
**MODELOS ESTATÍSTICOS ESTIMADORES PARA
CONFEÇÃO DE TABELAS DE VOLUME E
PESO SECO PARA O BAMBU GIGANTE**
(Dendrocalamus giganteus).

ALEXANDRE MIGUEL DO NASCIMENTO
Mestre, Prof. Assistente, DPF-IF-UFRRJ
RICARDO MARIUS DELLA LUCIA
Mestre, Prof. Adjunto, DEF-UFV

INTRODUÇÃO

O bambu possui uma grande amplitude de utilização. Nos países do oriente, maior é a sua importância na vida do homem rural assim como do urbano. Sua utilização abrange a alimentação humana (AZZINI E SALGADO, 1981), construção civil, instrumentos musicais, utensílios domésticos e papel e celulose (HECK, 1956). No oriente, assim como no ocidente, o bambu tem tido considerável utilidade (McCLURE, 1966).

O bambu pertence à família das gramíneas, sub-família Bambusoidea, havendo cerca de 1000 espécies dentro de 45 gêneros, ocorrendo nas regiões tropicais, subtropicais e também nas regiões temperadas do Japão, da China, e dos Estados Unidos da América do Norte. O único continente onde os bambus não são nativos é a Europa (GROSSER e LIESE, 1971).

O *Dendrocalamus giganteus* (Wall) Munro é provavelmente a espécie que produz os maiores colmos (Camus, 1913, citado por CIARAMELLO E AZZINI, 1971).

Uma vantagem marcante entre as espécies de bambus e as dicotiledôneas é o seu rápido

crescimento, e, apesar de sua haste oca, podem produzir grandes quantidades de matéria seca por hectare/ano (AZZINI E SALGADO, 1981). Em espécies tropicais como as dos gêneros *Bambusa*, *Dendrocalamus*, *Guadua*, os colmos atingem suas dimensões máximas com aproximadamente seis meses de idade.

Segundo CORREA (1984), o *Dendrocalamus giganteus* pode atingir até 36 m de altura e 25 cm de diâmetro a 1m do solo, sendo que as condições atmosféricas, principalmente as chuvas, influenciam substancialmente no seu crescimento. Sob certas condições, foi possível constatar um crescimento de até 46 cm em 24 horas.

Os valores encontrados na literatura sobre o rendimento volumétrico e a massa por hectare/ano são bastante variados, dependendo muito da espécie, do sítio, das condições climáticas etc.

HSIUNG (1986) afirma que na China o rendimento médio para algumas espécies e regiões está de 15 ton. por hectare/ano.

NOMURA et ali (1986), em um relatório da FAO (Food And Agriculture Organization), mostraram que a produção pode variar de 4,5 ton./ha, na Coréia, até 50 ton./ha, em Burma. Esses valores são correspondentes ao peso seco ao ar livre.

Em estimativa feita por NOMURA et ali, para *Dendrocalamus latiflorus*, foi verificado que após transplantados os colmos, a touceira desse bambu cresceu acima de 8,4m de circunferência (2,7 m de diâmetro), após quatro anos. O número de touceiras observado por hectare foi de 67, e o de colmos existentes por touceira foi de 60, em média, sendo que aproximadamente 22 desses colmos eram brotações. Em condições apropriadas, essa espécie produz 43 m³/ha, e seu peso seco ao ar livre é de aproximadamente 28.5 ton./ha. Se esta espécie for plantada em touceiras com 8m de intervalo, 114 touceiras por hectare podem ser obtidas, e, considerando que para essa espécie o peso seco de cada colmo de 20 kg, em média, e que cada touceira produz 20 novos colmos por ano, no final de um ano pode ser obtido um rendimento, em peso seco ao ar livre, de 46,5 ton./ha.

Com o objetivo de estimar volume e peso de matéria seca dos colmos do bambu gigante, este trabalho foi realizado.

MATERIAL E MÉTODOS

Para se calcular o volume de cada colmo foi necessário saber o volume de cada segmento (entrenó). Os volumes dos entrenós foram calculados com posse dos comprimentos, diâmetros externos e diâmetros internos dos segmentos (Figura 1).

