

## **MODELAGEM HIPSOMÉTRICA EM UMA FLORESTA DE VÁRZEA NA REGIÃO ADJACENTE A FOZ DO RIO AMAZONAS**

*Jadson Coelho de Abreu*

Eng. Florestal, Mestrando em Ciência Florestal, UFRPE – Rua Dom Manuel de Medeiros s/n, Dois Irmãos, CEP: 52171-900, Recife, PE. E-mail: jadsongoelhoabreu@hotmail.com

*Gabriel Paes Marangon*

Eng. Florestal, Doutorando em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria – Avenida Roraima, 1000 Cidade Universitária Bairro Camobi CEP:97105-900 Santa Maria (RS). E-mail: gabrimarangon@yahoo.com.br

*Rafael Vieira Anjos*

Engenheiro Florestal, Graduado na Universidade do Estado do Amapá. Avenida. Presidente Vargas, nº 650, Centro. Macapá-AP. CEP: 68.906-970. E-mail: Rafael\_anjos@yahoo.com.br

*Alan Cauê de Holanda*

Professor Assistente do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande- (UFCG), Campus de Pombal –Rua Jairo Feitosa, S/N, Bairro dos Pereiros - CEP: 58840-000. Pombal (PB). E-mail: holandaac@yahoo.com.br

**Resumo** - O objetivo desse trabalho foi de testar diferentes modelos matemáticos para encontrar aquele que melhor explique a relação altura/diâmetro. O trabalho foi desenvolvido no campus experimental da Universidade do Estado do Amapá (UEAP). Foram locadas de forma inteiramente aleatória 12 parcelas de 10x10 m (100 m<sup>2</sup>), adotando-se como critério de inclusão para compor a amostragem todas as árvores com diâmetro à altura do peito (DAP) ≥ 10 cm e alturas correspondentes. O DAP foi obtido com o auxílio de uma fita métrica e a altura foi mensurada com o auxílio do hipsômetro TRUPULSE 366°. Com a obtenção dos dados de DAP e Altura foram testados 8 modelos matemáticos de relação hipsométrica sendo 5 aritméticos, 2 logarítmicos e 1 não linear. Foi selecionado o melhor deles com base em critérios estatísticos mais utilizados. O modelo que menos se ajustou aos dados foi o modelo linear simples, com baixo coeficiente de determinação, mais elevado erro padrão da estimativa e distribuição gráfica do resíduo não homogênea. O modelo de Chapman e Richard apresentou mais alto coeficiente de determinação e mais baixo erro padrão da estimativa, porém apresentou distribuição do resíduo tendenciosa. Mesmo com a maioria dos modelos apresentando pouca diferença entre eles pela análise gráfica do resíduo verificou-se que os que apresentaram o ajuste mais homogêneo foram o Parabólico e Curtis.

**Palavras-chave:** Modelos Matemáticos, Amazônia, Amostragem, Macapá

## **MODELING HYPSONETRIC IN A FLOODPLAIN FOREST IN THE AREA NEAR THE MOUTH OF THE AMAZON**

**Abstract** - The objective of this study was to test different mathematical models to find one that best explains the relationship height / diameter. The study was conducted in the experimental campus of State University of Amapá (UEAP). It were located in an entirely random way 12 plots of 10x10 m (100 m<sup>2</sup>), adopted as inclusion criteria to compose the sample all trees with diameter at breast height (DBH) ≥ 10 cm and corresponding heights. The DBH was obtained with the help of a measuring tape and the height was measured with the help of TRUPULSE 366 ° hypsometer. With the obtained of DBH and height data it were tested 8 mathematical models of relationship hypsonetric and 5 were arithmetic, 2 logarithmic and 1 non-linear. It was selected the best of them based on statistical criteria most commonly used. The model that less adjusted to the data was the simple linear model, with a low coefficient of determination, highest standard error of estimate and residual graphic distribution inhomogeneous. The Chapman and Richard model had the highest coefficient of determination and lowest standard error of estimate, but a bias residual distribution. Although most models showing little difference among them by residual graphic analysis it was verified the models that had more homogeneous adjust were the Parabolic and Curtis.

