

## 5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 5.1. Aos tomadores de decisão:

A biomassa da vegetação é constituída de: (a) biomassa viva acima do nível do solo (ou aérea); (b) biomassa morta acima do nível do solo (serapilheira grossa ou necromassa) e (c) biomassa de raízes grossas. Neste estudo, as raízes grossas foram subdivididas em duas categorias: (i) raízes menos grossas (RMeG) com diâmetro de base maior ou igual a dois milímetros e menor do que cinco centímetros e (ii) raízes mais grossas (RMaG) com diâmetro de base maior ou igual a cinco centímetros.

Retirando a água do peso fresco da biomassa e multiplicando o peso resultante (peso seco em estufa) pelo teor de carbono, o produto é o estoque de carbono da vegetação. A escala para a estimativa do estoque vai do indivíduo para o conjunto de árvores em parcelas fixas. Este estudo envolve coletas de forma destrutiva em floresta primária e em duas capoeiras (uma de 14 anos e outra de 23 anos de idade, ambas com diferentes históricos de formação). Em inventários florestais, o limite de erro é de 10% em relação à média estimada.

#### 5.1.1. Coleta de dados para biomassa total da árvore (em floresta primária):

ü Biomassa total = acima do solo (tronco, galhos grossos e finos, folhas e, eventualmente, flores e frutos) + raízes grossas (diâmetro de base superior a 2 mm).

ü A coleta deve ser realizada em parcelas fixas (quadrados de 10 x 10 m), de forma destrutiva. A aleatorização das parcelas fixas é mais prática do que a de árvores individuais.

ü Além disso, a parcela fixa permite a estimativa de importantes contribuições à biomassa total, como: biomassa viva, biomassa morta (necromassa), biomassa viva acima do solo, biomassa viva de raízes grossas, mudas (árvores com diâmetro inferior a 5 cm), cipós e palmeiras.

Neste estudo:

- ∅ Concluiu-se que 10 quadrados são suficientes para manter o limite de erro inferior a 10%. Cada quadrado apresentou uma média de 13 árvores com DAP = 5 cm.
- ∅ O custo médio de coleta por quadrado, em floresta primária, foi de R\$ 9.600,00 ± R\$ 1.762,00 (intervalo de confiança – IC - de 95%) – considerando a biomassa

total (acima do solo e de raízes). O custo médio por árvore foi de R\$ 805,00 ± R\$ 310,00 (IC 95%).

∅ Para a coleta de apenas a biomassa acima do solo, o custo médio por árvore foi de R\$ 27,00 ± R\$ 6,00 (IC 95%).

### 5.1.2. Alometria:

ü Os pesos individuais de árvores têm que ser obtidos em parcelas fixas.

ü Modelo de simples entrada não linear  $PF = a D^b$ ; onde: PF = peso fresco em kg, D = diâmetro à altura do peito – DAP – em cm e a e b = coeficientes de regressão. Este modelo produz resultados confiáveis e dentro do limite de erro de 10%.

ü Modelo de dupla entrada  $PF = a D^b HT^c$ ; onde HT = altura total em m. Este modelo é recomendável para estimar biomassa em sítios diferentes daquele onde o modelo foi desenvolvido.

ü A densidade da madeira é uma variável importante para estimar a biomassa. No entanto, acrescentá-la ao modelo de simples entrada, a margem para melhorar a explicação da variação dos dados vai ser inferior a 6%; no de dupla entrada, inferior a 5% - de acordo com os resultados deste estudo. Além disso, é uma variável difícil (e cara) de ser obtida, precisamente, no campo.

Neste estudo:

∅ Simples entrada para biomassa total:  $PF = 2,7179 * DAP^{1,8774}$  com  $r^2 = 0,94$  e  $s_{y,x} = 3,9\%$ . Este modelo explicou 94% da variação dos dados, com um erro de 3,9% em relação à média. Este modelo é recomendável apenas para a região de Manaus.

∅ Dupla entrada para biomassa total:  $PF = 0,5521 * DAP^{1,6629} * HT^{0,7224}$  com  $r^2 = 0,95$  e  $s_{y,x} = 3,7\%$ . Este modelo explicou 95% da variação dos dados, com um erro de 3,7% em relação à média. Este modelo é recomendável para qualquer sítio da Amazônia.

### 5.1.3. Inventário florestal contínuo (IFC):

ü A incerteza associada às médias estimadas melhora com uma melhor distribuição das parcelas.

ü Para monitorar árvores com DAP 10 cm, parcelas retangulares de 2.500 m<sup>2</sup> são suficientes.

ü O IFC é o ideal para estimar o estoque e mudanças de estoques com o passar do tempo.

ü IFC não é sinônimo de parcelas permanentes. O IFC pode ser realizado com parcelas temporárias também. O ideal é combinar parcelas temporárias e permanentes em ocasiões sucessivas.

Neste estudo:

∅ Os incrementos médios anuais de carbono (acima do solo) dos tratamentos T<sub>0</sub> (testemunha), T<sub>1</sub> (corte leve), T<sub>2</sub> (corte médio) e T<sub>3</sub> (corte pesado) foram, respectivamente, 0,81 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, 2,22 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, 2,36 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> e 2,39 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>.

5.1.4. Outros resultados (média estimada e o intervalo de confiança a 95%) deste estudo:

a) Floresta primária:

∅ Do peso total da vegetação em parcelas fixas: 97,1% ± 1,5 são de biomassa viva e 2,9% ± 1,5 são de morta.

∅ Do peso total da vegetação viva em parcelas fixas: 72,9% ± 6,9 estão acima do solo (aérea) e 27,1% ± 6,9 são de raízes grossas.

∅ A composição da biomassa viva acima do solo em parcelas fixas é a seguinte: 93,7% ± 2,69 de árvores com DAP ≥ 5 cm; 2,85% ± 2,07 de mudas de árvores com DAP < 5 cm; 2,31% ± 1,68 de palmeiras e 1,77% ± 1,01 de cipós.

∅ Da biomassa de raízes, 42% ± 8 são raízes menos grossas e 58% ± 8 são raízes mais grossas.

∅ Do peso individual da parte aérea de uma árvore: o tronco contribui com 69,2% ± 2,6; os galhos grossos com 10,6% ± 2,3; os galhos finos com 16,9% ± 1,8; as folhas com 3,4% ± 0,5. Quando há flores ou frutos, estas partes contribuem com 0,04% ± 0,03.

∅ O teor de água ponderado por partes da árvore (incluindo raízes) é de 41,6%, com incerteza de 2,8%.

∅ O teor de carbono ponderado por partes da árvore é de 48,5%, com incerteza de 0,9%.

∅ As melhores equações alométricas (onde: PF = peso fresco em kg; DAP = diâmetro à altura do peito em cm e HT = altura total em m) são:

∅ Biomassa acima do solo

$$PF = 2,2737 * DAP^{1,9156} - \text{simples entrada}$$

$$PF = 0,0039 * DAP^{1,5268} * HT^{2,2973} - \text{dupla entrada}$$

∅ Biomassa de raízes

$$PF = 0,0469 * DAP^{2,4754} - \text{simples entrada}$$

$$PF = 0,0131 * DAP^{2,3376} * HT^{0,5374} - \text{dupla entrada}$$

b) Capoeiras de 14 e 23 anos (média estimada e o intervalo de confiança a 95%):

∅ A biomassa viva é composta de 93,1% ± 2,6 de parte aérea e 6,9% ± 2,6 de raízes => capoeira de 14 anos

∅ A biomassa viva é composta de 95,1% ± 1,0 de parte aérea e 4,9% ± 1,0 de raízes => capoeira de 23 anos

∅ Do peso fresco total da parte aérea de uma árvore, 64,1% ± 5,3 vem do tronco, 15% ± 23,2 dos galhos grossos (nem sempre presente), 18,6% ± 3,8 dos galhos finos, 7,1% ± 1,7 das folhas e 0,30% de flores ou frutos (quando presentes) => capoeira de 14 anos.

∅ Do peso fresco total da parte aérea de uma árvore, 70,5% ± 5,3 vem do tronco, 15,3% ± 7,7 dos galhos grossos (nem sempre presente), 14,7% ± 3,6 dos galhos finos, 4,5% ± 1,4 das folhas e 0,08% de flores ou frutos (quando presentes) => capoeira de 23 anos.

∅ O teor de água ponderado por partes da árvore (incluindo raízes) é de 46,3% => capoeira de 14 anos.

∅ O teor de água ponderado por partes da árvore (incluindo raízes) é de 48,9% => capoeira de 23 anos.

∅ O teor de carbono ponderado por partes da árvore é de 44,8%.

∅ As melhores equações (onde: PF = peso fresco em kg; DAP = diâmetro à altura do peito em cm e HT = altura total em m) são:

∅ Biomassa acima do solo – capoeira de 14 anos

$$PF = 0,1063 * DAP^{2,6724} - \text{simples entrada}$$

$$PF = 0,0449 * DAP^{2,3999} * HT^{0,5715} - \text{dupla entrada}$$

∅ Biomassa acima do solo – capoeira de 23 anos

$$\ln PF = -0,7480 + 2,1659 \ln D - \text{simples entrada}$$

$$PF = 0,0086 * DAP^{1,8057} * HT^{1,7525} - \text{dupla entrada}$$

Ø Biomassa de raízes – duas capoeiras juntas

$$PF = 0,0636 * DAP^{2,0797} - \text{simples entrada}$$

$$PF = 0,3161 * DAP^{2,6492} * HT^{-1,1207} - \text{dupla entrada}$$

Ø Os incrementos médios em biomassa fresca acima do solo das capoeiras de 14 e 23 anos foram respectivamente: 10,8 t/ha/ano  $\pm$  3,1 e 10,6 t/ha/ano  $\pm$  0,6.

## 5.2. Verdades de campo e de laboratório (“ground truth”)

5.2.1. Estoques de biomassa fresca e relações dendrométricas em floresta primária:

5.2.1.1. Estoques de biomassa fresca acima do nível do solo (aérea) – parcelas fixas:

Os quadros 5.1(a) e 5.1(b), apresentam os estoques de biomassa fresca das 11 amostras (quadrados de 10 x 10 m) coletadas destrutivamente. São apresentados os estoques de biomassa viva (acima do nível do solo + raízes) e morta (serapilheira grossa) e suas respectivas contribuições na composição da biomassa total de uma amostra.

Quadro 5.1: Estoques (em kg) de biomassa de raízes (PR) e da parte acima do solo (PA) e contribuição (em %) do estoque de biomassa viva (V) e morta (M) em relação ao total (viva + morta), nas parcelas fixas de floresta primária na ZF-2.

(a) Por quadrado amostral de 100 m<sup>2</sup>.

amostra	RMeG e RMaG	PA	viva(V)	morta(M)	Total(T)	V:T	M:T
1	1.634	5.915	7.549	178	7.727	97,7	2,3
2	2.416	9.437	11.853	203	12.056	98,3	1,7
3	2.196	11.389	13.585	227	13.812	98,4	1,6
4	1.286	1.825	3.111	353	3.464	89,8	10,2
5	3.747	15.570	19.317	379	19.696	98,1	1,9
6	1.724	7.937	9.661	136	9.797	98,6	1,4
7	2.014	8.993	11.007	185	11.192	98,3	1,7
8	1.852	4.222	6.074	161	6.235	97,4	2,6
9	3.465	3.638	7.103	224	7.327	96,9	3,1
10	2.470	6.595	9.065	99	9.165	98,9	1,1
11	2.634	9.990	12.624	565	13.189	95,7	4,3
n	11	11	11	11	11	11	11
média	2.313	7.774	10.086	246	10.333	97,1	2,9
desvio	755	3912	4349	135	4394	2,6	2,6
IC(95%)	446	2.312	2.570	80	2.597	1,5	1,5
incerteza (%)	19	30	25	32	25	1,6	52,8

RMeG e RMaG => raízes menos grossas e raízes mais grossas

PA => parte acima do solo (mudas, árvores, cipós e palmeiras)

V:T => contribuição da biomassa viva em relação à biomassa total (viva+morta)

M:T => contribuição da biomassa morta em relação à biomassa total (viva+morta)

(b) Por hectare em toneladas

	RMeG e RMaG	PA	viva (V)	morta (M)	total (T)
média	231	777	1.009	25	1.033
desvio	75	391	435	14	439
IC(95%)	45	231	257	8	260
incerteza (%)	19	30	25	32	25

A figura 5.1 ilustra a relação entre biomassa viva e morta da seguinte maneira: média estimada, limite inferior do intervalo de confiança a 95% (IC 95%) e o limite superior do IC 95%.