O volume de cada entrenó foi calculado da seguinte forma:

$$\text{Volume} = \frac{3.1416 \times \text{Compr} \times (\text{Diam}^2 - \text{Diam}^2_{\text{inter}})}{40.000}$$

em que:

Volume = volume de cada entrenó, m³;

Compr = comprimento de cada entrenó, cm;

Diam = diâmetro externo de cada entrenó. cm
e

Diam_{inter} = diâmetro interno de cada entrenó, cm.

Para calcular o peso seco do colmos, foi necessário calcular o peso de cada entrenó. O peso de cada entrenó foi calculado tendo o volume e a densidade básica de cada segmento. A densidade básica é a razão entre o peso de um amostra seca em estufa e seu respectivo volume saturado em água (volume máximo).

O peso seco foi calculado da seguinte forma:

$$P_{\text{seco}} = \text{Volume} \times Db_e$$

em que:

P_{seco} = peso seco de cada entrenó, kg e

Db_e = densidade básica da região entre os nós, kg/m³.

A protuberância existente na região do nó tem geometria complexa, não sendo este objeto de estudo do presente trabalho. Decidiu-se, portanto, adotar para o entrenó o formato de um cilindro oco perfeito. Não foi considerado, também, o volume contido no diafragma, que separa um entrenó do outro adjacente. Dessa maneira, os valores de volume e os pesos dos entrenós e do colmo, aqui relatados, subestimam, ligeiramente, os valores reais.

Para calcular o peso seco e volume dos colmos foi somado o peso e o volume de todos o entrenós de cada colmo.

Para criar uma tabela de peso seco e volume para a espécie de bambu foi necessário testar modelos estatísticos para estimar peso seco dos colmos assim como o volume dos mesmos.

Os modelos testados para estimar o volume dos colmos estão listados a seguir:

$$1. Y = \beta_0 + \beta_1(X_1) + \beta_2(X_2) + e;$$

$$2. Y = \beta_0 + \beta_1(X_3) + \beta_2(X_2) + e;$$

$$3. Y = \beta_0 + \beta_1(X_3^2) + \beta_2(X_2) + e;$$

$$4. Y = \beta_0 + \beta_1(X_4) + e;$$

$$5. \log Y = \log \beta_0 + \beta_1 \log(X_4) + \log(e);$$

$$6. \log Y = \log \beta_0 + \beta_1 \log(X_3) + \beta_2 \log(X_2) + \log(e);$$

$$7. \log Y = \log \beta_0 + \beta_1 \log(X_3^2) + \beta_2 \log(X_2) + \log(e);$$

em que:

- X_1 = diâmetro do segundo entrenó, cm;
- X_2 = altura til, m;
- X_3 = diâmetro a altura do peito, cm;
- X_4 = diâmetro altura do peito ao quadrado vezes altura útil;
- Y = volume do colmo, m^3 .

Alguns dos modelos testados para estimar o volume dos colmos usam como variável dependente a altura dos colmos. Para se medir a altura dos colmos é necessário abatê-los ou medi-los com hipsômetros. Isto se torna deveras difícil pois os colmos geralmente ficam entrelaçados, dificultando a visão do topo, assim como arqueados, o que implica num erro de medição quando utilizados equipamentos medidores de altura.

Para resolver este problema foram testados modelos para estimar a altura em função do diâmetro a 1,3 m. Estes modelos estão listados a seguir:

1. $\log Y = \beta_0 + \beta_1(1/X) + e$;
2. $\log Y = \beta_0 + \beta_1(X_2) + 2(X^{0,5}) + e$;
3. $\log Y = \beta_0 + \beta_1(X^2) + 2(1/X) + e$;
4. $Y = \beta_0 + \beta_1(X) + 2(X^2) + e$;
5. $Y = \beta_0 + \beta_1(1/X) + e$;
6. $\log Y = \log \beta_0 + \beta_1 \log(X) + \log(e)$;

em que:

- Y = altura total dos colmos e
- X = diâmetro à altura do peito.