**Keywords:** Mathematical Models, Amazon, sampling, Macapá

## **INTRODUÇÃO**

A floresta Amazônica possui elevada diversidade, tanto de fauna quanto de flora, com indivíduos de variadas idades e tamanhos e, sobretudo com características ecofisiológicas distintas, o que torna o seu manejo uma tarefa muito complexa (SOUZA e SOUZA, 2005).

Uma das características da floresta Amazônia é a diversidade de ecossistemas, entre eles estão às florestas de várzeas, cuja importância ecológica e socioeconômica para a região é marcante. Desde o processo de ocupação inicial até os dias de hoje, as várzeas mantêm populações ribeirinhas que praticam agricultura, pesca, e extrativismo de madeira e produtos florestais não madeireiros.

O ecossistema várzea se localiza em áreas inundáveis da bacia amazônica, cujos solos são constantemente renovados por causa da sedimentação natural que ocorre durante o período em que permanecem submersos. Nesse ambiente, desenvolvem-se plantas adaptadas fisiologicamente e morfológicamente, que apresentam como característica marcante a madeira mais leve que as de espécies de terra firme (GAMA et al., 2003).

As várzeas são ambientes frágeis, com origem e funcionamento ligados à deposição de sedimentos geologicamente recentes, profundamente influenciados pelos regimes de marés e de águas pluviais. São as chamadas planícies de inundação, planícies quaternárias, planícies aluviais, etc. A essas mesmas condições se deve a formação de solos com bons níveis de nutrientes e estoques biológicos ainda precariamente conhecidos (QUEIROZ et al., 2007).

As maiores florestas de várzea do Estado do Amapá ocorrem ao longo da orla amazônica, adentrando pelos estuários e baixos cursos dos inúmeros rios que aí deságuam (AMAPÁ, 2002).

Devido à importância desse ambiente é fundamental a realização de um manejo adequado, mantendo assim a floresta em pé e sua capacidade produtiva, com o mínimo de impacto ao ambiente.

Uma ferramenta da ciência florestal que pode ser utilizada para se ter informações mais detalhadas sobre a composição florística e estrutural das florestas de várzea, são os inventários florestais, esse que segundo Sanqueta et. al (2009) é uma atividade que visa obter informações quantitativa e qualitativa de uma área pré-específica, levando em consideração sua intensidade amostral e validação estatística.

Em inventários florestais a variável diâmetro a altura do peito é facilmente medida, a altura, no entanto é obtida de forma direta por instrumentos apropriados, fornece resultados acurados, porém não econômicos, devido ao tempo gasto (BARTOSZECK et. al 2002).

Em floresta nativa como é o caso da floresta amazônica esse procedimento ainda é mais complicado,

porque em algumas árvores não é possível mensurar a altura já que não se consegue visualizar a copa por estarem cobertas pela copa de outras árvores. Portanto é comum a medição do diâmetro de todas as árvores nas parcelas, já a altura se mede de algumas árvores.

O conjunto de dados de altura das árvores medidas, com os respectivos diâmetros, é usado para estabelecer uma relação de regressão de altura sobre diâmetro, a qual é usada para estimar a altura das demais árvores em função do diâmetro medido. Logo estima-se a variável de difícil mensuração em função da de fácil mensuração, diminuindo tempo e custo, essa relação matemática e conhecida por relação hipsométrica, esta que já é bastante utilizada em trabalhos na ciência florestal aplicados a florestas nativas como pode se ver nos trabalhos de Machado et al, (2008), Azevedo et al (1999), Tonini et al (2005).

