da biomassa seca aérea da castanha-do-brasil (*B. excelsa*) foi escolhido o modelo 3: $p = -5,00854dap + 0,76944dap^2$.
- A estimativa do valor médio da biomassa aérea total da *Bertholletia excelsa* em Mg.ha⁻¹ foi de $134,06 \leq \text{Peso seco} \leq 149,35$ em um plantio de 9 anos de idade nas condições de clima e solo do sitio da Fazenda Aruanã.
- A estimativa média de carbono seqüestrado nos plantios de castanha-do-brasil, aos 9 anos de idade, na região de Itacoatiara, foi de 67,05 Mg.ha⁻¹, com um incremento médio anual de 7,45 Mg.ha⁻¹.

Referências

CAMPOS, J. C. C.; SILVA, J. A. da; VITAL, B. R. **Volume e biomassa do tronco e da copa de eucalipto de grande porte**. Viçosa, Revista Árvore. v. 16 (3), p. 319 a 336, 1992.

DRAPER, N.R.; SMITH, H. **Applied Regression Analysis**. 2º ed. New York, John Wiley & Sons, Inc. 709 p. 1980.

EAMUS, D.; MCGUINNESS, K.; BURROWS, W. **Review of allometric relationships for estimating woody biomass for Queensland, the Northern territory and Western Australia**. Camberra: Australian Greenhouse Office, 55p. 2000 (National Carbon Accounting System technical report, no. 5a)

FERNANDES, T. J. G.; SOARES, C. P. B.; JACOVINE, L. A. G.; ALVARENGA, A. de P. Quantificação do carbono estocado na parte aérea e raízes de *Hevea* SP., aos 12 anos de idade, na zona da mata mineira. **R. Árvore**, 31(4):657-665, 2007

LIMA, R. M. B.; SOUZA, C. R. de. Avaliação do estoque de biomassa em plantios florestais homogêneos na Amazônia Central. 2009 (no prelo)

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>, 2006.

SANQUETA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; SCHUMACKER, M. V.; MELLO, A. A. DE Relações individuais de biomassa e conteúdo de carbono em plantações de *Araucaria angustifolia* e *Pinus taeda* no sul do estado do Paraná, Brasil. **Revista Acadêmica:ciências agrárias e ambientais**. v.1, n.3, p. 33-40, 2003.

SUDAM. Estudos básicos para formulação de uma política de desenvolvimento industrial na Amazônia. Belém, PA: UFPA, Naea, 578p. 1979.

TONINI, H., ARCO-VERDE, M. F. A castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa*): crescimento, potencialidades e usos. Boa Vista : Embrapa Roraima, 29p. 2004. (Embrapa Roraima. **Documentos**, 3).

YARED, J. A. G. ; KANASHIRO, M. ; CONCEIÇÃO, J.G.L. Espécies florestais nativas e exóticas: comportamento silvicultural no planalto do Tapajós. Belém, PA: Embrapa CPAT U, 29p. 1988 (Embrapa-CPATU. **Documentos**, 49).

YARED, J.A.G. ; KANASHIRO,M. ; VIANA, L.M. ; CASTRO, T.C.A. de ; PANTOJA, J. R. de S. Comportamento silvicultural de castanheira (*Bertholletia excelsa* H. & K.), em diversos locais na amazônia. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1. ; CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., 1993, Curitiba. **Anais...** Floresta para o desenvolvimento: política, ambiente, tecnologia e mercado. Curitiba: SBS; SBEF, v. 2, p. 416-418. 1993.