Os modelos testados para estimar o peso seco dos colmos estão listados a seguir:

1. $\log Y = \beta_0 + \beta_1(X_1) + e$;
2. $\log Y = \beta_0 + \beta_1(X_2) + \beta_2(X_3) + \beta_3(X_4) + e$;
3. $\log Y = \beta_0 + \beta_1(X_1) + \beta_2(X_2) + \beta_3(X_3) + e$;
4. $\log Y = \log \beta_0 + \beta_1 \log(X_1) + e$;
5. $\log Y = \log \beta_0 + \beta_1 \log(X_5) + \log(e)$;
6. $\log Y = \log \beta_0 + \beta_1 \log(X_4) + \log(e)$;
7. $\log Y = \log \beta_0 + \beta_1 \log(X_1) + \beta_2 \log(X_2) + \beta_3 \log(X_3) + \log(e)$;
8. $\log Y = \log \beta_0 + \beta_1 \log(X_1) + \beta_2 \log(X_6) + \log(e)$;
9. $\log Y = \log \beta_0 + \beta_1 \log(X_2) + \beta_2 \log(X_4) + \beta_3 \log(X_6) + \log(e)$;

$$10. \log Y = \log \beta_0 + \beta_1 \log(X_2) + \beta_2 \log(X_3) + \beta_3 \log(X_4) + \log(e);$$

em que:

- X_1 = volume dos colmos, m^3 ;
- X_2 = espessura do segundo entrenó, cm;
- X_3 = umidade do segundo entrenó, em percentagem;
- X_4 = diâmetro à altura do peito, cm;
- X_5 = diâmetro à altura do peito vezes a altura útil;
- X_6 = densidade básica do segundo entrenó, g/cm^3 e
- Y = peso seco do colmo, kg.

A adequação dos modelos para o volume, o peso seco e altura dos colmos foi escolhida pelos valores do coeficiente de determinação, do coeficiente de variação, e da simplicidade dos modelos. A dispersão dos resíduos foi também verificada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

VOLUME DOS ENTRENÓS E COLMOS

Podemos observar através da Figura 2 que os dados dos volumes dos entrenós possuem uma distribuição não linear. Podemos notar que este volumes aumentam até aproximadamente 3,3 m, e a partir desse ponto começam a diminuir. Verificamos também, que o volume acumulado médio é de aproximadamente $0,100 m^3$.

Olhando o Quadro 1 observamos os resultados dos volumes dos 14 colmos abatidos. Pode-se notar que existe uma grande amplitude entre os volumes, $0,09386 m^3$, sendo os valores mínimo, médio e máximo, $0,05173$, $0,09890$, e $0,15559 m^3$, respectivamente.

Com os dados de volume de cada colmo, testaram-se os modelos estatísticos que melhor estimassem o volume do colmo a partir de variáveis como o diâmetro e a altura.

Os resultados da análise de regressão para o volume dos colmos encontram-se do Quadro 2.

QUADRO 1 - Resultados dos Pesos, Volumes, Dap, Alturas e Diâmetro da base dos Colmos do Bambu.

Colmo N°	DAP (cm)	Diabase (cm)	Altura Util (m)	Altura Total (m)	Volume (m ³)	Peso Seco (Kg)	Peso Umido (Kg)
11	13,37	16,30	20,75	22,18	0,05173	33,70	61,55
14	12,90	14,34	20,00	22,00	0,05256	34,70	61,55
10	14,48	16,20	23,18	25,76	0,06572	39,76	77,29
07	14,96	16,20	22,17	25,40	0,06572	43,16	79,00
08	15,44	17,80	22,49	27,16	0,07778	41,41	89,50
05	15,57	17,57	25,00	28,00	0,08507	47,99	99,28
13	16,65	19,30	24,72	28,11	0,09722	65,57	116,35
03	16,55	17,93	28,33	30,56	0,10478	69,41	121,14
09	16,00	17,73	27,64	31,58	0,11094	58,97	126,10
04	17,51	20,33	29,62	33,32	0,11731	64,53	135,31
06	18,46	20,40	29,23	33,37	0,12420	71,08	144,80
12	16,87	17,67	29,72	32,08	0,12420	90,22	150,44
02	19,23	22,63	29,87	33,28	0,15223	80,55	173,98

QUADRO 2 - Resultados das Análises de Regressão para a Variável Independente Volume dos Colmos.