Desta forma o levantamento teve por objetivo testar diferentes modelos matemáticos para encontrar aquele que melhor explique a relação altura/diâmetro, para árvores em Florestas de Várzea.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **Caracterização da Área**

O trabalho foi desenvolvido no campus experimental da Universidade do Estado do Amapá (UEAP) que ocupa uma área de 11 ha localizada na Zona Sul do município de Macapá-AP com coordenadas geográficas de (0°01'55,02"S e 51°04'42,39" W). Possui limites ao norte com a uma reserva particular, sul com uma área pertencente a um estabelecimento comercial, leste com o rio Amazonas e a oeste com a rodovia JK.

A vegetação é do tipo floresta de várzea estuarina, o clima dominante de acordo com a classificação de Köppen é da categoria Am, com precipitação excessiva durante os meses de janeiro a julho, e um período seco caracterizado por precipitações abaixo de 60 mm nos demais meses do ano. A precipitação média anual é de 2100 mm, com insolação total anual no Estado variando de 1800 a 2200 horas, e déficit hídrico de 353 a 470 mm/ano. A temperatura média gira em torno de 27°C e os valores da umidade média mensal relativa do ar máxima (87%) e mínima (78%) coincidindo, respectivamente, com a estação chuvosa e o período seco de verão (INMET, 2011). O solo da área é do tipo hidromórfico, devido às constantes inundações pelas marés, que mantém o solo saturado de água e também trazem sedimentos que conferem elevada fertilidade às várzeas.

### Amostragem e coleta de dados

Foram locadas de forma inteiramente aleatória 12 parcelas de 10x10 m (100 m<sup>2</sup>), adotando-se como critério de inclusão para compor a amostragem todas as árvores com diâmetro à altura do peito (DAP) ≥ 10 cm e alturas correspondentes. O DAP foi obtido com o auxílio de uma fita métrica e a altura foi mensurada com o auxílio do hipsômetro TRUPULSE 366°.

### Análise dos dados

Com a obtenção dos dados de DAP e Altura foram testados 8 modelos matemáticos de relação hipsométrica baseados em Sanqueta et. al (2009) e Schineider (2009), sendo 5 aritméticos, 2 logarítmicos e 1 não linear, no processamento dos dados utilizou-se o software MS Excel 2010 e os modelos testados podem ser visualizados na tabela 1

TABELA 1: Modelos matemáticos testados para a Relação hipsométrica em uma floresta de várzea na região adjacente a foz do rio Amazonas.

Natureza	Modelo	Autor
Aritméticos	$h = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAP + \varepsilon_i$	Linear simples
	$h = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(DAP) + \varepsilon_i$	Henriksen
	$h = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAP + \beta_2 \cdot DAP^2 + \varepsilon_i^2$	Parabólico
	$h = \frac{\beta_0 + \beta_1 \cdot DAP + \beta_2 \cdot DAP^2}{DAP^2} + \varepsilon_i$	Prodam I
	$h - 1.3 = \frac{\beta_0 + \beta_1 \cdot DAP + \beta_2 \cdot DAP^2}{DAP^2} + \varepsilon_i$	Prodam II
Logarítmicos	$\ln(h) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(DAP) + \ln(\varepsilon_i)$	Stoffels
	$\ln(h) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \frac{1}{DAP} + \ln(\varepsilon_i)$	Curtis
Não linear	$h = \beta_0 \cdot (1 - e^{-\beta_1 DAP})^{\beta_2} + \varepsilon_i$	Chapman e Richards

Em que:  $\beta_0, \beta_1, \beta_2$  = parâmetros dos modelos; DAP = diâmetro a altura do peito (1,3 m) da árvore;  $\ln$  = logaritmo natural;  $h$  = altura total e  $\varepsilon_i$  = erro aleatório.

A escolha das melhores equações ajustadas com a base de dados em estudo foi realizada com base nos seguintes critérios estatísticos: maior coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ):

$$R^2_{aj} = R^2 - \left[ \frac{K - 1}{N - K} \right] \cdot (1 - R^2)$$

Em que  $K$  = número de variáveis independentes do modelo,  $N$  = número de observações e  $R^2$  = coeficiente de determinação.