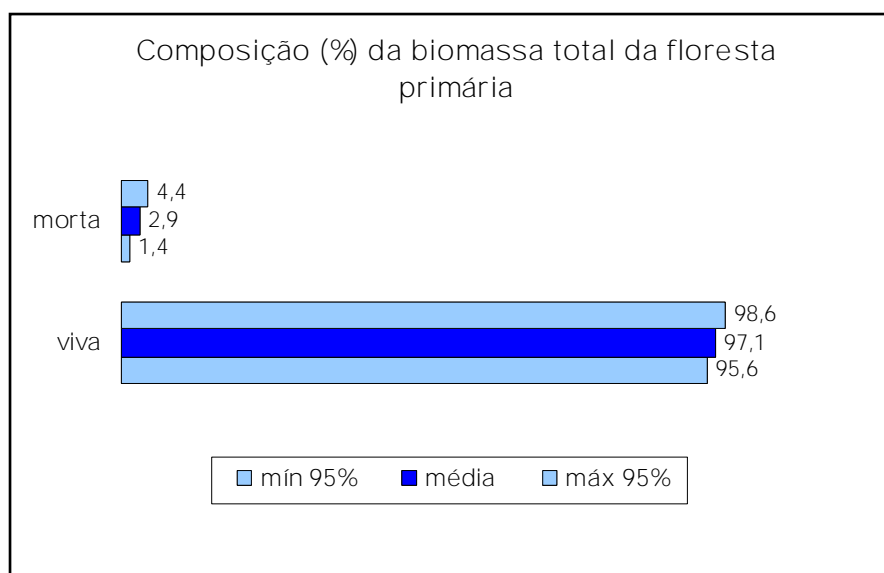


Figura 5.1: Limite superior e inferior do intervalo de confiança (IC 95%) da relação da biomassa viva e morta (considerando a média estimada).

Nas estimativas da biomassa viva e da morta, as incertezas são, respectivamente, 25% e 32%. Em inventários florestais, o limite aceitável de erro é de 10% sob um nível de confiança igual a 95% (Cochran, 1977 e Péllico Netto e Brena, 1997). De acordo com estes autores, para atingir uma incerteza de 10% com a média e variância estimadas com base nas 11 amostras, seriam necessárias 71 amostras.

Este resultado confirma a declaração de Brown e Lugo (1992) sobre a qualidade das informações sobre estoques de biomassa: “as estimativas obtidas de medições diretas em parcelas fixas são baseadas em poucas e pequenas amostras, que não são selecionadas

aleatoriamente”. Na Amazônia Central, por exemplo, a parcela de inventário florestal para árvores com DAP  $\geq 20$  cm tem que ter, no mínimo,  $2.500 \text{ m}^2$  (Higuchi *et al.*, 1982). No entanto, isto não invalida os trabalhos pioneiros sobre biomassa da floresta amazônica, como o de Klinge e Rodrigues (1973), que adotaram metodologia semelhante à que Kira empregou na Malásia em 1971 (Kira, 1987).

As parcelas fixas devem ser usadas para garantir a sistematização de coleta de dados para alometria porque é mais fácil e prático selecionar, aleatoriamente, parcelas fixas do que indivíduos (árvores). Além disso, alguns índices (relações) só podem ser retirados de parcelas fixas, como: (i) relação entre biomassa viva e morta e (ii) contribuição de mudas, cipós e palmeiras ao peso da parte acima do solo. Para usar as parcelas fixas para estimar estoques, é fundamental a apresentação do intervalo de confiança ou incerteza.

Os estoques de biomassa devem ser estimados utilizando-se da metodologia de inventário florestal. Em parcelas fixas de tamanhos recomendáveis pela ciência e tecnologia, o peso fresco de cada árvore será estimado por meio de equações alométricas. A intensidade de amostragem vai variar de acordo com a variabilidade da floresta sem perder de vista o limite de erro de 10%. As estimativas de peso seco e estoque de carbono serão obtidos com as devidas transformações, produto do peso fresco e os teores de água e carbono, ao final do inventário.

5.2.1.2. Composição da biomassa fresca viva acima do nível do solo (aérea) – parcelas fixas:

No quadro 5.2, são apresentadas as contribuições (%) das mudas (de plântulas até árvores com DAP  $< 5$  cm), palmeiras, cipós e das árvores com DAP  $\geq 5$  cm ao peso da vegetação viva acima do nível do solo. As contribuições de cada categoria foram respectivamente:  $2,85\% \pm 2,07$ ;  $2,31\% \pm 1,68$ ;  $1,77\% \pm 1,01$  e  $93,07\% \pm 2,69$ .

Percebe-se então, que a maior contribuição percentual à biomassa total acima do nível do solo é originada da categoria árvore com 93%; e com a incerteza de apenas 3%. As demais categorias: mudas palmeiras e cipós, juntas, totalizam apenas 7% dessa contribuição; apesar de apresentarem a incerteza muito acima do limite aceitável em estudos de abordagem em ciências florestais que é de 10%. É de fundamental importância que esses índices sejam verificados considerando o percentual de contribuição das respectivas categorias e suas incertezas.

Depois de estimar o estoque de biomassa aérea, os índices (contribuições) das categorias estudadas podem ser aplicados porque a categoria “árvore” é predominante e apresenta uma incerteza aceitável. Apesar de incertezas altas, as outras três categorias (mudas, palmeiras e cipós) contribuem com apenas 7% da biomassa aérea viva. De qualquer modo, as incertezas têm que ser reportadas ao apresentar as contribuições destas últimas categorias.



Quadro 5.2: Estoques (kg) de biomassa de mudas, palmeiras, cipós e árvores e a contribuição (%) de cada um à biomassa total acima do nível do solo.

amostra	mudas(m)	palmeiras (p)	cipós(c)	árvores(a)	PA-total(T)	m:T	p:T	c:P	a:T
1	40	22	10	5.843	5.915	0,67	0,37	0,17	98,79
2	105	34	288	9.011	9.437	1,11	0,35	3,05	95,48
3	160	669	270	10.290	11.389	1,40	5,88	2,37	90,35
4	227	17	24	1.556	1.825	12,46	0,93	1,31	85,30
5	100	144	25	15.302	15.570	0,64	0,92	0,16	98,27
6	102	70	88	7.677	7.937	1,28	0,88	1,11	96,72
7	186	27	224	8.556	8.993	2,07	0,30	2,49	95,14
8	110	56	253	3.804	4.222	2,60	1,31	5,99	90,09
9	215	142	64	3.216	3.638	5,91	3,91	1,76	88,42
10	127	95	34	6.341	6.595	1,92	1,43	0,51	96,14
11	131	909	51	8.899	9.990	1,31	9,10	0,51	89,07
n	11	11	11	11	11	11	11	11	11
média	136	199	121	7.318	7.774	2,85	2,31	1,77	93,07
desvio	56	300	112	3.809	3.912	3,51	2,84	1,71	4,55
IC(95%)	33	177	66	2.251	2.312	2,07	1,68	1,01	2,69
incerteza (%)	24	89	55	31	30	73	73	57	3

mudas => espécie arbórea com DAP < 5 cm

árvores => DAP ≥ 5 cm

PA => estoque de biomassa da parte acima do nível do solo

As incertezas para as categorias mudas, palmeiras e cipós foram, respectivamente, 73%, 73% e 57%, ultrapassando, em muito, o limite de 10%. No entanto, a parcela fixa é dominada pela categoria “árvore” com uma contribuição de 93% à biomassa viva total e com uma incerteza de apenas 3% como pode ser ilustrada na figura 5.2.

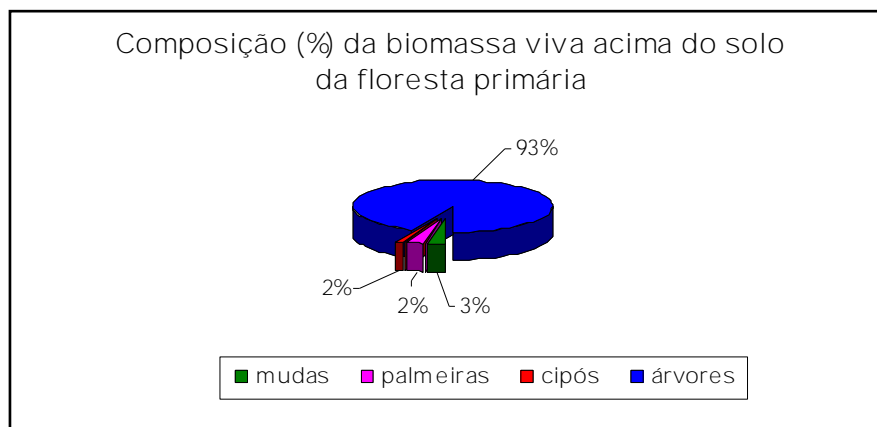


Figura 5.2: Contribuição (%) das categorias mudas, palmeiras, cipós e árvores à biomassa viva acima do nível do solo em floresta primária.

5.2.1.3. Composição da biomassa fresca da parte aérea da árvore (DAP  $\geq$  5 cm) – individual em floresta primária:

A árvore foi dividida nas seguintes categorias: tronco, galhos grossos (diâmetro de base maior ou igual a 10 cm), galhos finos (diâmetro de base menor do que 10 cm), folhas e flores ou frutos. Os galhos grossos não ocorrem em todas as árvores pesadas; neste estudo, das 121 árvores, 66 apresentaram galhos grossos. Flores ou frutos são mais raros ainda, ou seja, apenas 8 árvores (das 121) apresentaram esta categoria.

No quadro 5.3(a), são apresentadas as contribuições de cada categoria ao peso total da parte aérea. As contribuições ao peso total da parte aérea, quando consideradas as 121 árvores derrubadas e pesadas, do tronco, galhos grossos, galhos finos, folhas e flores ou frutos foram, respectivamente,  $69,2\% \pm 2,6$ ;  $10,6\% \pm 2,3$ ;  $16,9\% \pm 1,8$ ;  $3,4\% \pm 0,5$  e  $0,0027 \pm 0,07$ . A figura 6.3 ilustra estas contribuições.

Quando são consideradas apenas as árvores que apresentam galhos grossos,  $n = 66$ , as contribuições de tronco, galhos grossos, galhos finos e folhas, passam a ser, respectivamente:  $63,6\% \pm 3$ ;  $19,3\% \pm 2,7$ ;  $14,9\% \pm 1,6$ ;  $2,1\% \pm 0,4$  – quadro 5.3(b). O quadro 5.3(c) apresenta os resultados quando consideradas apenas as árvores completas com todas as categorias

(n=8). As contribuições de tronco, galhos grossos, galhos finos, folhas e flores ou frutos são, respectivamente:  $62,8\% \pm 7,23$ ;  $8\% \pm 7,3$ ;  $12,1\% \pm 3,8$ ;  $1,2\% \pm 0,6$  e  $0,0414 \pm 0,0327$ .

Quadro 5.3: Floresta Primária - Contribuição (%) de cada parte ao peso fresco total de uma árvore acima do nível do solo.

(a) Categorias de formação da parte aérea de uma árvore (tronco, galho grosso, galho fino, folhas, flores e frutos) descrita a contribuição em porcentagem de cada uma ao peso fresco total acima do nível do solo.

variáveis	Partes (categorias) da árvore				
	tronco	galho grosso	galho fino	folhas	flor/fruto
n	121	66	121	121	8
média	69,2	10,6	16,9	3,4	0,0027
desvio	14,7	12,6	9,9	3,0	0,106
IC(95%)	2,6	2,3	1,8	0,5	0,07
incerteza (%)	3,8	21,4	10,5	15,7	2,6

(b) Floresta Primária – Porcentagem de Contribuição de cada parte ao peso fresco total acima do solo de uma árvore – considerando apenas as árvores que apresentaram galhos grossos.

variáveis	Partes (categorias) da árvore			
	tronco	galho grosso	galho fino	folhas
n	66	66	66	66
média	63,6	19,3	14,9	2,1
desvio	12,5	11,1	6,8	1,5
IC(95%)	3,0	2,7	1,6	0,4
incerteza (%)	4,7	13,8	11,0	17,3

(c) Floresta Primária – Porcentagem de contribuição de cada parte ao peso fresco total de uma árvore acima do nível do solo – considerando apenas as árvores que apresentaram flores/frutos.

variáveis	partes da árvore				
	tronco	galho grosso	galho fino	folhas	flor/fruto
n	8	8	8	8	8
média	62,8	23,8	12,1	1,2	0,0414
desvio	10,1	10,5	5,5	0,9	0,0472
IC(95%)	7,0	7,3	3,8	0,6	0,0327
incerteza (%)	11,2	30,5	31,5	51,0	79,0

No caso de estimativa de estoque individual, de árvores selecionadas, as contribuições do quadro 5.3(b) podem ser utilizadas. Na presença de flores ou frutos, o mais adequado é utilizar as contribuições do quadro 5.3(c). Nestes dois casos, as incertezas precisam ser explicitadas, que podem ser na forma de intervalo de confiança, com a apresentação dos limites inferior e superior do IC ou a própria incerteza em %. A situação mais comum será a

utilização de modelos alométricos para estimar a biomassa individual do conjunto de árvores dentro de uma parcela fixa de inventário florestal. Neste caso, as contribuições do quadro 5.3(a) são as mais apropriadas.

As contribuições das partes de uma árvore ao peso fresco total da biomassa aérea, além das mudas, cipós, palmeiras e serapilheira, são importantes para avaliar a dinâmica do processo de queimadas na Amazônia (Figura 5.3). Segundo Carvalho Jr. *et al.* (1995), a eficiência de gaseificação na região de Manaus é de 25% na primeira queimada. Nestes 25%, quase tudo vem destas partes da árvore ou categorias de biomassa e menos de 5% são de troncos e galhos grossos.