Modelo	R ² (%)	CV (%)	EPR	Parâmetros Estatísticos Estimados	Variável Independente
1	92,24	9,55	9,46E-3	b ₀ =-1,6137E-1 b ₁ = 5,4016E-3 b ₂ = 6,2525E-3	X ₁ X ₂
2	93,72	8,59	8,51E-3	b ₀ =-1,7458E-1 b ₁ = 1,1179E-3 b ₂ = 3,5635E-3	X ₃ x ₂
3	94,45	8,08	8,01E-3	b ₀ =-8,6649E-2 b ₁ = 3,4626E-4 b ₂ = 3,6064E-3	X ₃ ² X ₂
4	95,04	7,63	7,56E-3	b ₀ = 3,1952E-3 b ₁ = 1,3534E-5	X ₄
5	96,66	2,80	2,77E-3	log b ₀ =-4,7248E+0 b ₁ = 9,6729E-1	X ₄
6	96,46	2,88	2,85E-3	log b ₀ =-4,7416E+0 b ₁ = 7,2327E+0 b ₂ = 1,1573E+0	X ₃ X ₂
7	96,46	2,88	2,85E-3	log b ₀ =-4,7416E+0 b ₁ = 8,6163E-1 b ₂ = 1,1573E+1	X ₃ ² X ₂

Obs.: Todos os parâmetros são estatisticamente significativos a 95% de probabilidade em que: X₁ = diâmetro do segundo entrenó; X₂ = altura comercial; X₃ = diâmetro à altura do peito; X₄ = diâmetro à altura do peito ao quadrado vezes altura comercial.

Todos os modelos podem ser considerados razoáveis estimadores do volume, mas pela sua praticidade, e considerando conjuntamente seu coeficiente de determinação e variação, e a distribuição do resíduo, o melhor modelo para estimar o volume foi o de número 5.

$$\log Y = \log \beta_0 + \beta_1 \log(X_4) + \log(e).$$

Esse modelo possui somente uma variável independente combinada, que consiste no produto do diâmetro a 1,3 m e altura útil. Na Figura 3 estão representados os volumes estimados e observados, segundo o modelo escolhido. Segundo Meyer (1941), citado por SILVA E PAULA NETO (1986), quando se trabalha com equações de volume logarítmicas, tem-se observado que as diferenças entre o volume observado e o calculado chega, às vezes, a ser alta, mesmo que tais erros se distribuam homoganeamente. Para se obterem volumes corrigidos, é necessário multiplicar o volume calculado pelo fator de correção "r", em que:

$$f = 10^{1,15130 s^2}$$

Para o modelo escolhido, s^2 é igual a $0,8310128E-3$ e conseqüentemente f é igual a $1,002205415$. As estimativas corrigidas estão no Quadro 3.

Para se estimar as alturas dos colmos resolveu-se utilizar modelos estatísticos que possuam como variável independente o diâmetro à altura do peito. Os resultados da análise de regressão para a altura total dos colmos encontram-se no Quadro 3

Dentre os modelos obtidos para estimar altura total, considerou-se como melhor o de número 1:

$$\log Y = \beta_0 + \beta_1(1/X_1) + e$$

A Figura 4 ilustra a altura total observada e estimada, segundo o modelo escolhido.

PESO SECO DOS ENTRENÓS E COLMOS

Podemos observar através da Figura 5 que os dados de peso seco dos entrenós possuem uma distribuição não linear. Podemos notar que este volumes aumentam até aproximadamente 3,3 m, e a partir desse ponto começam a diminuir. Verificamos também, que o peso seco acumulado médio é de aproximadamente 60kg.

QUADRO 3 - Resultados das Análises de Regressão para a Altura Total e o Logaritmo da Altura Total, Tendo Como Variável Independente o Diâmetro à Altura do Peito.