Erro padrão da estimativa ( $S_{yx}$ );

$$S_{xy}(\%) = \frac{\sqrt{QMR}}{\bar{y}} \cdot 100$$

Em que  $S_{xy}(\%)$  = Erro padrão da estimativa percentual,  $QMR$  = quadrado médio do resíduo  $\bar{y}$  = média da variável dependente.

Distribuição dos resíduos;

$$\hat{\varepsilon}(\%) = \frac{(\hat{y} - y)}{y} \cdot 100$$

Em que  $\hat{\varepsilon}(\%)$  = Resíduo percentual,  $\hat{y}$  = estimava da variável dependente  $y$  = variável dependente.

Para comparação dos modelos logarítmicos com os aritméticos, utilizou-se o fator de correção da discrepância logarítmica Conforme Rezende et al (2006), para assim as variáveis dependentes fiquem na mesma natureza. O fato de correção da discrepância logarítmica é obtido por:

$$f = e^{\frac{QMR}{2}}$$

Em que  $f$  = fator de correção da discrepância logarítmica,  $e$  = exponencial  $QMR$  = quadrado médio do resíduo.

Calculado o fator de correção para a discrepância logarítmica, foi obtido o valor estimado corrigido da variável dependente analisada. De posse destes novos valores, foram recalculadas a soma de quadrados dos resíduos ( $SQ_{Resíduo}$  recalculada) e a soma de quadrados da regressão ( $SQ_{Regressão}$  recalculada), para obtenção dos valores corrigidos de  $R^2$  e  $S_{yx}$  das equações.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na floresta de várzea estudada, foram amostrados 78 indivíduos com uma área basal de 10,01 m<sup>2</sup>/ha, distribuídos em 14 famílias botânicas, 27 espécies. A riqueza de espécies (27) foi inferior ao encontrado por Queiroz et al., (2007) em área de várzea no estado do Amapá e por Gama et al., (2002) em floresta explorada de várzea baixa localizada no município de Afuá, no norte do Estado do Pará. No Estudo de Oliveira e Amaral (2004), em área de várzea na Amazônia central foram encontradas mais de 100 espécies.

Na tabela 2 a seguir estão às estatísticas para caracterizar a dispersão dos diâmetros, alturas totais da comunidade estudada.

TABELA 2: Características das estatísticas de dispersão dos dados para diâmetro, altura total .

Característica	DAP (cm)	H (m)
Máximo	113	25
Mínimo	10	5
Cv(%)	65,14	36,45
Desvio Padrão	22,90	5,31

Analisando a tabela 2, percebe-se uma amplitude diamétrica elevada, confirmada pelo coeficiente de variação de 65,14% e o mesmo ocorre com a altura que apresenta 36,45% correspondente ao mesmo parâmetro. Na tabela 3 apresentam-se e os valores calculados para os parâmetros dos modelos, coeficiente de determinação e erro padrão da estimativa.

TABELA 3: estimativas dos parâmetros de 8 modelos em estudo, , coeficiente de determinação ajustado R<sup>2</sup>aj, erro padrão da estimativa S<sub>xy</sub>(%).

Modelo	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	R <sup>2</sup> aj(%)	S <sub>xy</sub> (%)
Linear simples	8.7454	0.1671		51.17	25.47
Henriksen	-7.0705	6.4748		64.48	21.72
Parabólico	3.9436	0.4557	-0.0030	65.90	21.28
Prodam I	-4.3431	1.5060	0.0268	62.38	23.28
Prodam II	-4.6915	1.8662	0.0240	59.65	26.43
Stoffels	0.9439	0.4964		66.71	23.68
Curtis	3.1180	-11.8255		64.44	21.29
Chapman e Richards	20.451	0.057	1.3758	66.89	20.93

Nota-se que tanto os modelos aritméticos, logarítmicos e o não linear conseguem estimativas medianas já que seus coeficientes de determinação estão variando de 51.17 % com o modelo de linear até 66.71 % com o modelo de Chapman e Richards.