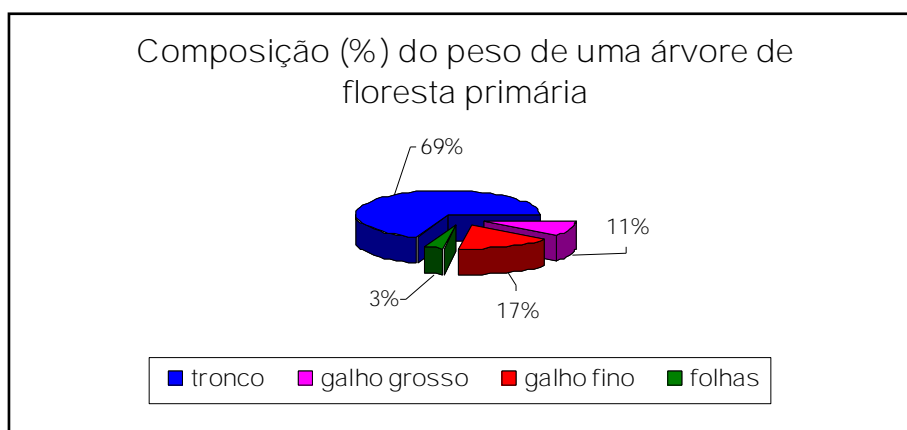


Figura 5.3: Contribuição (%) de cada parte (tronco, galho grosso, galho fino e folhas) ao peso total acima do nível do solo de uma árvore.

#### 5.2.1.4. Estoques de biomassa fresca de raízes – parcelas fixas:

Neste estudo, apenas as raízes grossas (diâmetro de base maior ou igual a 2 mm) foram consideradas. Sendo então, estabelecidos dois grupos de raízes grossas, considerando exatamente esse parâmetro: “o diâmetro de base”, e assim, duas classes de diâmetro definiram os dois grupos: (i) Raízes Menos Grossas: com diâmetro maior ou igual a 2 mm e menor do que 5 cm e (ii) Raízes Mais Grossas: com diâmetro de base maior ou igual a 5 cm.

No quadro 5.4 (a), são apresentados os estoques de raízes menos grossas e raízes mais grossas com as contribuições de cada uma ao peso total de raízes. No quadro 5.4 (b), os estoques de raízes menos grossas e mais grossas são apresentados utilizando a base hectare em toneladas.

Quadro 5.4: Estoques (em kg) de biomassa de raízes menos grossas (RMeG) e Raízes Mais grossas (RMaG) com a contribuição (%) de cada uma ao peso total (T) de raízes.

(a) Por quadrado de 100 m<sup>2</sup>

amostra	(RMeG)	(RMaG)	(T)	RMeG:T	RMaG:T
1	995	639	1.634	60,9	39,1
2	1.295	1.121	2.416	53,6	46,4
3	1.088	1.108	2.196	49,5	50,5
4	853	433	1.286	66,3	33,7
5	817	2.929	3.747	21,8	78,2
6	714	1.010	1.724	41,4	58,6
7	801	1.213	2.014	39,8	60,2
8	526	1.326	1.852	28,4	71,6
9	1.484	1.981	3.465	42,8	57,2
10	730	1.740	2.470	29,6	70,4
11	773	1.861	2.634	29,3	70,7
n	11	11	11	11	11
média	916	1.397	2.313	42	58
desvio	279	698	755	14	14
IC(95%)	165	413	446	8	8
Incerteza (%)	18	30	19	20	15

(RMeG) => raízes com diâmetro de base maior ou igual a 2 mm e menor que 5 cm.

(RMaG) => raízes com diâmetro de base maior ou igual a 5 cm.

(T) => total de peso das raízes.

(b) Por hectare em toneladas:

	(RMeG)	(RMaG)	total
média	92	140	231
desvio	28	70	75
CV	2	3	2
IC(95%)	16	41	45
incerteza (%)	18	30	19

Também para as raízes, as incertezas ficaram acima do limite aceitável de 10%. Tudo o que foi escrito em 5.2.1.1. é válido também para esta seção. As informações importantes destes quadros são as contribuições de raízes menos grossas e mais grossas na formação da biomassa de raízes, que são respectivamente: 42% ± 8 e 58% ± 8. A figura 5.4, ilustra esta relação apresentando a média e os limites inferior e superior do IC 95%.

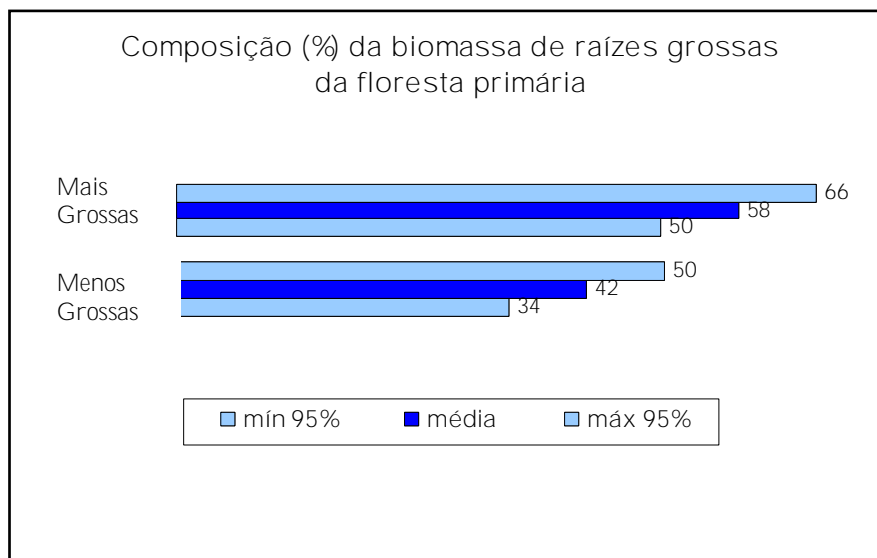


Figura 5.4: Contribuição (%) dos dois grupos de raízes (mais e menos grossas) em relação à média, considerando os limites inferior e superior.

#### 5.2.1.5. Relação entre parte aérea e de raízes – parcelas fixas:

Com base nas 11 amostras utilizadas neste estudo, as contribuições de raízes e da parte aérea à biomassa viva total são, respectivamente,  $27,1\% \pm 6,9$  e  $72,9\% \pm 6,9$ . Estes resultados estão apresentados no quadro 5.5. As estimativas da média e dos limites inferior e superior do IC 95% são ilustrados na figura 5.5.

Quadro 5.5: Estoques de raízes menos grossas (RMeG) com diâmetro de base igual ou maior que 2 mm e menor que 5 cm – (em kg) e raízes mais grossas (RMaG) com o diâmetro de base igual ou maior que 5 cm – (em kg), total de raízes (pf-PR em kg), total da parte acima do solo (pf-PA em kg) e as contribuições (%) das raízes e da parte acima do solo ao peso total da árvore.

	(RMeG)	(RMaG)	pf-PR	pf-PA	pf-total	PR (%)	PA(%)
1	995	639	1.634	5.843	7.477	21,9	78,1
2	1.295	1.121	2.416	9.011	11.427	21,1	78,9
3	1.088	1.108	2.196	10.290	12.486	17,6	82,4
4	853	433	1.286	1.556	2.843	45,2	54,8
5	817	2.929	3.747	15.302	19.048	19,7	80,3
6	714	1.010	1.724	7.677	9.401	18,3	81,7
7	801	1.213	2.014	8.556	10.570	19,1	80,9
8	526	1.326	1.852	3.804	5.656	32,7	67,3
9	1.484	1.981	3.465	3.216	6.682	51,9	48,1
10	730	1.740	2.470	6.341	8.811	28,0	72,0
11	773	1.861	2.634	8.899	11.533	22,8	77,2
n	11	11	11	11	11	11,0	11,0
média	916	1.397	2.313	7.318	9.630	27,1	72,9
desvio	279	698	755	3.809	4.249	11,6	11,6
IC(95%)	165	413	446	2.251	2.511	6,9	6,9

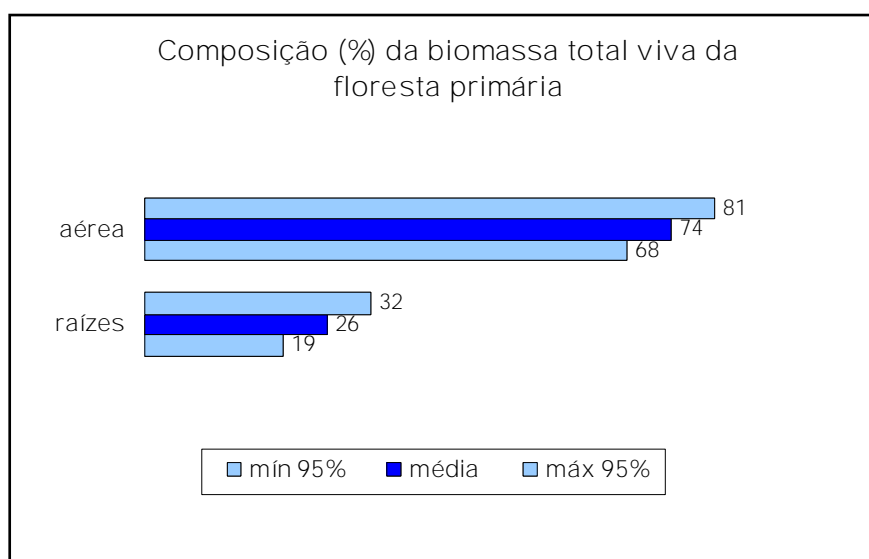


Figura 5.5: Repartição (%) da biomassa viva total (acima do nível do solo e de raízes).

5.2.2. Estoques de biomassa fresca e relações dendrométricas em capoeiras de 14 e 23 anos:

5.2.2.1. Estoques de biomassa fresca viva (apenas das árvores) – parcelas fixas:

As estimativas das médias, bem como as incertezas correspondentes são observadas no Quadro 5.6 e estão descritas com base nos quadrados de 400 m<sup>2</sup> no Quadro 5.6 (a) e extrapoladas para hectare, no Quadro 5.6 (b). As incertezas para as médias estimadas para a parte aérea e de raízes da capoeira de 14 anos ficaram acima do limite de 10%. No caso da capoeira de 23 anos, a incerteza da biomassa aérea foi de 6% e a de raízes foi de 20%. Isto é um sinal de que a capoeira de 23 anos é mais homogênea do que a capoeira de 14 anos.

Quadro 5.6: Estimativa de biomassa fresca viva nas parcelas fixas.

(a) base quadrado de 400 m<sup>2</sup>

quadrado	Capoeira 14 anos – S8		Capoeira 23 anos – ZF2	
	aérea	raízes	aérea	raízes
1	8.677,1	474,2	8.925,9	581,3
2	7.020,3	327,0	9.237,7	404,1
3	5.921,3	286,2	10.407,7	347,4
4	5.066,4	596,8	10.368,9	567,1
5	3.456,1	376,1	9.693,0	574,2
média	6.028,3	412,1	9.726,6	494,8
desvio	1.971,9	124,9	662,9	110,7
IC (95%)	1.728,4	109,5	581,0	97,0
incerteza (%)	28,7	26,6	6,0	19,6

## (b) Base t/ha

	Capoeira 14 anos – S8		Capoeira 23 anos – ZF2	
	aérea	raízes	aérea	raízes
média	150,7	10,3	243,2	12,4
desvio	49,3	3,1	16,6	2,8
IC (95%)	43,2	2,7	14,5	2,4
incerteza (%)	28,7	26,6	6,0	19,6

Os estoques médios de biomassa viva (aérea + raízes) para as capoeiras de 14 e 23 anos são, respectivamente: 161 t/ha e 255,6 t/ha. Considerando apenas a parte aérea, os estoques passam a ser, respectivamente, 150,7 t/ha e 243,2 t/ha. Isto corresponde a incrementos anuais médios de 10,8 t/ha/ano  $\pm$  3,1 e 10,6 t/ha/ano  $\pm$  0,6, respectivamente, para as capoeiras de 14 e 23 anos. Em relação ao desempenho destas capoeiras com o passar do tempo, a de 23 anos, além de demonstrar ser tão produtiva quanto à de 14 anos, apresenta sinais de mais homogeneidade e estabilidade. Uma explicação para este comportamento pode estar relacionada com o histórico de uso do solo de cada uma. A de 14 anos foi derrubada, queimada e abandonada e a outra não sofreu queimada.

Estas informações são importantes para entender a dinâmica de recuperação das áreas abandonadas na Amazônia. No entanto, para efeito de comparações, é preciso levar em consideração a maneira como a floresta foi removida, o tipo de uso e do tempo de uso, após a remoção, bem como do tamanho da clareira artificial aberta e da distância à floresta primária (Uhl *et al.*, 1988). Na Amazônia brasileira, as capoeiras predominantes são formadas após o abandono pela agricultura ou pecuária.

Na Fazenda Monte Verde, por exemplo, situada no município de Peixe-Boi, micro-região Bragantina, os incrementos anuais de biomassa de capoeiras, oriundas de pastagens abandonadas, de 5, 10 e 20 anos, são 5,2 t/ha/ano, 8,8 t/ha/ano e 8,1 t/ha/ano, respectivamente (Salomão *et al.*, 1998). Segundo Fearnside e Guimarães (1996), os incrementos médios em capoeiras oriundas de pastagens abandonadas após 5, 10 e 20 anos, em Altamira e Paragominas são, respectivamente, 8,7, 6,2 e 4,9 t/ha/ano e 6,6, 6,1 e 5,7 t/ha/ano. Segundo ainda os mesmos autores, no caso de capoeiras oriundas de agricultura itinerante, os incrementos anuais após 5, 10 e 20 anos são, respectivamente, 9,4, 10 e 7,3 t/ha.