Modelo	R ² (%)	CV (%)	EPR	Parâmetros Estatísticos Estimados	Variável Independente
1	90,80	1,33	1,94E-2	b ₀ = 1,9592E+0 b ₁ = -8,0027E+0	X ⁻¹
2	91,40	1,29	1,88E-3	b ₀ = -1,1818E+0 b ₁ = -2,1173E-3 b ₂ = 7,9717E-1	X ² X ^{-0,5}
3	91,04	1,31	1,92E-2	b ₀ = 2,3610E+0 b ₁ = -5,2589E-4 b ₂ = -1,2191E+1	X ² X ⁻¹
4	89,98	4,46	1,29E+0	b ₀ = -5,0715E+1 b ₁ = 7,9391E+0 b ₂ = -1,8383E-1	X X ²
5	90,20	4,41	1,28E+0	b ₀ = 6,0947E+1 b ₁ = 5,1017E-2	X ⁻¹
6	89,27	1,44	2,10E+2	log b ₀ = -5,5002E-2 b ₁ = 1,1626E+0	X

Obs.: Todos os parâmetros são estatisticamente significativos a 95% de probabilidade em que X = diâmetro à altura do peito

Olhando o Quadro 1 observamos os resultados dos volumes dos 14 colmos abatidos. Pode-se notar que existe uma grande amplitude entre os pesos secos, 81,33 kg sendo os valores mínimo, médio e máximo, 33,70 kg, 61,15 kg, e 115,03 kg, respectivamente. Nota-se também que alguns colmos de maior volume apresentaram menor peso. Esse fato ocorre por causa da menor densidade básica média, que por conseguinte resulta em menor peso seco.

Com os dados de peso seco de cada colmo, testaram-se os modelos estatísticos que melhor estimassem o peso do colmo a partir de diferentes variáveis independentes. Os dados da análise de regressão se encontram no Quadro 4.

Dentre os modelos testados, o melhor foi o de número 5:

$$\log Y = \log \beta_0 + \beta_1 \log(X_5) + \log(e)$$

QUADRO 4 - Resultados das Análises de Regressão para o Peso Seco dos Colmos.

Modelo	R ² (%)	CV (%)	EPR	Parâmetros Estatísticos Estimados	Variável Independente
1	84,42	15,05	9,20	b ₀ =-1,36071E+0 b ₁ = 6,3431E+2	X ₁
2	93,74	9,53	5,83	b ₀ =-5,5165E+1 b ₁ = 2,6737E+1 b ₂ =-4,4345E-1 b ₃ = 6,6302E-1	X ₂ X ₃ X ₄
3	96,92	6,68	4,09	b ₀ = 2,0029E+1 b ₁ = 4,6608E-1 b ₂ = 1,8194E+1 b ₃ =-3,6976E-1	X ₁ X ₂ X ₃
4	89,57	2,90	5,18E-2	logb ₀ = 2,7477E+0 b ₁ = 9,1787E-1	X ₁
5	83,29	3,99	7,13E-2	logb ₀ =-1,5953E+0 b ₁ = 9,1787E-1	X ₅
6	80,22	3,99	7,13E-2	logb ₀ =-1,5953E+0 b ₁ = 2,7754E+0	X ₄
7	98,16	1,22	2,17E-2	logb ₀ = 4,0891E+0 b ₁ = 7,8988E-1 b ₂ = 6,78988E-1 b ₃ = -8,3328E-1	X ₁ X ₂ X ₃
8	95,17	1,97	3,52E-2	logb ₀ = 3,0934E+0 b ₁ = 9,7322E-1 b ₂ = 8,9589E-1	X ₁ X ₆
9	95,16	1,97	3,53E-2	logb ₀ =-5,9019E-1 b ₁ = 1,0562E+0 b ₂ = 1,9051E+0 b ₃ = 1,2538E+0	X ₂ X ₃ X ₄
10	95,61	1,88	3,36E-2	logb ₀ = 9,93719E-1 b ₁ = 1,0672E+0 b ₂ =-9,8134E-1 b ₃ = 2,0066E+0	X ₂ X ₃ X ₄

Obs.: Todos os parâmetros são estatisticamente significativos a 95% de probabilidade em que: X₁ = volume do colmo; X₂ = espessura do segundo entrenó; X₃ = umidade do segundo entrenó; X₄ = diâmetro a altura do peito; X₅ = DAP ao quadrado vezes altura comercial; X₆ = densidade básica do segundo entrenó.

