

## DESENVOLVIMENTO DE MODELOS ESTATÍSTICOS PARA ESTIMAR A BIOMASSA DA VEGETAÇÃO ACIMA DO NÍVEL DO SOLO EM CAMPINARANA.

Rosiane Oliveira da SILVA<sup>1</sup>; Joaquim dos SANTOS<sup>2</sup>; Roseana Pereira da SILVA<sup>3</sup>; Cecília Pires Isaac Borges WOORTMANN<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Bolsista PIBIC/CNPq/INPA; <sup>2</sup>Orientador CPST /INPA; <sup>3</sup>Colaborador Bolsista PCI/MCT/INPA;

<sup>4</sup>Aluna de mestrado/INPA

### 1. Introdução

As estimativas de biomassa em ecossistemas tropicais são necessárias para um melhor entendimento dos impactos do desmatamento sobre as mudanças climáticas globais. Essas informações são imprescindíveis nas questões ligadas, entre outras, às áreas de manejo florestal e clima. No primeiro caso, por meio da biomassa é possível estimar o fluxo e balanço de nutrientes em áreas manejadas. Em relação ao clima, a biomassa é usada para estimar os estoques e as mudanças de estoques de Carbono da floresta manejada com o passar do tempo. Da mesma forma é utilizada também para estimar a quantidade de CO<sub>2</sub> que é liberado para a atmosfera durante o processo de mudanças de uso do solo (Higuchi *et al.*, 1998).

As estimativas de biomassa, atualmente, disponíveis na literatura, dos diversos tipos florestais da Amazônia, vêm de estudos que utilizam métodos diretos e indiretos. Contudo o consenso existente entre os grupos de pesquisadores que trabalham com biomassa é de que é impossível estimar a biomassa acima do nível do solo na Amazônia por meio do método direto. Tal fato justifica a necessidade de aprimorar os métodos indiretos para se chegar a uma estimativa confiável com metodologias replicáveis e auditáveis (Silva, 2007).

Na Amazônia brasileira poucos são os estudos realizados nas diferentes tipologias vegetais, onde os estudos existentes são quase que totalmente direcionados para sistemas "florestais" de alta biomassa, por causa do maior impacto nas emissões e das elevadas taxas de desmatamento por toda a região (INPE 2002). Contudo, os sistemas de baixa biomassa, como é o caso da campinarana, também estão sendo atingidos pela mudança de uso do solo, onde existe uma pressão antrópica, desde a década de 80, sobre essa vegetação, incluindo a extração de areia para a construção civil e o fogo (Anderson 1981), podendo estes também liberar CO<sub>2</sub> para a atmosfera.

Mediante o exposto este trabalho teve como objetivo testar diferentes modelos estatísticos para descrever a relação do peso fresco da árvore com variáveis independentes como diâmetro à altura do peito (DAP) e altura total da árvore, e assim, baseando-se nos indicadores que comprovam a consistência do modelo poder selecionar a melhor equação alométrica para espécies arbóreas em campinarana.

### 2. Material e Métodos

Este trabalho foi desenvolvido em uma campinarana de aproximadamente 20 ha, que está localizada na Estação Experimental de Silvicultura Tropical do INPA, em uma área que é conhecida como estação ZF-2. A estação ZF-2 está situada entre os km 21 e 24 da margem esquerda da estrada vicinal ZF-2 do Distrito Agropecuário da Superintendência da Zona Franca de Manaus (SUFRAMA), 90 km ao noroeste de Manaus - AM (Teixeira *et al.* 2007).

Os dados foram obtidos por meio do método direto, onde foram derrubadas e pesadas todas as árvores com DAP  $\geq$  5 cm em 10 parcelas de 100 m<sup>2</sup> (10 x 10 m) de acordo com Silva (2007). O peso total de todos os indivíduos amostrados foi compartimentado em tronco e copa. Sendo a copa pesada separadamente conforme os compartimentos: folhas, frutos e, eventualmente, flores.

Para os galhos também foi feita uma separação, considerando o tamanho (diâmetro do galho), onde os mesmos foram classificados em: (i) galhos grossos com  $\varnothing \geq$  10 cm e (ii) galhos finos com  $\varnothing <$  10 cm.