5.2.2.2. Composição da biomassa fresca da parte aérea da árvore (DAP = 5 cm) – individual:

Na capoeira de 14 anos, a biomassa viva acima do solo apresentou a seguinte composição:  $93,1\% \pm 2,6$  de biomassa aérea e  $6,9\% \pm 2,6$  de raízes. Na de 23 anos, a composição foi:  $95,1\% \pm 1,0$  de biomassa aérea e  $4,9\% \pm 1,0$  de raízes. Estas composições são apresentadas no quadro 5.7(a) e ilustradas pelas figuras 5.6(a) e 5.6(b). As incertezas para a parte aérea para as duas capoeiras ficaram abaixo de 3%, o que não aconteceu para as raízes (acima de 20%).

Nas duas capoeiras, a categoria “tronco” é predominante, com contribuições de  $64,1\% \pm 5,3$  e  $70,5\% \pm 3,9$  respectivamente, 14 e 23 anos, como pode ser visualizado nas informações contidas nos quadros 5.7 (b) e 5.7 (c). Este resultado indica que a capoeira de 23 anos está mais parecida com a floresta primária do que a de 14 anos. Apesar das altas incertezas, as contribuições das outras categorias são importantes em estudos de ciclagem de nutrientes. O produto da estimativa da biomassa e os respectivos teores de macro e micronutrientes dará uma noção de quanto cada nutriente foi fixado na árvore com o passar do tempo.

Os quadros 5.7(b) e 5.7(c) apresentam as contribuições de cada parte da árvore à biomassa aérea de uma árvore e a figura 5.7 ilustra estas contribuições. Apenas o tronco apresenta uma incerteza abaixo do limite de 10%. Nos casos do galho grosso e flor ou fruto, a explicação pode estar no número de árvores que apresentam estas categorias, ou seja, apenas 3 em 35 e 1 em 35, respectivamente.

Quadro 5.7: Composição (%) da biomassa viva acima do solo nas duas capoeiras

(a) Biomassa viva (%) acima do solo e de raízes com suas respectivas incertezas nas duas capoeiras

Variáveis	capoeira de 14 anos - S8		capoeira de 23 anos – ZF2	
	aérea	raízes	aérea	raízes
N	5	5	5	5
média	93,1	6,9	95,1	4,9
desvio	3,0	3,0	1,2	1,2
IC(95%)	2,6	2,6	1,0	1,0
Incerteza (%)	2,8	38,0	1,1	20,8

## (b) Contribuição de cada parte da árvore - Capoeira de 14 anos - individual

variáveis	partes da árvore				
	tronco	galho grosso	galho fino	folhas	flor/fruto
n	30	2	30	29	1
média	64,1	15,0	18,6	7,1	0,30006
desvio	14,7	16,8	10,5	4,6	
IC (95%)	5,3	23,2	3,8	1,7	
Incerteza (%)	8,2	155,3	20,2	23,6	

## (c) Contribuição de cada parte da árvore - Capoeira de 23 anos - individual

variáveis	partes da árvore				
	tronco	galho grosso	galho fino	folhas	flor/fruto
n	35	3	35	35	1
média	70,5	15,3	14,7	4,5	0,083997
desvio	11,9	6,8	10,9	4,2	
IC (95%)	3,9	7,7	3,6	1,4	
Incerteza (%)	5,6	50,2	24,5	30,5	

## CAPOEIRAS

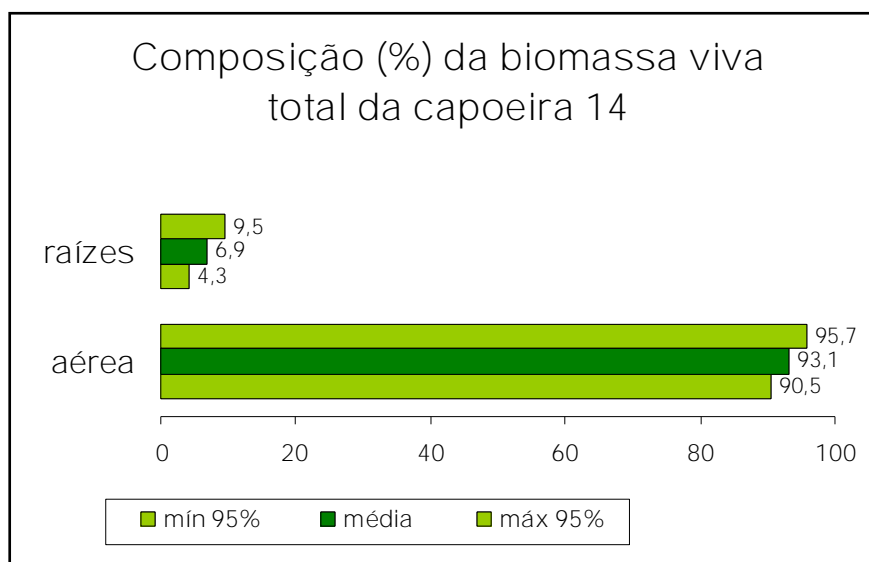


Figura 5.6 (a): Contribuição da biomassa viva total (%) parte aérea e raízes na capoeira 14 anos

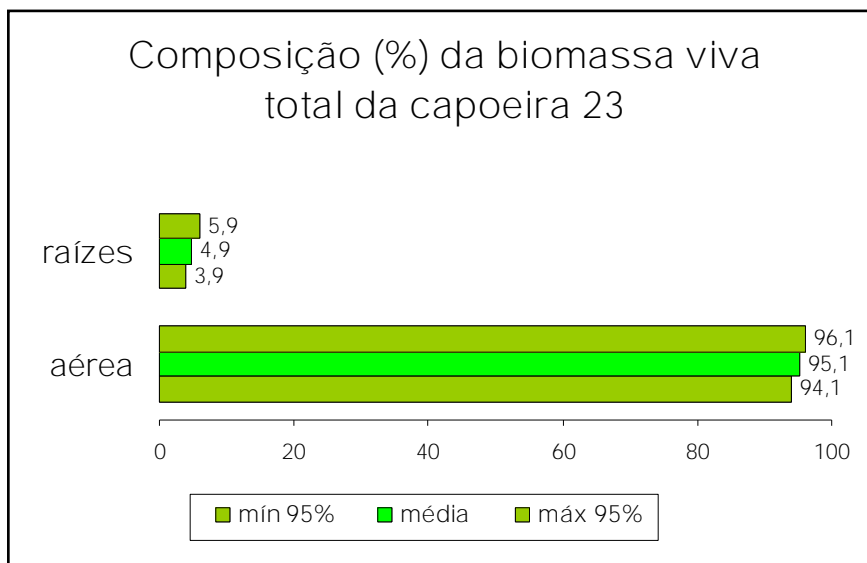


Figura 5.6 (b): Contribuição da biomassa viva total (%) parte aérea e raízes na capoeira de 23 anos

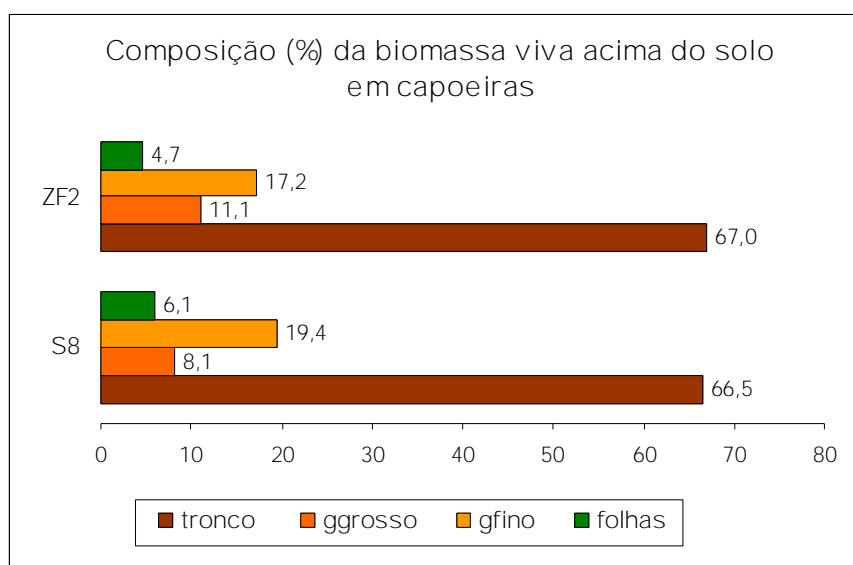


Figura 5.7: Contribuição (%) de cada parte da árvore à biomassa aérea de uma árvore

### 5.2.3. Teor de água:

A secagem foi realizada em estufa com ventilação forçada a uma temperatura de 65° C para que o material seco possa ser utilizado em outros estudos (nutrientes, por exemplo). O peso foi considerado seco (em estufa) quando se manteve constante durante três pesagens. O teor de água foi obtido dividindo este peso pelo peso fresco, que foi obtido no momento da retirada da amostra no campo.

Secar amostras de partes da árvore é mais demorado do que derrubar e pesar no campo; a diferença está no esforço físico braçal. O quadro 5.8(a) apresenta as estatísticas sobre o tempo de secagem das amostras coletadas em floresta primária. Para coletar e pesar a biomassa total (aérea + raízes) de 13 árvores são necessários 30 dias, aproximadamente, 3 dias por árvore. Para secar apenas uma parte da árvore são necessários mais de 15 dias. Em termos de correlação entre o tamanho da árvore (DAP) e suas partes, foram observadas correlações positivas e significantes com o tronco ( $r = 0,65$  e  $p < 0,0001$ ), galho fino ( $r = 0,39$  e  $p = 0,002$ ) e raiz grossa ( $r = 0,33$  e  $p = 0,03$ ).

#### 5.2.3.1. Floresta primária:

Para a biomassa total (aérea + raízes) de uma árvore, o teor de água é de  $41,6\% \pm 1,3$  (IC 95%), ou seja, o peso seco (em estufa) corresponde a 58,4% do peso fresco estimado. Isto significa também que, além da água superficial sobre o solo e da água subterrânea, há uma considerável quantidade de água na vegetação da Amazônia. A estimativa do teor de água apresentou uma incerteza muito baixa e homogênea em relação às diferentes partes da árvore.

O quadro 5.8(b) apresenta os teores de água das diferentes partes de uma árvore. Os teores de água no tronco, galhos grossos, galhos finos, raízes finas e raízes grossas foram, respectivamente:  $38,8\% \pm 0,9$ ,  $40,6\% \pm 1,4$ ,  $44,9\% \pm 1,3$ ,  $59,7\% \pm 1,5$ ,  $48,9\% \pm 1,8$  e  $44,5\% \pm 0,9$ . De todas estas categorias, a maior incerteza foi de 3,6%, que está bem abaixo do limite de 10%. Como cada categoria contribui distintamente ao peso total da árvore, o teor médio de água foi ponderado de acordo com a contribuição de cada uma como consta no quadro 5.8(c).

Quadro 5.8: Resumo da primária – teores (%) de água das diferentes partes da árvore.

#### (a) Tempo (dia) de secagem em estufa a 65° C até atingir o peso constante.

	tronco	ggrosso	gfino	folhas	rfina	rgrossa
n	110	35	110	110	93	90
média (dias)	17,0	16,1	16,8	14,5	17,0	16,9
desvio	9,1	6,3	6,6	5,8	8,8	6,9
IC(95%)	1,7	2,1	1,2	1,1	1,8	1,4
incerteza(%)	10,0	13,0	7,3	7,4	10,5	8,5

ggrosso = galho grosso; gfino = galho fino; rfina = raiz fina; rgrossa = raiz grossa

#### (b) Teor (%) de água de cada parte da árvore.

	tronco	ggrosso	gfino	folhas	rfina	rgrossa
n	384	108	98	92	115	390
média (%)	38,8	40,6	44,9	59,7	48,9	44,5
desvio	9,40	7,21	6,62	7,36	9,74	9,50
IC(95%)	0,94	1,36	1,31	1,50	1,78	0,94
incerteza(%)	2,4	3,4	2,9	2,5	3,6	2,1

(c) Teor (%) de água de uma árvore – média ponderada considerando a contribuição (%) de cada parte da árvore e seus respectivos teores de água.

Partes da árvore	água (%)	contribuição	água(%) ponderada
tronco	38,8	0,5802	22,5
ggrosso	40,6	0,1248	5,1
gfino	44,9	0,1278	5,7
folhas	59,7	0,0269	1,6
rfina	48,9	0,0306	1,5
rgrossa	44,5	0,1159	5,2
média geral			41,6

Este estudo foi ainda desdobrado considerando diferentes pontos de coleta no tronco, galhos grossos e raízes grossas. De cada categoria, foram considerados a base (0%), o meio (50%) e o topo (100%) conforme as explicações e peculiaridades abordadas no item da metodologia. Os resumos das análises estatísticas dos diferentes pontos das diferentes categorias são apresentados nos quadros 6.9, 6.10 e 6.11, respectivamente.

No quadro 5.9 (a) são apresentadas as médias estimadas dos teores de água de cada ponto de coleta de amostras e o teor médio da raiz grossa. Ao contrário do que aconteceu com o tronco, o teor diminui com a distância da base ao topo. Esta diminuição é altamente significativa ( $p < 0,0001$ ), conforme análise de variância apresentada no quadro 5.9 (b). No caso de raízes, a parte mais difícil é a separação e pesagem das mesmas; depois disto, a coleta de amostras para determinação do teor de água é relativamente fácil. Desta maneira, mesmo apenas para simples comparações de outros sítios, é recomendável a coleta de amostras nos 3 diferentes pontos.