Esse modelo possui somente uma variável independente, que consiste no produto do diâmetro à altura do peito e altura útil. A Figura 6 ilustra os pesos secos estimados e observados, segundo modelo escolhido. Vale lembrar que para a estimativa do peso seco do colmo, ocorre alguns valores discrepantes, devido a lignificação dos bambus ocorrer com o passar dos anos, o que acarreta em colmos de mesma dimensões com uma significativa diferença de peso. Provavelmente esse fator impediu que modelos com maior coeficiente de determinação fossem obtidos.

Foi elaborada uma tabela de pesos secos dos colmos segundo o modelo escolhido. As estima es estão no Quadro 4.

BIBLIOGRAFIA

- AZZINI, A., SALGADO, A.L.B. 1981 Possibilidades agrícolas e industriais do bambu. *O Agrônomo*, v. 33, p. 61-80.
- CIARAMELLO, D., AZZINI, A. 1971. Bambu como matéria-prima para papel. V - Estudos sobre quatro espécies de *Dendrocalamus*, na produção o de celulose sulfato. *Bragantia*, v. 30, n. 2, p. 321-336.
- CORREA, M. PIO. 1984. *Dicionário das plantas úteis do Brasil e plantas exóticas*. Rio de Janeiro, Imprensa Nacional, v.2.
- GROSSER, D., LIESE, W. 1971. *On the anatomy of Asian bamboos with special reference to their vascular bundles*. *Wood Science and Tecnology*, Berlin, v. 5, p. 290-312.
- HSIUNG, V. 1986. *Research and development of production and utilization of bamboos in China*. In: HIGUCHI, Takaysachi, ed. *Bamboo production and utilization*. Kyoto, Japan. Society of Bamboo Development and Protection.
- McCLURE, F.A. 1966. *El bambu como material de construcción*. México, Centro Regional de Ayuda Tecnica, 56p.
- NOMURA, T., TOMAZELLO FILHO, M., AZZINI, A. 1986. *Production and utilization of bamboo in Brazil*. In: HIGUCHI, Takaysachi, ed. *Bamboo production and utilization*. Kyoto, Japan. Society of Bamboo Development and Protection.
- SILVA, J.A.A., PAULA NETO, F. 1986. Efeito do fator de corre o para discrepância logarítmica na construção de tabelas de volume. *Caderno Omega*, Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, Ser. Agron., n. 2, p. 147-162.

FIGURA 1 - Esquema da amostragem para as medições dos entrenós do bambu gigante

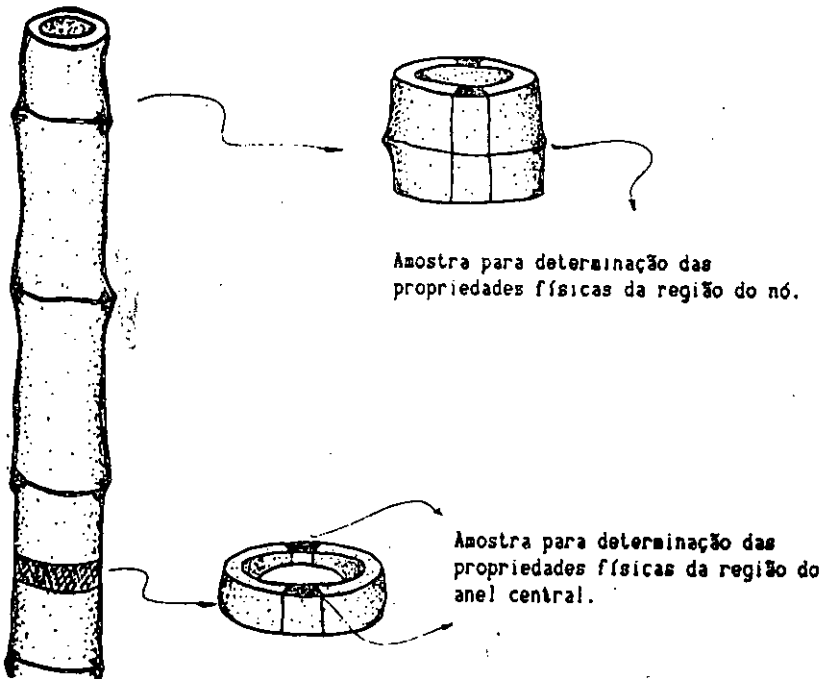


FIGURA 2 - Valores médios dos volumes e volumes acumulados dos entrenós do bambu gigante, em função da sua localização ao longo do colmo.