Para que os troncos fossem pesados, estes foram serrados em tamanhos adequados à capacidade da balança. Além do peso da árvore, foram também medidos o DAP, altura total, altura comercial e diâmetro da copa. Estes dados farão parte do arquivo de dados de biomassa do INPA, que vem sendo completado desde 1996.

Para as análises estatísticas utilizou-se o programa Systat na versão 10.0 para Windows. Visando-se estimar a biomassa em pé da área em estudo, os procedimentos tradicionais da

ciência florestal, que são: (i) maior coeficiente de determinação, (ii) menor erro padrão de estimativa e (iii) melhor distribuição dos resíduos foram os indicadores considerados para escolha do melhor modelo estatístico (Santos, 1996).

### 3. Resultados e Discussão

Equações alométricas para estimar biomassa em campinarana - nas Tabelas 1,2 e 3 estão apresentadas as estimativas dos coeficientes (a, b e c) e dos parâmetros ( $r^2_{aj.}$  e  $s_{xy}\%$ ) para os modelos testados considerando árvores com  $5 \leq DAP < 20$  cm,  $DAP \geq 20$  cm e  $DAP \geq 5$  cm, respectivamente.

Tabela 1 - Equações da biomassa acima do solo para árvores de  $5 \leq DAP < 20$  cm.

Nº	Modelos	Coeficientes			$r^2_{aj.}$	$s_{xy}(\%)$
		a	b	C		
1	$\ln P = a + b \ln D$	-1,524	2,551	----	0,95	4,20
2	$\ln P = a + b \ln D + c \ln HT$	-2,100	2,288	0,442	0,95	4,19
3	$P = a + b D^2 HT$	5,957	0,050	---	0,89	4,41
4	$P = a D^b HT^c$	0,186	2,304	0,290	0,90	4,16
5	$P = a D^b$	0,245	2,516	---	0,90	4,19

P= peso em Kg; D= diâmetro em cm; H= altura em metro.

Segundo Silva (2007), o coeficiente de determinação indica o quanto da variação dos dados é explicado pelo modelo. Os coeficientes de determinação variaram entre 0,89 - 0,95, ou seja, foram próximos a 1,0, indicando que todos modelos explicam satisfatoriamente a variação dos dados. Em relação a este indicador, o melhor desempenho foi apresentado pelos modelos 1 e 2, ambos com  $r^2_{aj.} = 0,95$ , e o menor,  $r^2_{aj.} = 0,89$  foi apresentado pelo modelo 3. Contudo, o modelo 2 é de dupla entrada, ou seja, uma variável a mais para ser coletada em campo, o que significa mais tempo e gastos adicionais em relação ao modelo 1 que é de simples entrada.

Todos os modelos testados apresentaram considerável precisão, sendo observado que os valores de  $s_{xy} \%$  variaram entre 4,16 - 4,41 %, abaixo do limite aceitável nas ciências florestais que é de 10% (Péllico Netto e Brena, 1997). O maior erro padrão da estimativa foi apresentado pelo modelo 3 ( $s_{xy}\% = 4,41$ ) e o menor pelo modelo 4 ( $s_{xy}\% = 4,16$ ), ambos de dupla entrada.

Tabela 2 - Equações da biomassa acima do solo para árvores de  $DAP \geq 20$  cm.

Nº	Modelos	Coeficientes			$r^2_{aj.}$	$s_{yx}(\%)$
		a	b	C		
1	$\ln P = a + b \ln D$	-0,641	2,307	----	0,87	6,95
2	$\ln P = a + b \ln D + c \ln HT$	-3,681	1,978	1,300	0,90	5,15
3	$P = a + b D^2 HT$	-200,039	708,913	----	0,93	4,77
4	$P = a D^b HT^c$	0,002	2,012	1,996	0,95	6,54
5	$P = a D^b$	0,162	2,643	----	0,92	5,50

P= peso em Kg; D= diâmetro em cm; H= altura em metro.