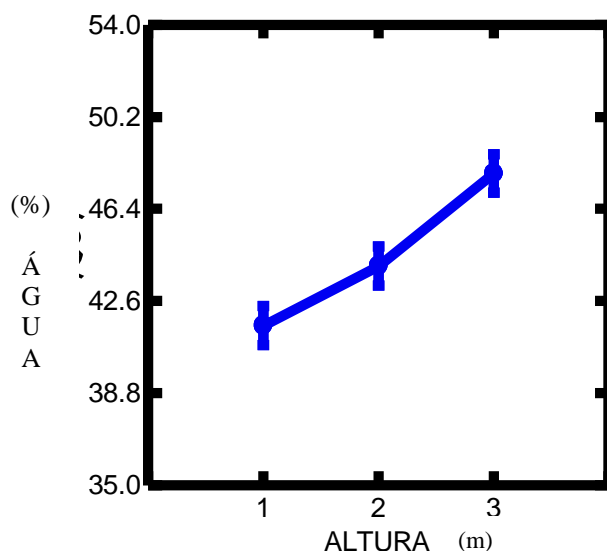
Quadro 5.9: Primária - Teor (%) de água em raízes grossas tiradas em alturas diferentes (base – 0%, meio – 50% e topo – 100%)

(a) Estatística descritiva

Variáveis	raiz fina	raiz grossa		
		0%	50%	100%
n	115	130	130	130
média	48,9	41,6	44,0	47,9
desvio	9,74	8,09	9,20	10,09
IC(%)	1,8	1,4	1,6	1,7
incerteza(%)	3,6	3,3	3,6	3,6

(b) Análise de variância => as diferentes alturas da raiz apresentam teores diferentes?

Fontes de variação	GL	SQ	MQ	F	p
Alturas da raiz	2	2.605,37	1.302,7	15,51	0,0000003
Erro	387	32.506,8	84,0		
Total	389				



No quadro 5.10 (a) são apresentadas as médias estimadas dos teores de água de cada ponto de coleta de amostras e o teor médio de água do tronco. O teor aumenta com a distância da base ao topo. Este aumento é altamente significativo ( $p = 0,0016$ ), conforme análise de variância apresentada no quadro 5.10 (b). Em estudo que exige alto nível de detalhamento, o teor de água do tronco deve ser obtido retirando amostras dos 3 pontos. Como o teor médio de água no tronco apresenta um nível baixo de incerteza (em torno de 4%), a retirada de amostra de qualquer ponto acima do DAP pode fornecer um teor que possa ser comparado com os obtidos neste estudo.

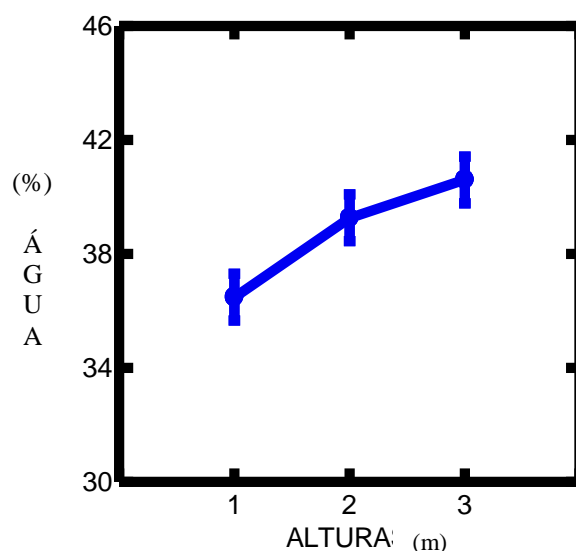
Quadro 5.10: Primária - Teor (%) de água na biomassa acima do nível do solo (aérea) - tronco

(a) Estatística descritiva

	0%	50%	100%	média
n	128	128	128	128
média	36,5	39,3	40,6	38,8
desvio	8,7	8,9	10,1	9,3
IC(%)	1,5	1,5	1,7	1,6
incerteza(%)	4,1	3,9	4,3	4,1

(b) Análise de variância - as diferentes alturas do tronco apresentam teores diferentes?

Fontes de variação	GL	SQ	MQ	F	p
Alturas do tronco	2	1.127,7	563,9	6,56	0,0016
Erro	381	32.741,2	85,9		
Total	383				



No quadro 5.11 (a) são apresentadas as médias estimadas dos teores de água de cada ponto de coleta de amostras e o teor médio de água do galho grosso. Neste caso, não há uma forte evidência ( $p = 0,595$ ) que o teor aumenta com a distância da base ao topo, conforme análise de variância apresentada no quadro 5.11 (b). Portanto, a média dos 3 pontos de coleta é confiável. Para efeitos de comparações futuras com outros sítios, a amostra para a determinação do teor de água pode ser retirada na altura da metade do galho grosso.

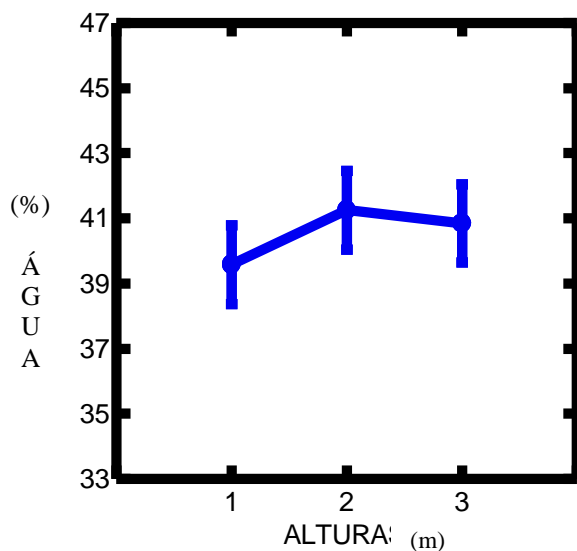
Quadro 5.11: Primária - Teor (%) de água na biomassa acima do nível do solo (aérea) – galho grosso

(a) Estatística descritiva:

	0%	50%	100%	média
n	36	36	36	36
média	39,6	41,2	40,8	40,6
desvio	7,0	7,1	7,6	7,2
IC(95%)	2,3	2,3	2,5	2,4
incerteza (%)	5,8	5,6	6,0	5,8

(b) Análise de variância – as diferentes alturas do galho grosso apresentam teores diferentes?

Fontes de variação	GL	SQ	MO	F	p
Alturas do tronco	2	54,74	27,37	0,52	0,595
Erro	105	5.07,45	52,45		
Total	107				



#### 5.2.3.2. Capoeiras de 14 e 23 anos:

Considerando apenas a biomassa aérea da árvore, os teores de água estimados e as contribuições das diferentes partes da árvore são apresentados no quadro 5.12 (a). Por este quadro verificam-se os valores (%) em médias ponderadas para o tronco 28,3 na capoeira de 14 anos e 33,2 para a capoeira de 23 anos. Destacando-se das demais partes: galho grosso; galho fino; folhas; flor e fruto, sendo considerado ainda, o número de árvores que foram observadas e que continham todas as partes.

Os teores de água das capoeiras de 14 e 23 anos foram, respectivamente, 46,1% e 48,9%, quando considerada a biomassa viva total (aérea + raízes). Estas médias ponderadas considerando as contribuições de tronco, galhos grossos, galhos finos, folhas, flores ou frutos, raízes finas e raízes grossas à biomassa viva total, estão apresentadas no quadro 5.12 (b). As médias ponderadas para os teores de água da biomassa viva total (aérea + raízes) da árvore em capoeiras de 14 e 23 anos foram, respectivamente,  $46,1\% \pm 2,58$  (IC 95%) e  $48,9\% \pm 2,41$  (IC 95%).

Estas duas capoeiras apresentaram teores superiores ao da floresta primária, ou seja, as florestas em recuperação têm mais água acumulada na vegetação do que a primária. A capoeira mais velha apresentou teor de água superior ao da capoeira mais nova. A explicação pode estar na ausência de queimada após a derrubada da capoeira mais velha.



Quadro 5.12: Teores (%) de água em capoeiras.

(a): Biomassa acima do solo - teor de água (%) ponderada por parte da árvore em capoeiras.

Parte	Capoeira 14 anos – S8				Capoeira 23 anos – ZF2			
	n	contribuição	água (%)	% ponderada	n	contribuição	água (%)	% ponderada
Tronco	31	0,6409	44,2	28,3	35	0,7049	47,1	33,2
galho grosso	3	0,1496	40,1	6,0	3	0,1533	47,0	7,2
galho fino	31	0,1864	49,0	9,1	35	0,1470	51,7	7,6
Folhas	30	0,0710	61,3	4,4	35	0,0453	65,2	3,0
flor/fruto	1	0,0030	67,3	0,2	1	0,0008	57,8	0,0
% ponderada				48,0				51,0

(b): Biomassa total (acima + raízes) – teor de água (%) ponderada por parte da árvore em capoeiras.

Parte	Capoeira 14 anos – S8				Capoeira 23 anos – ZF2			
	n	contribuição	água (%)	% ponderada	n	contribuição	água (%)	% ponderada
Tronco	31	0,5967	44,2	26,4	35	0,6214	47,1	29,3
galho grosso	3	0,0727	40,1	2,9	3	0,1030	47,0	4,8
galho fino	31	0,1739	49,0	8,5	35	0,1590	51,7	8,2
Folhas	30	0,0544	61,3	3,3	35	0,0433	65,2	2,8
flor/fruto	1	0,0001	67,3	0,0	1	0,0003	57,8	0,0
raiz fina	27	0,0273	51,2	1,4	34	0,0279	52,4	1,5
raiz grossa	30	0,0749	47,2	3,5	30	0,0452	50,5	2,3
% ponderada				46,1				48,9

## 5.2.4. Teor de carbono:

Os teores de carbono são mais consistentes e homogêneos do que os de água. Para a floresta primária, considerando tronco, raiz grossa e raiz fina, os teores foram, respectivamente:  $48,5\% \pm 0,3$ ,  $47\% \pm 0,4$  e  $45,7\% \pm 0,5$  – quadro 6.13(a). A maior incerteza está associada à raiz fina e é de 1,2%. Quando ponderado, o teor médio é de 48,5% - quadro 6.13(b). Este teor é compatível com os teores encontrados na literatura. No caso de capoeiras, quadro 6.13(c), os teores de carbono do tronco e da raiz grossa são, praticamente, iguais; logo, a média das duas categorias igual a 44,8% pode ser utilizada na transformação de peso seco em carbono.

Quadro 6.13: Teores de carbono em floresta primária

## (a) Teores (%) de carbono nas diferentes partes da árvore em floresta primária

	troncos	raízes grossas	raízes finas
n	44	120	92
média	48,5	47,0	45,7
desvio	1,2	2,1	2,6
IC (95%)	0,3	0,4	0,5
incerteza (%)	0,7	0,8	1,2

## (b) Teor (%) médio ponderado por parte da árvore

	C (%)	contribuição	média ponderada (%)
tronco	48,5	0,8598	41,7
rgrossa	47,0	0,1159	5,4
rfina	45,7	0,0306	1,4
média geral			48,5

## (c) Teores (%) de carbono nas diferentes partes da árvore em capoeiras

	raiz grossa	Tronco	galho grosso
n	37	57	6
média	44,82	44,82	44,79
desvio	1,47	1,48	1,14
IC (95%)	0,47	0,38	0,91
incerteza (%)	1,1	0,9	2,0

Em um trabalho de revisão bastante compreensiva, Watslawick *et al.* (2004) concluíram que o teor de carbono da madeira é de 50% do peso seco (em estufa), considerando espécies florestais naturais e plantadas em diferentes sítios de diferentes biomas. O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, em Inglês) adota um teor de 50% para transformar peso seco (em estufa) em carbono (IPCC, 2003). Igual teor é adotado pelo SOS Mata Atlântica (2007). Na comunicação nacional inicial sobre emissões do Brasil, o Ministério da Ciência e Tecnologia adotou o teor de 48% (MCT, 2004). No meio científico, Phillips *et al.* (1998) utilizaram também o teor de carbono igual a 48% do peso seco (em estufa).

### 5.3. Equações alométricas (peso fresco como variável dependente):

Todos os indicadores de desempenho dos modelos testados foram utilizados neste trabalho, recomendados na literatura pertinente (ex., Draper e Smith, 1966 e Santos, 1996). Como foram testados modelos que já tinham bons desempenhos em outras situações e sítios, todas as equações foram altamente significantes (Anova,  $p < 0,0001$ ), os coeficientes de correlação foram positivos e altamente significantes ( $p < 0,0001$ ). A decisão para escolher o melhor dos melhores foi baseada nos seguintes indicadores: coeficiente de determinação, desvio padrão da média em porcentagem ( $s_{y,x}\%$ ) e distribuição de resíduos.

O coeficiente de determinação mostra a variação (em %) dos dados que é explicada pelo modelo. A distribuição de resíduos indica a consistência do modelo; a diferença entre o valor observado e o estimado pelo modelo tem que ser uniforme independente do tamanho da árvore. O desvio padrão da média ou erro padrão da estimativa (em relação à média) indica a precisão do modelo; é a diferença entre cada valor (peso) observado e estimado. A comparação entre modelos logarítmicos e não logarítmicos foi realizada com aplicação dos modelos aos dados observados. Depois disso, foram calculados: soma dos quadrados dos resíduos (diferença entre o observado e o estimado); quadrado médios dos resíduos (variância); erro padrão de estimativa (desvio padrão) e desvio padrão da média. O indicador final é o desvio padrão da média em porcentagem ( $s_{y,x}\%$ ), que é o  $s_{y,x}$  dividido pela média e multiplicado por 100. Os fatores de correção para os modelos logaritmos não foram utilizados – v. 5.3.2.2 e 5.3.2.3 (erro).