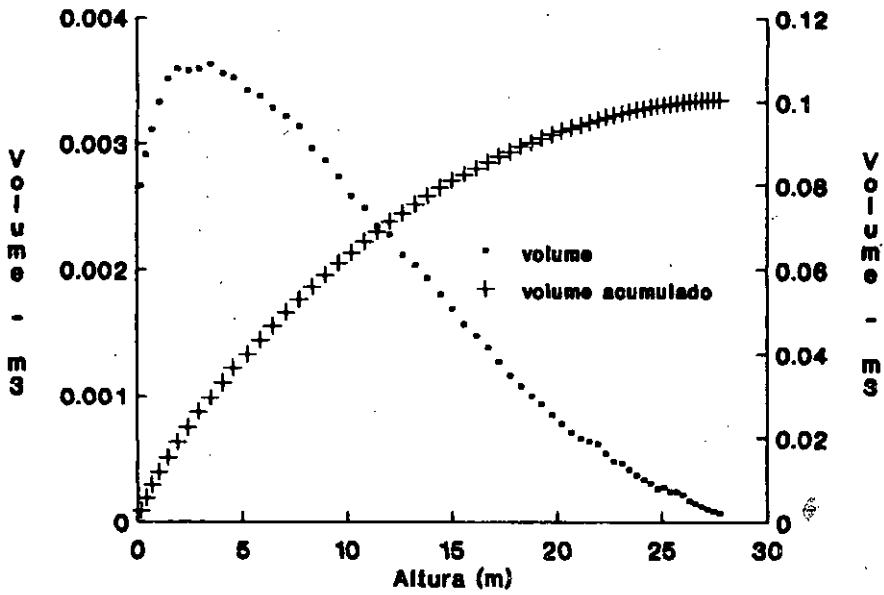


FIGURA 3 - Valores observados e estimados dos volumes dos colmos do bambu gigante.

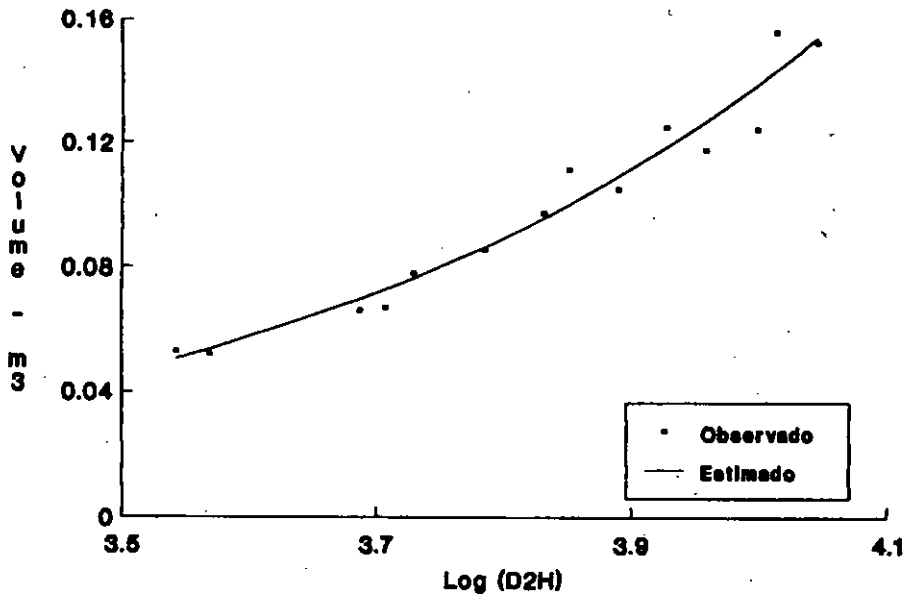


FIGURA 4 - Valores observados e estimados da altura total dos colmos do bambu gigante.