Essas estimativas medianas de coeficiente de determinação provavelmente se

devem ao fato de o estudo ter sido feito para uma comunidade e não para populações como Tonini et al (2005) e Azevedo et al (1999), sendo que nesses estudos os mesmos autores encontraram coeficientes de determinação em 90 % para as espécies em estudo.

Machado et al (2008) estudando a relação altura/diâmetro para *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Katze no Paraná observou uma variação de coeficiente de determinação bem menor que foi de 12,9 a 19,3. Logo nota-se que mesmo com estimativas mediadas a

comunidade estudada tem uma tendência de que a altura total dos indivíduos seja explicada pelo diâmetro.

Já o erro padrão da estimativa esta variando de 20.93 com o modelo de Chapman e Richards até 26.43 com o modelo de Prodam II.

Finger et al (2000) verificou variação do erro padrão da estimativa de 4,66 a 25,48 uma variação bem maior sendo que o mesmo autor conseguiu encontrar um único modelo para explicar a relação altura/diâmetro para *Acacia mearnsii* De. Wild. no Rio Grande do Sul. Sendo que para a floresta de várzea em estudo todos os modelos tiveram comportamento parecido tanto que o erro padrão da estimativa variou pouco entre os modelos.

O terceiro critério utilizado na análise gráfica do resíduo na figura 2 nota-se que a amplitude esta variando de -100% a 40%, com exceção do modelo linear que pela análise que varia até 120% e de forma não homogênea, mostrando que esse modelo foi o que obteve o pior ajuste.