Neste estudo, foram testadas equações para a biomassa acima do solo (aérea), de raízes e total (aérea + raízes) em floresta primária e capoeiras. As estatísticas descritivas dos arquivos de dados utilizados para testar as equações são apresentadas no quadro 5.14.

Quadro 5.14: Estatística dos dados utilizados no desenvolvimento de equações alométricas.

	acima do nível do solo			abaixo do nível do solo (raízes)		
	DAP (cm)	altura (m)	PF (kg)	DAP (cm)	altura (m)	PF (kg)
Primária						
mínimo	4,5	5,6	8,29	5,0	5,9	1,26
máximo	120,0	41,4	25634,43	85,0	34,5	2709,49
n	(494)	(494)	(494)	(131)	(131)	(131)
Capoeira 14						
mínimo	5,0	4,2	7,54	5,2	7,6	0,523
máximo	33,1	27,0	1562,80	23,1	20,0	78,788
n	(252)	(252)	(252)	(30)	(30)	(30)
Capoeira 23						
mínimo	5,0	3,9	5,38	5,2	7,4	0,676
máximo	37,2	27,0	1690,18	27,5	22,1	71,860
n	(349)	(341)	(341)	(35)	(35)	(35)

Foram derrubadas e pesadas, individualmente, 494 árvores da floresta primária. Deste total, 131 árvores estão completas com peso da parte aérea e de raízes. Os DAPs mínimo e máximo da floresta primária foram, respectivamente, 4,5 cm e 120 cm. Na capoeira de 14 anos há 252 árvores com pesos individuais da parte aérea e, destas, há 30 com peso de raízes. Na capoeira de 23 anos há 349 árvores com pesos individuais da parte aérea e, destas, há 35 com peso de raízes. Nas duas capoeiras, os DAPs mínimo e máximo foram, respectivamente, 5 cm e 37,2 cm. Em relação aos pesos frescos as amplitudes em floresta primária e capoeiras são, respectivamente, de 9 kg a 25.000 kg e 5,5 kg a 1.690 kg.

### 5.3.1. Floresta primária:

#### 5.3.1.1. Biomassa acima do solo:

Todas as 7 equações testadas apresentam erros ( $s_{y,x}\%$ ) do modelo inferiores a 10%. Desta maneira, todos os modelos testados estão habilitados para estimar biomassa. Os modelos não lineares de simples entrada (apenas DAP - D como variável independente) e de dupla entrada (DAP e altura comercial como independentes) apresentam coeficientes de determinação ( $r^2$ ) iguais a 0,85 e 0,86, respectivamente. Os demais apresentam  $r^2$  superiores a 0,9, ou seja, mais de 90% da variação dos dados estão explicados pelo modelo.

Os coeficientes de regressão de cada modelo, juntamente os seus respectivos  $r^2$ , desvio padrão da estimativa ( $s_{y.x}$ ) e erro padrão de estimativa da média ( $s_{y.x}$  %) são apresentados no quadro 6.15. As análises de variância de cada modelo são apresentadas no quadro 6.16. Todos os modelos são altamente significantes ( $p < 0,0001$ ). As distribuições de resíduos de todos os 7 modelos testados são apresentadas na figura 5.8. Os modelos 6 e 7, não lineares, são as exceções em relação à distribuição de resíduos. Todos os demais apresentaram distribuições adequadas.

Os modelos logarítmicos apresentam erros baixos (inferiores a 10%) e altos  $r^2$  (superiores a 0,97). Utilizando apenas o DAP nos modelos logarítmicos como variável independente, o  $r^2$  é igual a 0,97 e quando é acrescentada a altura total (HT), a comercial (HC) ou a combinada ( $D^2HT$ ), o  $r^2$  passa a ser igual a 0,98. Os modelos de dupla entrada acrescentam apenas 1% da explicação da variação dos dados. Há vários autores que defendem a inclusão da densidade da madeira aos modelos alométricos (ex., Chave *et al.*, 2005 e Overman, 1994). São sugestões válidas desde que o usuário esteja consciente de que há menos de 2% de variação a ser explicada. Além disso, diminuir o erro do modelo (que é em torno de 6%) seria muito difícil e caro. Neste caso, a porção “custo” ficará mais pesada do que “benefício”.

Os modelos de simples entrada (modelos 1 e 5) apresentam indicadores tão bons quanto os de dupla entrada. Os modelos 1 e 5 explicam, respectivamente, 97% e 85% da variação dos dados e apresentam erro de 7,6% e 4,2%. Entretanto, estes modelos não podem ser aplicáveis em toda a região amazônica porque há diferentes sítios, que são distintos, especialmente, pela altura total da árvore. Estes modelos produzirão estimativas confiáveis em sítios com características similares às da Estação Experimental de Silvicultura Tropical do INPA, que foram reportadas em vários artigos considerando diferentes indicadores (Brasil, 1997, Coic *et al.*, 1990, Higuchi *et al.*, 1985a, Higuchi *et al.*, 1985b, Jardim, 1985, Jardim e Hosokawa, 1986-87, Ribeiro, 1996 e Santos, 1996).

Em sítios com características diferentes, a solução é utilizar as equações de dupla entrada, especialmente, aquelas com altura total. A equação com a variável combinada  $D^2HT$  (modelo 4) é também uma confiável alternativa. Os modelos logarítmicos e os não lineares têm desempenhos similares.

Quadro 5.15: Resumo das equações testadas para a biomassa acima do solo em floresta primária

Equação	n	a	b	C	$r^2$	$S_{yx}$	$S_{y,x}$ (%)
1) $\ln PF = a + \ln D$	494	-1,4452	2,5252		0,97	61,82	7,64
2) $\ln PF = a + \ln D + c \ln HT$	494	-2,6262	2,0587	0,8584	0,98	34,06	4,21
3) $\ln PF = a + \ln D + c \ln HC$	494	-1,7683	2,3890	0,2991	0,98	59,42	7,34
4) $\ln PF = a + b \ln D^2H$	494	-2,7988	0,9913		0,98	31,09	3,84
5) $PF = a D^b$	494	2,2737	1,9156		0,85	34,00	4,20
6) $PF = a D^b HT^c$	494	0,0039	1,5268	2,2973	0,93	24,16	2,99
7) $PF = a D^b HC^c$	494	1,5370	1,7527	0,3719	0,86	33,12	4,10

$s_{y,x}$  e  $S_{y,x}$ (%) corrigidos para equações logarítmicas

Quadro 5.16: Análise de Variância de Regressão - Biomassa acima do solo - Primária

a)  $\ln PF = a + b \ln DAP$

Fontes de variação	GL	SQ	MQ	F	p
Regressão	1	1606	1606	17594,7	0,0000
Resíduo	492	44,91	0,09		

b)  $\ln PF = a + b \ln DAP + \ln HT$

Fontes de variação	GL	SQ	MQ	F	p
Regressão	2	1620,08	810,04	12900,32	0,0000
Resíduo	491	30,83	0,06		

c)  $\ln PF = a + b \ln DAP + \ln HC$

Fontes de variação	GL	SQ	MQ	F	p
Regressão	2	1611,62	805,81	10069,84	0,0000
Resíduo	491	39,29	0,08		

d)  $\ln PF = a + b \ln D^2 HT$

Fontes de variação	GL	SQ	MQ	F	p
Regressão	1	1619,74	1619,74	25564,83	0,0000
Resíduo	492	31,17	0,06		

e)  $PF = a DAP^b$

Fontes de variação	GL	SQ	MQ	F	p
Regressão	2	1,959E+09	9,796E+08	1718,56	0,0000
Resíduo	493	2,810E+08	5,700E+05		

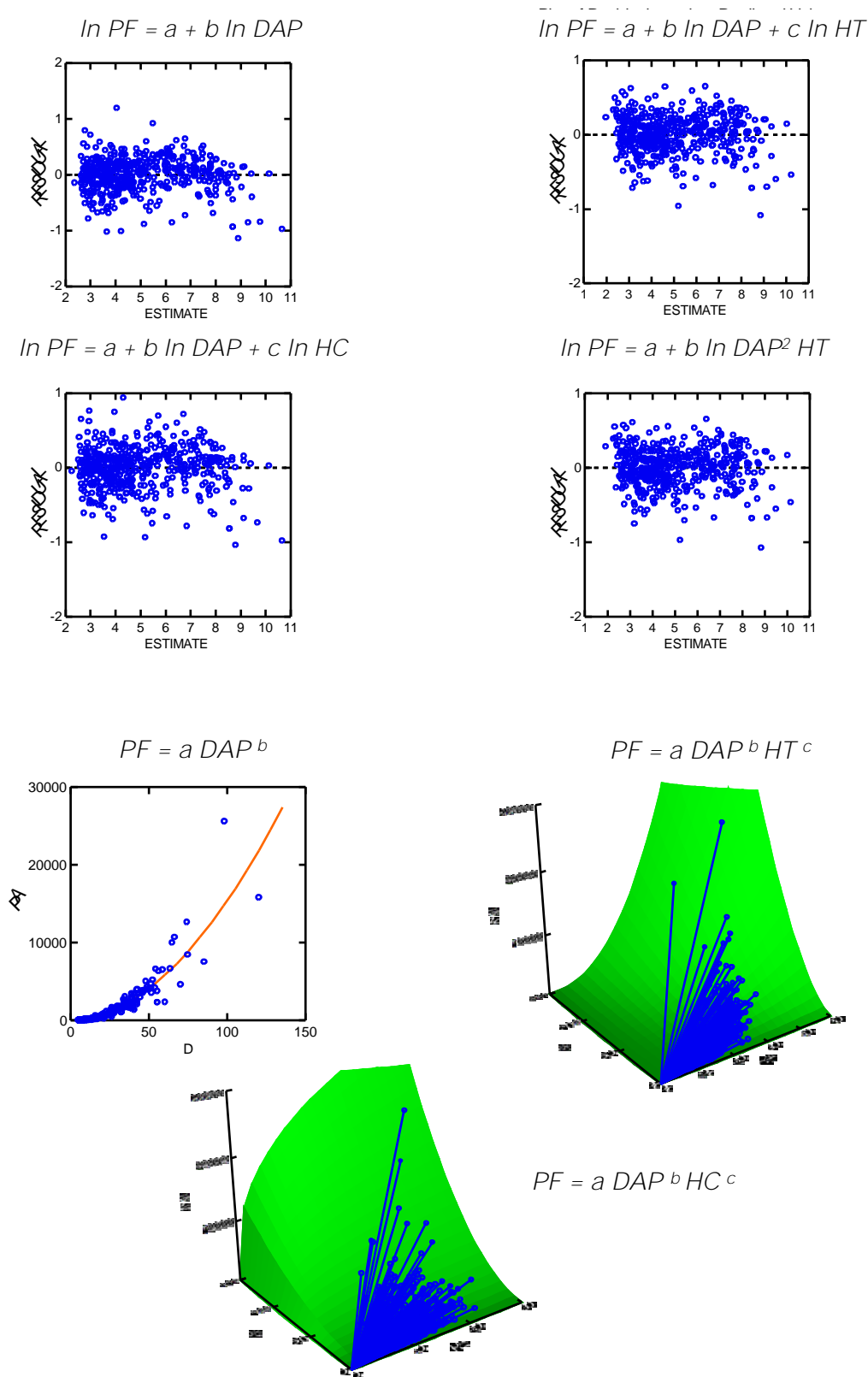
f)  $PF = a DAP^b HT^c$

Fontes de variação	GL	SQ	MQ	F	p
Regressão	3	2,099E+09	6,995E+08	2426,83	0,0000
Resíduo	491	1,415E+08	2,883E+05		

g)  $PF = a DAP^b HC^c$

Fontes de variação	GL	SQ	MQ	F	p
Regressão	3	1,974E+09	6,580E+08	1214,16	0,0000
Resíduo	491	2,661E+08	5,420E+05		

Figura 5.8: Distribuição de resíduos – Biomassa acima do solo - Primária





#### 5.3.1.2. Biomassa de raízes:

Os coeficientes de regressão dos modelos testados, juntamente com os seus respectivos  $r^2$ , desvio padrão da estimativa ( $s_{y,x}$ ) e erro padrão de estimativa da média ( $s_{y,x} \%$ ), são apresentados no quadro 5.17. Das 494 árvores-amostras do arquivo de dados de biomassa acima do solo, 131 árvores apresentaram também o peso fresco de raízes grossas constituindo-se, desta maneira, o arquivo de dados de raízes grossas para o desenvolvimento dos modelos alométricos. Apesar desta diferença de intensidade de amostragem, os erros dos modelos logarítmicos permaneceram aceitáveis, em torno de 6%. Dos modelos não lineares, o modelo de dupla entrada (DAP e altura comercial), modelo 7, apresentou erro igual a 4,7%. Em relação ao coeficiente de determinação ( $r^2$ ), este variou de 0,93 a 0,95 entre os 7 modelos testados.

Todos os modelos testados são altamente significantes ( $p < 0,0001$ ) – análise de variância de cada modelo apresentada no quadro 6.18. As distribuições de resíduos de cada modelo são apresentadas na figura 5.9.