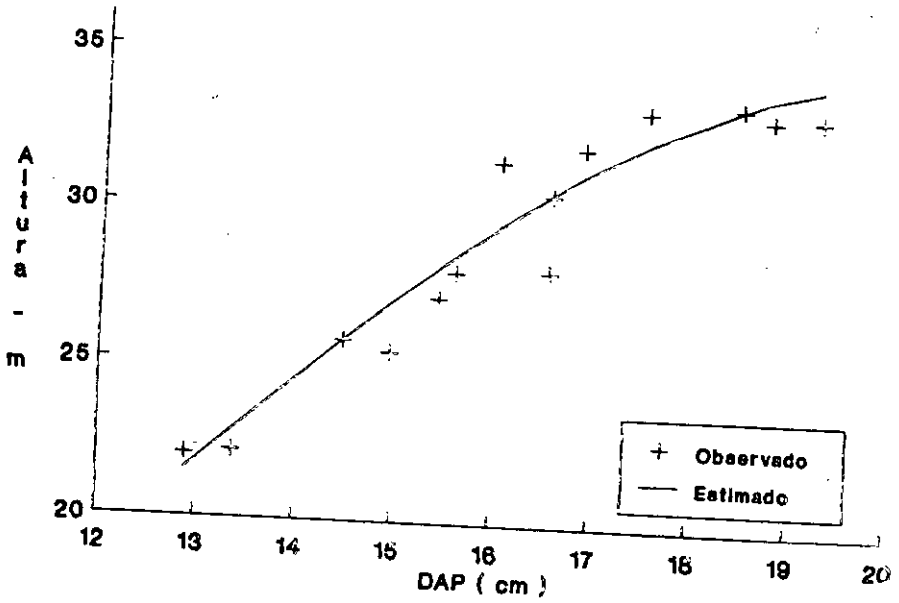


FIGURA 5 - Valores médios do peso seco e peso seco acumulado dos entrenós em relação a sua posição ao longo do colmo.

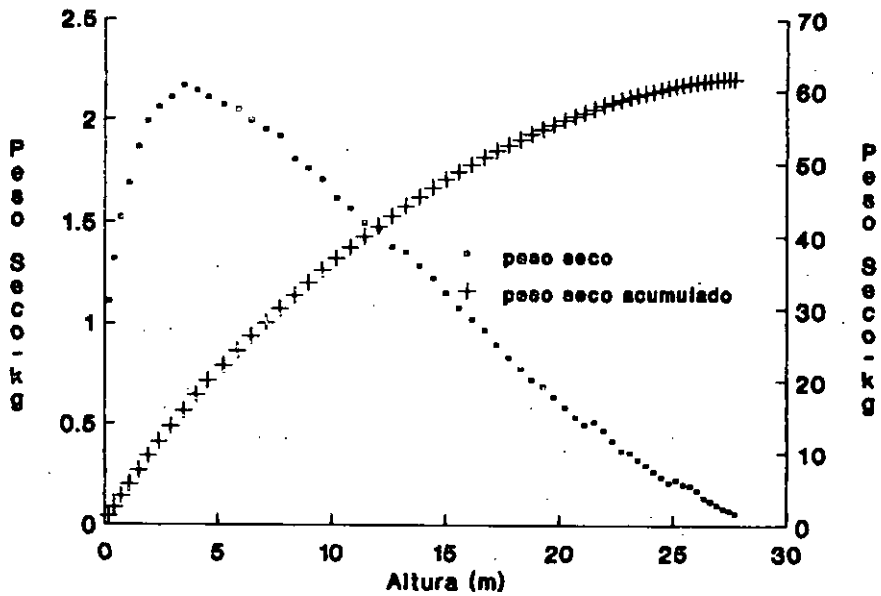


FIGURA 6 - Valores observados e estimados dos pesos secos dos colmos do bambu gigante.