Para esta classe ( $DAP \geq 20$  cm) todos modelos demonstraram explicar bem a variação dos dados, os coeficientes de determinação ( $r^2_{aj.}$ ) variaram entre 0,87 - 0,95. O melhor desempenho, em relação a este indicador, foi apresentado pelos modelos 3 e 4, com  $r^2_{aj.} = 0,92$  e  $r^2_{aj.} = 0,95$ , respectivamente. No entanto, o modelo 4 é de dupla entrada o que significa mais tempo e gastos adicionais em relação ao modelo 3 que é de simples entrada. Todos os modelos testados apresentaram precisão e limite de erro abaixo do valor aceitável em ciências florestais (10%). Os valores de  $s_{xy} \%$  variaram entre 4,77 - 6,95 %, o menor erro foi apresentado pelo modelo 5 com  $s_{xy}\% = 4,7$ .

Tabela 3 - Equações da biomassa acima do solo para árvores de DAP  $\geq 5$  cm.

Nº	Modelos	Coeficientes			$r^2_{aj.}$	syx(%)
		a	b	C		
1	$\ln P = a + b \ln D$	-1,553	2,567	----	0,98	4,27
2	$\ln P = a + b \ln D + c \ln HT$	-2,246	2,319	0,476	0,98	4,25
3	$P = a + b D^2 HT$	-33,338	663,121	----	0,97	3,95
4	$P = a D^b HT^c$	0,004	2,059	1,794	0,97	20,88
5	$P = a D^b$	0,176	2,620	----	0,96	4,25

P= peso em Kg; D= diâmetro em cm; H= altura em metro.

Também para esta classe (DAP  $\geq 5$  cm) todos modelos demonstraram explicar a variação dos dados satisfatoriamente, os coeficientes de determinação ( $r^2_{aj.}$ ) variaram entre 0,96 - 0,98. Os modelos 1 e 2 foram os que apresentaram melhor desempenho em relação a este indicador, com  $r^2_{aj.} = 0,98$  para ambos.

A precisão dos modelos, ficou abaixo do limite aceitável de erro que é de 10% (Péllico Netto e Brena, 1997) para a maioria dos modelos, com exceção apenas do modelo 4 que apresentou um erro padrão da estimativa ( $s_{xy}$ ) = 20,88.

Distribuição gráfica dos resíduos - na figura 1 é apresentada a distribuição gráfica de resíduos para os modelos testados para as árvores com  $5 \leq \text{DAP} < 20$  cm, DAP  $\geq 20$  e DAP  $\geq 5$  cm, respectivamente. É apresentado somente os modelos que tiveram o "desempenho mais favorável" seguido dos que tiveram "desempenho menos favorável" de acordo com a classe de tamanho em diâmetro.

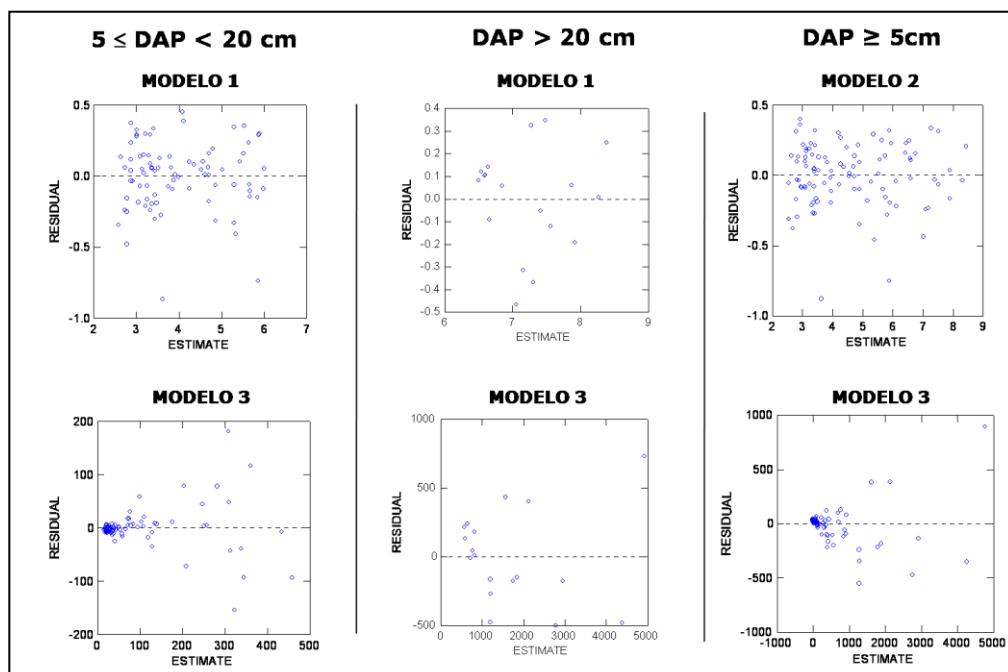


Figura 1 - Distribuição gráfica de resíduos para os modelos testados.