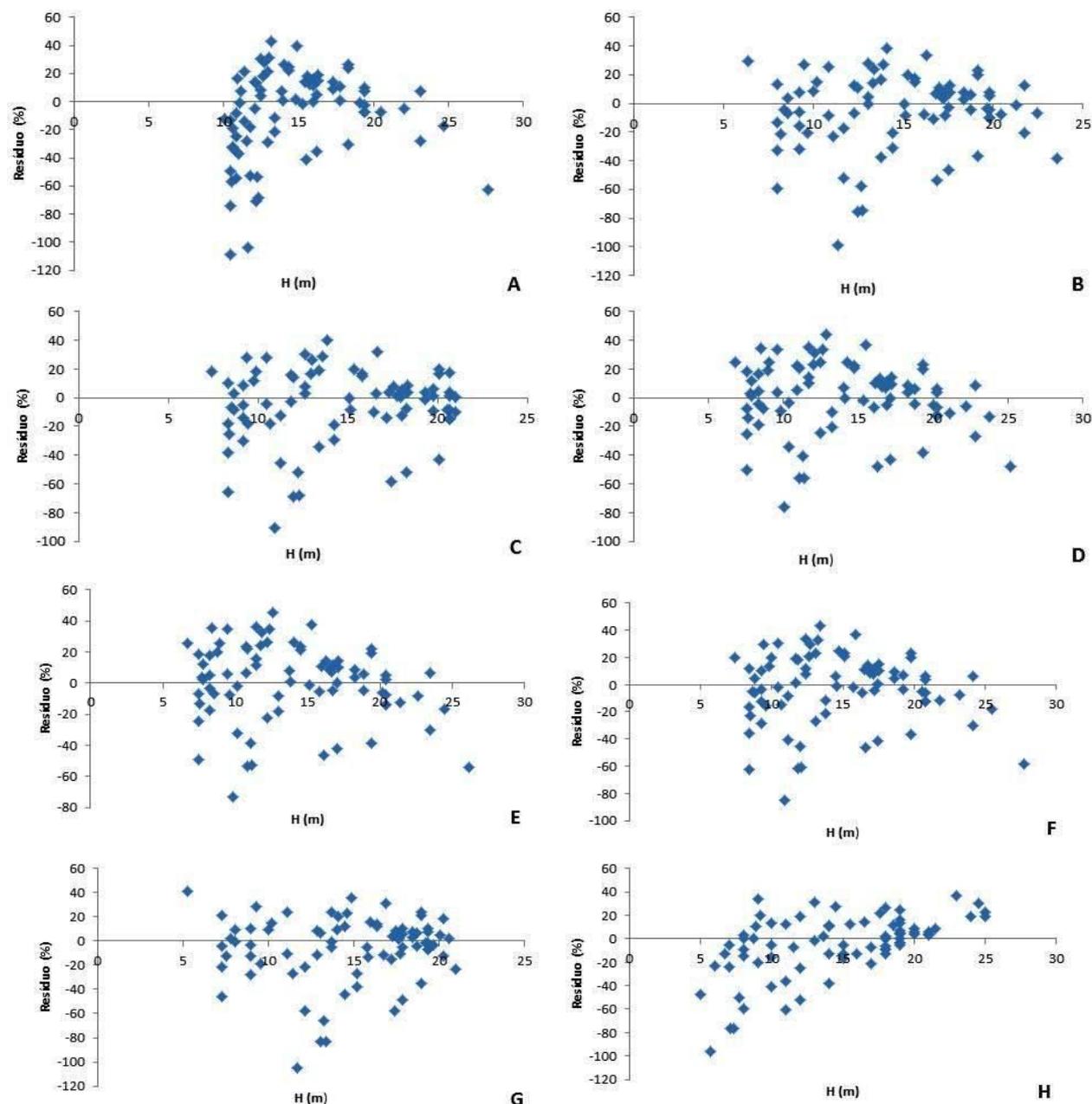


FIGURA 2- Análise Gráfica do resíduo para os 8 modelos testados sendo (A)-modelo linear,(B)-modelo Henriksen, (C)-modelo Parabolico, (D)-modelo de Prodan I, (E)-modelo de Prodan II, (F)-modelo de Stoffels, (G)-modelo de Curtis,(H)-modelo de Chapman e Richards.

Os modelos que menos variaram foram Prodan I e Prodan II que variaram de -80% a 40% no entanto Prodan II esta tendo uma tendenciosidade negativa.

Os modelos que apresentaram a distribuição residual mais homogênea foi o modelo Parabólico e Curtis, sendo que suas extremidades residuais variaram de -90% a 40% e -100% a 40% mostrando que pela análise gráfica do resíduo esses modelos obtiveram as melhores distribuições e sem tendenciosidade.

O modelo de Chapman e Richards apesar de apresentar o coeficiente de determinação um pouco mais elevado e erro padrão da estimativa mais baixo entre todos, apresenta distribuição residual tendenciosa positiva mostrando que à medida que se aumenta a altura o erro também aumenta.

Logo com exceção do modelo linear simples verifica-se que todos os modelos apresentaram estimativas semelhantes, no entanto pela análise gráfica do resíduo

verifica-se que os melhores modelos foram o Parabólico e Curtis por apresentarem distribuição gráfica do resíduo mais homogênea. Vale salientar que a ocorrência de certa tendência de não agrupamento e não normalidade dos dados, além de coeficientes de determinação intermediários variando de 51 a 66% se tornam possíveis, devido aos dados serem coletados em Floresta nativa, onde o nível de complexidade para obtenção dos dados é influenciado pela heterogeneidade do ambiente, transmitindo tal realidade.

## CONCLUSÃO

Diante da dispersão dos dados altura sobre diâmetro, entende-se que a relação altura/diâmetro é razoavelmente aceitável para a floresta de Várzea estuarina em estudo. Dentre os modelos utilizados, um não era tratado como modelo hipsométricos, o modelo de Chapman e Richards, que se comportou de forma equivalente a modelos tradicionais.

A maioria dos modelos aparentou pouca diferença entre si pela análise gráfica do resíduo verificando-se que o ajuste mais homogêneo apresentado foi para o modelo Parabólico e Curtis. Entretanto devido a uma escassez de trabalhos referentes ao presente estudo no estado do Amapá, torna-se uma tarefa imprescindível a maior confecção de equações para subsidiar os inventários florestais no estado.

## REFERÊNCIA

AMAPÁ. Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá. **Macrodiagnóstico do estado do Amapá**: primeira aproximação do zoneamento ecológico econômico. Macapá: IEPA – ZEE, 2002. 140 p.