Para a opção de modelo de simples entrada (apenas o DAP como variável independente), o modelo 5 é o melhor. No caso de dupla entrada, o melhor é o modelo 7 (DAP e altura comercial). Os desempenhos dos modelos testados são parecidos e a escolha final pode ser feita em função da praticidade de cada modelo.

Quadro 5.17: Resumo das equações testadas para a biomassa de raízes grossas em floresta primária

Equação	n	a	b	C	$r^2$	$S_{yx}$	$S_{y,x}$ (%)
1) $\ln PF = a + \ln D$	131	-3,8660	2,6816		0,94	6,99	5,57
2) $\ln PF = a + \ln D + c \ln HT$	131	-3,4408	2,8420	-0,3031	0,94	8,11	6,47
3) $\ln PF = a + \ln D + c \ln HC$	131	-3,7652	2,7286	-0,0962	0,94	7,69	6,13
4) $\ln PF = a + b \ln D^2H$	131	-5,2280	1,0445		0,93	8,06	6,43
5) $PF = a D^b$	131	0,0469	2,4754		0,95	6,41	5,12
6) $PF = a D^b HT^c$	131	0,0131	2,3376	0,5374	0,95	6,32	5,04
7) $PF = a D^b HC^c$	131	0,0088	2,5232	0,5244	0,95	5,88	4,69

$s_{y,x}$  e  $s_{y,x}$ (%) corrigidos para equações logarítmicas

Quadro 5.18: Análise de Variância de regressão – biomassa de raízes grossas – floresta primária

a)  $\ln PF = a + b \ln DAP$

Fontes de variação	GL	SQ	MQ	F	p
Regressão	1	451,09	451,09	2187,62	0,0000
Resíduo	129	26,60	0,21		

b)  $\ln PF = a + b \ln DAP + \ln HT$

Fontes de variação	GL	SQ	MQ	F	p
Regressão	2	451,52	225,76	1104,25	0,0000
Resíduo	128	26,17	0,20		

c)  $\ln PF = a + b \ln DAP + \ln HC$

Fontes de variação	GL	SQ	MQ	F	p
Regressão	2	451,21	225,61	1090,57	0,0000
Resíduo	128	26,48	0,21		

d)  $\ln PF = a + b \ln D^2 HT$

Fontes de variação	GL	SQ	MQ	F	P
Regressão	1	442,88	442,88	1640,98	0,0000
Resíduo	129	34,82	0,27		

e)  $PF = a DAP^b$

Fontes de variação	GL	SQ	MQ	F	P
Regressão	2	1,413E+07	7,064E+06	1310,93	0,0000
Resíduo	129	6,952E+05	5,389E+03		

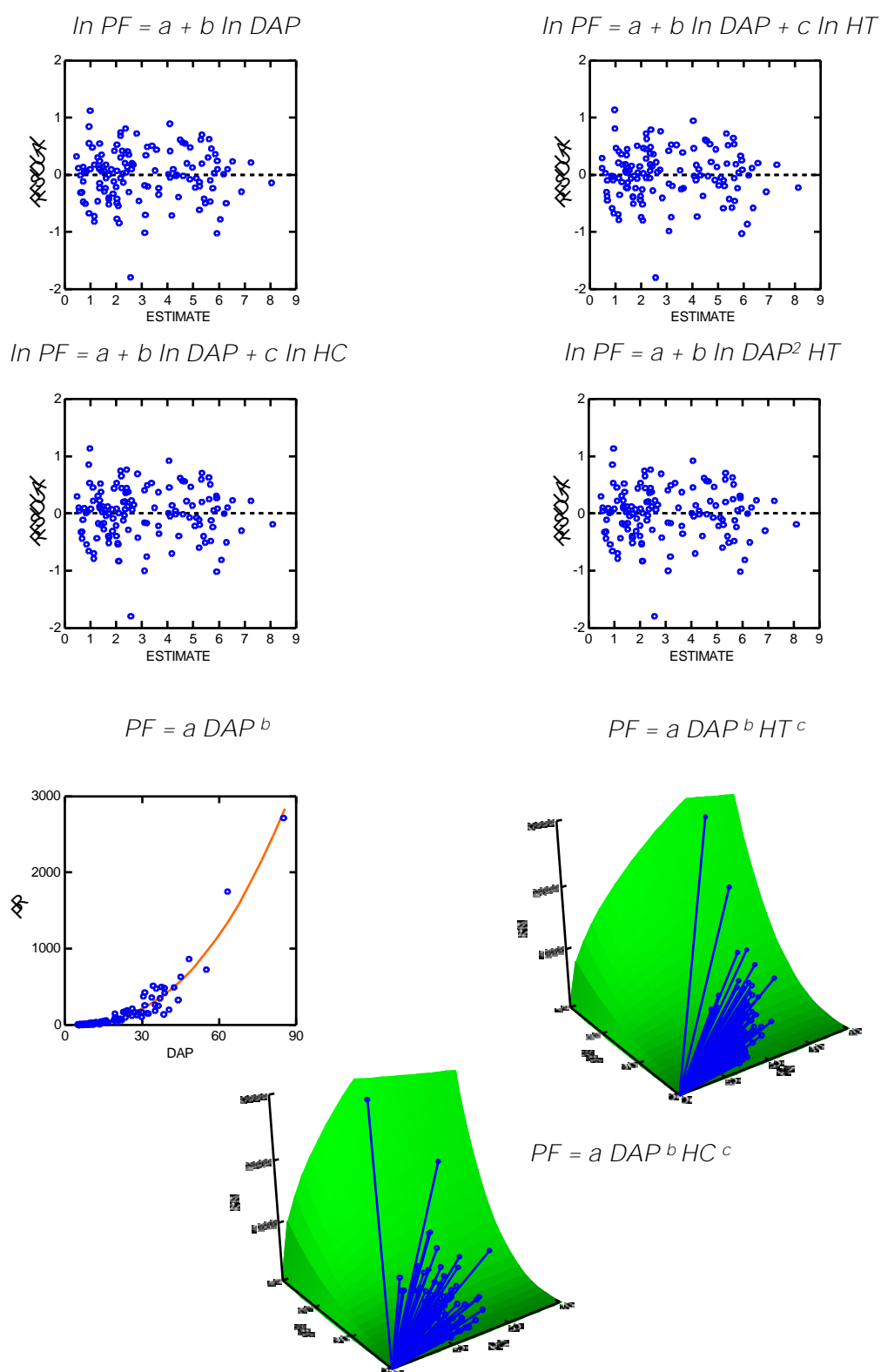
f)  $PF = a DAP^b HT^c$

Fontes de variação	GL	SQ	MQ	F	P
Regressão	3	1,415E+07	4,718E+06	901,20	0,0000
Resíduo	128	6,701E+05	5,235E+03		

g)  $PF = a DAP^b HC^c$

Fontes de variação	GL	SQ	MQ	F	P
Regressão	3	1,424E+07	4,748E+06	1047,43	0,0000
Resíduo	128	5,802E+05	4,533E+03		

Figura 5.9: Distribuição de resíduos – Biomassa de raízes - Primária



### 5.3.1.3. Biomassa total (aérea + raízes):

Os coeficientes de regressão dos modelos testados, juntamente com os seus respectivos  $r^2$ , desvio padrão da estimativa ( $s_{y,x}$ ) e erro padrão de estimativa da média ( $s_{y,x} \%$ ), são apresentados no quadro 5.19. Como no caso de raízes, apenas as 131 árvores-amostras que apresentaram pesos das raízes foram utilizadas para testar os modelos alométricos. Apesar da grande diferença de intensidade de amostragem entre a biomassa acima do solo ( $n = 494$ ) e de raízes ( $n = 131$ ), os desempenhos destes modelos, especialmente, os não lineares, foram parecidos com os da biomassa acima do solo. No item 5.5 (intensidade de amostragem e custos), será discutida esta questão, inclusive, as considerações sobre custos de coleta.

Todos os modelos testados são altamente significantes ( $p < 0,0001$ ) – análise de variância de cada modelo apresentada no quadro 5.20. As distribuições de resíduos de cada modelo são apresentadas na figura 5.10. As equações não lineares de dupla entrada não apresentam resíduos tão bem distribuídos quanto às logarítmicas.

Neste caso, todos os modelos produziram erros inferiores a 10% e  $r^2$  superiores a 0,94. Neste caso, os modelos não lineares são bem melhores do que os logarítmicos, em relação aos erros associados. Com base nos indicadores de desempenho dos modelos, qualquer um deles poderia ser utilizado para estimar a biomassa total de uma árvore em pé.

Dentre os 7 modelos habilitados, o não linear de simples entrada (modelo 5) é o mais recomendável. Este modelo explica 94% da variação dos dados e apresenta um erro associado à média de apenas 4%. Entretanto, este modelo só é recomendável para sítios com características similares às da Estação Experimental de Silvicultura Tropical do INPA. No caso de duplas entradas, os modelo 6 e 7, reúnem as melhores condições.

No item 5.5 são discutidas, detalhadamente, as questões relacionadas à intensidade de amostragem e custos de coletas. Aqui, nesta seção, fica claro que uma intensidade de 4 vezes maior não é garantia de ter uma melhoria nos indicadores na mesma proporção. Neste caso, está incluído o peso total da árvore e não apenas da parte aérea. Em princípio, uma intensidade de amostragem igual a 131 é suficiente para garantir erros aceitáveis. Para empresas ou instituições que precisam desenvolver os seus próprios modelos, a intensidade de amostragem não precisa ser igual a que o INPA vem acumulando ao longo de 20 anos de coletas. Baseado neste estudo de biomassa total, a coleta de 131 árvores é mais do que suficiente. Este, talvez, seja um dos principais achados deste trabalho.

Quadro 5.19: Resumo das equações testadas para a biomassa total (aérea + raízes) em floresta primária

Equação	n	a	b	C	r <sup>2</sup>	S <sub>yx</sub>	S <sub>yx</sub> (%)
1) $\ln PF = a + \ln D$	131	-1,2911	2,5120		0,98	75,25	9,49
2) $\ln PF = a + \ln D + c \ln HT$	131	-2,1763	2,1782	0,6308	0,98	54,53	6,88
3) $\ln PF = a + \ln D + c \ln HC$	131	-1,4801	2,4239	0,1804	0,98	63,90	8,06
4) $\ln PF = a + b \ln D^2H$	131	-2,6513	0,9890		0,98	43,51	5,49
5) $PF = a D^b$	131	2,7179	1,8774		0,94	31,01	3,91
6) $PF = a D^b HT^c$	131	0,5521	1,6629	0,7224	0,95	29,18	3,68
7) $PF = a D^b HC^c$	131	0,7238	1,8490	0,5102	0,96	26,93	3,40

Quadro 5.20: Análise de variância de regressão – biomassa total (aérea + raízes grossas) – floresta primária

a)  $\ln PF = a + b \ln DAP$

Fontes de variação	GL	SQ	MQ	F	p
Regressão	1	395,82	395,82	5524,90	0,0000
Resíduo	129	9,24	0,07		

b)  $\ln PF = a + b \ln DAP + \ln HT$

Fontes de variação	GL	SQ	MQ	F	p
Regressão	2	397,69	198,84	3453,89	0,0000
Resíduo	128	7,37	0,06		

c)  $\ln PF = a + b \ln DAP + \ln HC$

Fontes de variação	GL	SQ	MQ	F	p
Regressão	2	396,25	198,12	2877,76	0,0000
Resíduo	128	8,81	0,07		

d)  $\ln PF = a + b \ln D^2 HT$

Fontes de variação	GL	SQ	MQ	F	p
Regressão	1	397,08	397,08	6419,01	0,0000
Resíduo	129	7,98	0,06		

e)  $PF = a DAP^b$

Fontes de variação	GL	SQ	MQ	F	p
Regressão	2	3,597E+08	1,798E+08	1427,43	0,0000
Resíduo	129	1,625E+07	1,260E+05		