$5 \leq \text{DAP} < 20$  cm- o melhor desempenho foi apresentado pelo Modelo 1, onde a mesma se apresentou de forma uniforme, não tendenciosa, com isso não subestimando e nem superestimando os valores indicando a consistência do modelo. Em contrapartida, o Modelo 3 apresentou uma distribuição gráfica tendenciosa, não sendo recomendada sua escolha.

DAP  $\geq 20$  - o Modelo 1 foi o que apresentou melhor desempenho. Contudo, o Modelo 3 apresentou uma distribuição gráfica de resíduos tendenciosa.

DAP  $\geq 5$  cm - a distribuição gráfica de resíduos que se apresentou de forma mais uniforme e homogeneia foi a do Modelo 2. No entanto, o Modelo 3 apresentou uma distribuição gráfica tendenciosa para as menores classes.

#### 4. Conclusão

$5 \leq \text{DAP} < 20$  cm – o modelo escolhido foi o Modelo 5 ( $P=aD^b$ ) com  $r^2_{aj.}=0,90$  e  $s_{xy\%}=4,19$ . Apesar dos Modelos 1 e 2 ( $\ln P=a+b\ln D$  e  $\ln P=a+b\ln D+c\ln HT$ , respectivamente) apresentarem maior  $r^2_{aj.}$ , e a distribuição de resíduos mais uniformes, estes são modelos logarítmicos, quando a equação é corrigida esses acabam tendo erros embutidos, portanto, opta-se pela escolha do modelo 5.

$\text{DAP} \geq 20$  - o modelo escolhido foi o Modelo 5 ( $P=aD^b$ ) com  $r^2_{aj.}=0,92$  e  $s_{xy\%}=5,50$ , pelos mesmos motivos expostos acima.

$\text{DAP} \geq 5$ cm - o modelo escolhido foi o Modelo 5 ( $P=aD^b$ ) com  $r^2_{aj.}=0,96$  e  $s_{xy\%}=4,25$ , pelos mesmos motivos expostos acima.

A escolha do melhor modelo deve levar em conta sim os parâmetros tradicionais da ciência florestal. Contudo, não se deve esquecer o custo e o tempo, pois uma pequena diferença entre valores não justifica a coleta de variáveis a mais que só acrescentam muitas vezes 1% de precisão.

#### 5. Referências

Anderson, A.B. 1981. White-sand vegetation of Brazilian Amazonia. *Biotropica*, Fairfax, 13: 199-210.

Higuchi, N.; Santos, J. dos; Ribeiro, R. J.; Minette, L.; Biot, Y. 1998. Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia brasileira. Em: *ACTA AMAZÔNICA* 28(2):153-166.

INPE. 2002. *Monitoramento da floresta Amazônica brasileira por satélite 2000-2001*. Ministério da Ciência e Tecnologia / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 21p.

Péllico Neto, S.; Brena, D. 1997. Inventário Florestal. Curitiba: UFPR/UFMS, V. 1 . 268 p.

Santos, J. dos. 1996. *Análise de Modelos de Regressão para Estimar a Fitomassa da Floresta Tropical Úmida de Terra-firme da Amazônia Brasileira*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, 121 p.

Silva, R.P. 2007. *Alometria, estoque e dinâmica da biomassa de florestas primárias e secundárias na região de Manaus (AM)*. Doutorado em Ciências de Florestas Tropicais do INPA. 135 p.

Teixeira, L. M, Chambers, J.Q.; Silva, A. R., Lima, A.; Carneiro, V.M; Santos, J., Higuchi, N. 2007. Projeção da dinâmica da floresta natural de Terra-firme, região de Manaus-AM, com o uso da cadeia de transição probabilística de Markov. *Acta Amazonica* vol. 37, no. 32008-10-22. p. 377-384