AZEVEDO, C. P.; MUROYA, K.; GARCIA, L. C.; LIMA, R. M. B.; MOURA, J. B.; NEVES, E. J. M. Relação hipsométrica para quatro espécies florestais em plantio homogêneo e em diferentes idades na Amazônia Ocidental. **Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo**, n. 39, p.5-29, 1999.

BARTOSZECK, A. C. P. S.; MACHADO, S. A.; FIGUEIRDO FILHO, A.; OLIVEIRA, E. B. Modelagem da relação hipsométrica de bracatingais da região da região metropolitana de Curitiba-PR. **Revista Floresta, Curitiba-PR**. v.32, n.2, p.189-204, 2002.

FINGER, A. G.; SPATHELF, P.; SCHNEIDER, P. R.; COELHO, L. Curvas de altura-diâmetro de acácia negra (*Acacia mearnsii* de Wild). **Revista Ciência Rural, Santa Maria/RS**, v. 30, n. 3, p. 387-391, 2000

GAMA, J. R. V.; BOTELHO, S. A.; BENTES-GAMA, M. M. Composição Florística e Estrutura da Regeneração

Natural de Floresta Secundária de Várzea Baixa no Estuário Amazônico. **Revista Árvore, Viçosa-MG**, v.26, n.5, p.559-566, 2002.

GAMA, J. R. V.; BOTELHO, S. A.; BENTES-GAMA, M. M.; SCOLFORO, J. R. S. Estrutura e potencial futuro de utilização da regeneração natural de floresta de várzea alta no município de Afuá, estado do Pará. **Revista Ciências Florestais, Santa Maria-RS**. v.13, n.2, p.71-82, 2003.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA-NHMET. **Climas**, Disponível em <http://www.inmet.gov.br>. Acessado dia 05 de setembro de 2011.

MACHADO, S. A. NASCIMENTO, R. G. M.; AUGUSTYNCZIK, A. L. D.; SILVA, L. C. R.; FIGURA, M. A.; PEREIRA, E. M.; TEO, S. J. Comportamento da relação hipsométrica de *araucaria angustifolia* no capão da engenharia florestal da UFPR. **Boletim de pesquisa florestal, Colombo**, n.56, p.5-16. 2008

OLIVEIRA, A. N. e AMARAL, I. L. Florística e fitossociologia de uma floresta de vertente na Amazônia central, Amazonas, Brasil. **Revista Acta Amazônica**, v.34. n.1, p.21-34, 2004.

QUEIROZ, J. A. L.; MACHADO, S. A.; HOSOKAWA, R. T.; SILVA, I. C. Estrutura e dinâmica de floresta de várzea no Estuário amazônico no estado do Amapá. **Revista Floresta, Curitiba-PR**. v.37, n.3, set/dez 2007.

REZENDE, A. V.; VALE, A. T.; SANQUETTA, C. R.; FIGUEIREDO FILHO, A.; FELFILI, J. M. Comparação de modelos matemáticos para estimativa do volume, biomassa e estoque de carbono da vegetação lenhosa de um cerrado *sensu stricto* em Brasília, DF. **Revista Scientia Florestalis**. n. 71, p. 65-76, agosto 2006

SANQUETA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; CÔRTE, A. P. D.; FERNANDES, L. A. V.; SIQUEIRA, J. D. P. **Inventários florestais: planejamento e execução**. 2.Ed. Curitiba-PR: Multh-graphic gráfica e editora, 2009

SOUZA, D. R.; SOUZA, A. L.; Emprego do método *bdq* de seleção após a exploração florestal em floresta ombrófila densa de terra firme, Amazônia oriental, **Revista Árvore, Viçosa-MG**, v.29, n.4, p.617-625, 2005.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P.; SOUZA, C. A. M. S. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal**, 2.ed. Santa Maria: UFSM/FACOS, 2009. 293p.

Recebido em 23 03 2011

Aceito em 22 12 2011