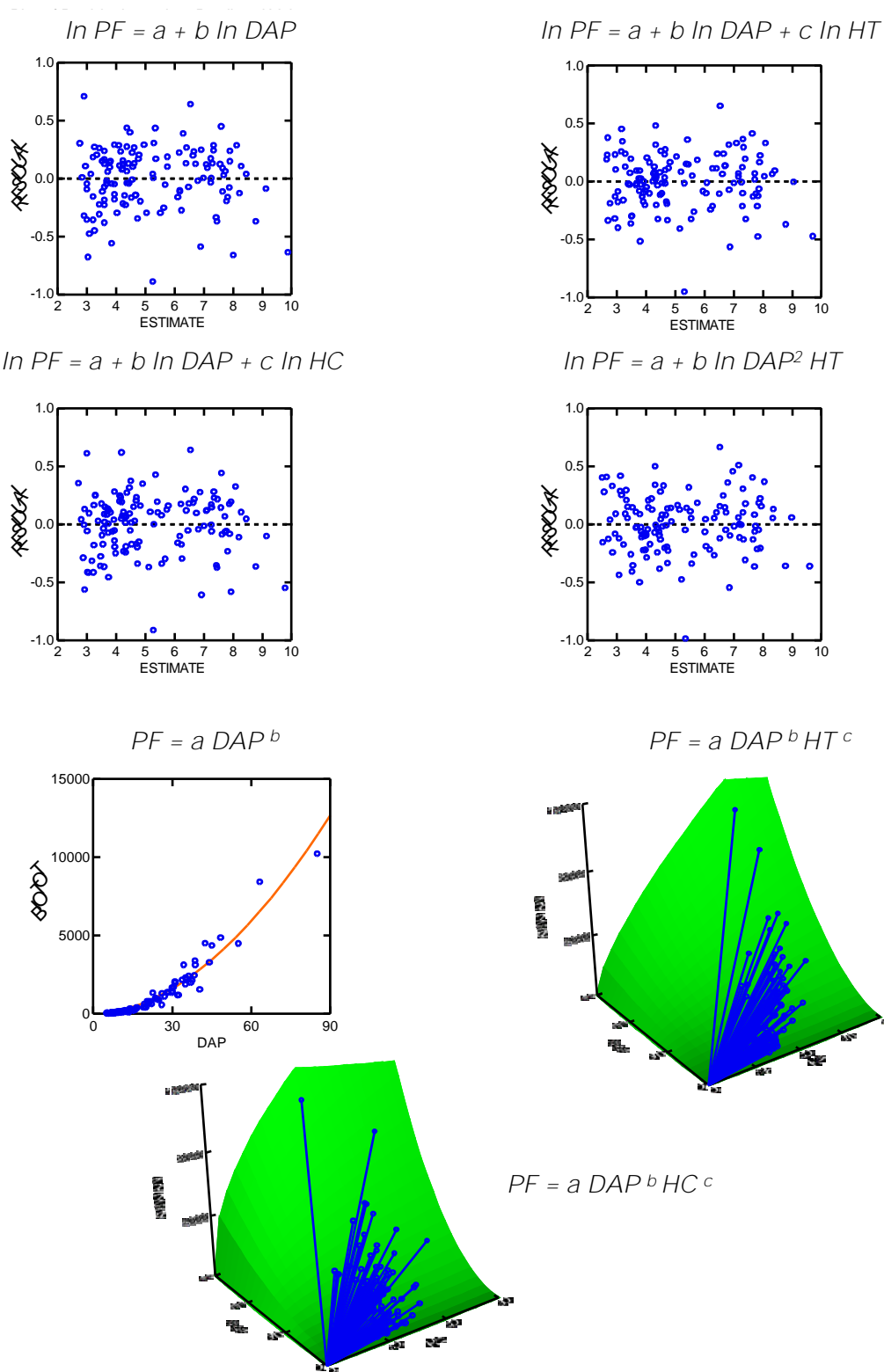
f)  $PF = a DAP^b HT^c$

Fontes de variação	GL	SQ	MQ	F	p
Regressão	3	3,617E+08	1,206E+08	1080,48	0,0000
Resíduo	128	1,428E+07	1,116E+05		

g)  $PF = a DAP^b HC^c$

Fontes de variação	GL	SQ	MQ	F	p
Regressão	3	3,638E+08	1,213E+08	1276,07	0,0000
Resíduo	128	1,216E+07	9,503E+04		

Figura 5.10: Distribuição de resíduos – Biomassa total (aérea + raízes) – Primária



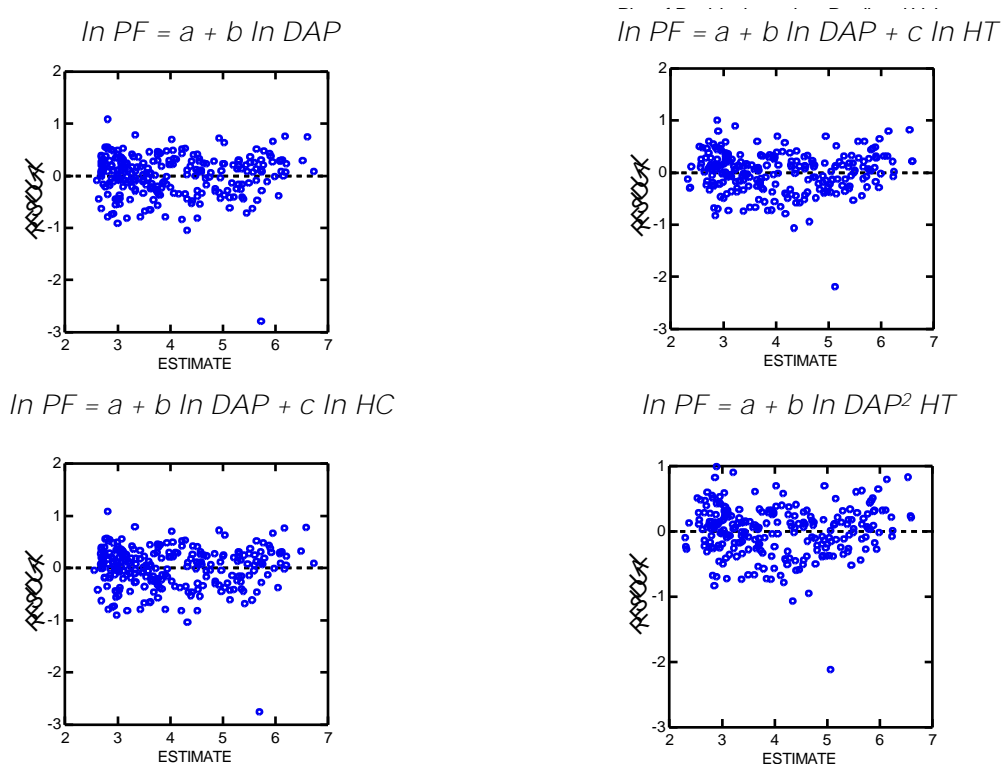


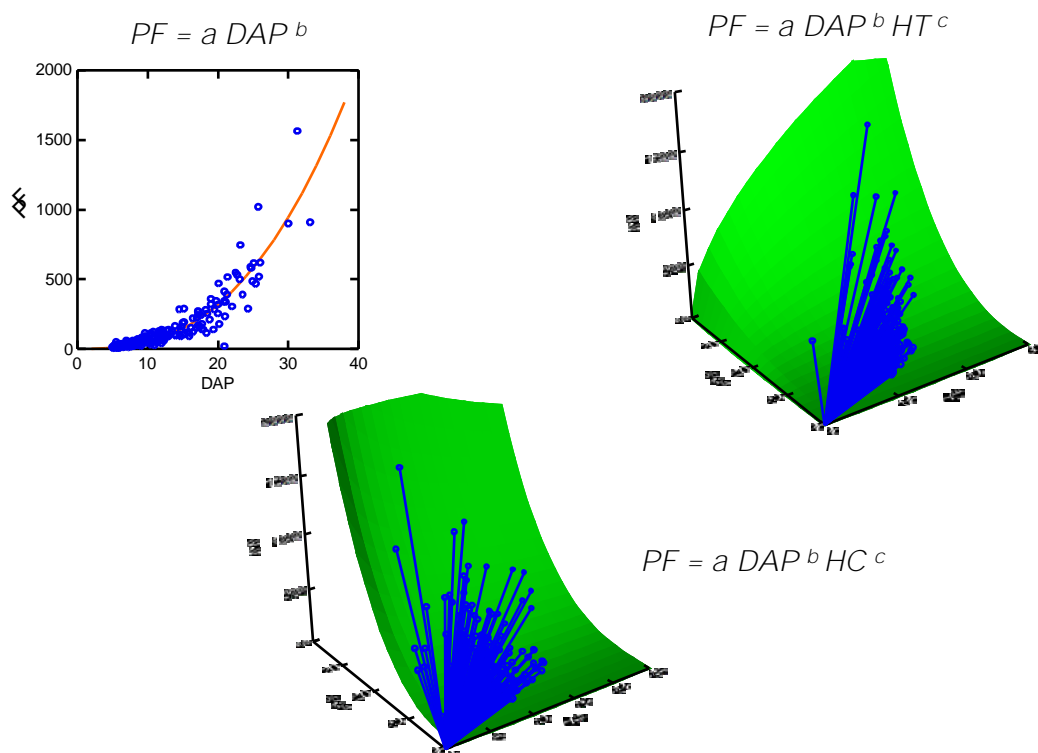
## 5.3.2. Capoeiras de 14 e 23 anos:

## 5.3.2.1. Biomassa acima do solo:

As análises de variância de cada modelo confirmam que todos os modelos são altamente significantes ( $p < 0,0001$ ). As análises dos modelos das capoeiras de 14 anos e de 23 anos são apresentadas nos quadros 5.22 e 5.23, respectivamente. As distribuições de resíduos dos modelos das capoeiras de 14 e 23 anos são apresentadas, sequencialmente, nas figuras 5.11 e 5.12. Considerando estes dois importantes indicadores de qualidade, todos os modelos testados podem ser aprovados.

Figura 5.11: Distribuição de resíduos – aérea – Capoeira 14 anos

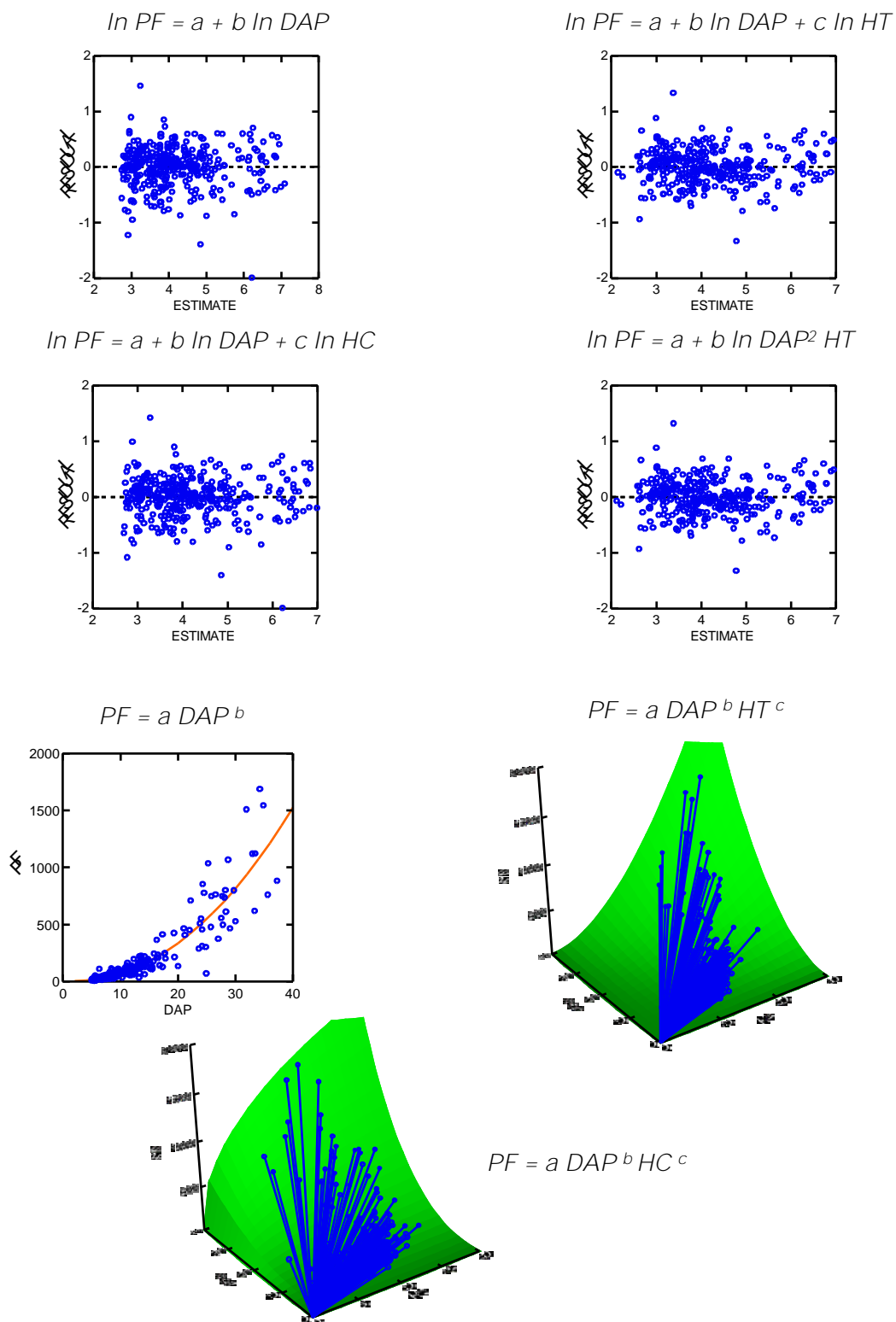




Os coeficientes de regressão, coeficiente de determinação, erro padrão de estimativa ( $s_{y,x}$ ) e o erro ( $s_{y,x} \%$ ) das equações testadas para as capoeiras de 14 e 23 anos são apresentadas nos quadros 5.21(a) e 5.21(b), respectivamente. A amplitude de variação dos pesos frescos da floresta primária foi bem maior (9 kg a 25.000 kg) do que a das capoeiras (5,5 kg a 1.690 kg). Os desempenhos dos modelos testados, neste caso, são ligeiramente superiores aos da primária. Excluindo o preciosismo da estatística ao comparar primária e capoeiras, todos os modelos apresentam erros inferiores a 5% e  $r^2$  superiores a 0,87. Portanto, todos os modelos estão habilitados para estimar a biomassa de árvores em pé de capoeiras.

Nas duas capoeiras, o modelo de simples entrada logarítmico e não linear (modelos 1 e 5) são os modelos mais recomendáveis dentre os modelos aprovados. No caso de dupla entrada, os modelos 2 e 6 são os mais recomendáveis para as capoeiras. As mesmas observações feitas para a floresta primária são válidas para as capoeiras, em relação ao melhor modelo para diferentes sítios.

Figura 5.12: Distribuição de resíduos – aérea – Capoeira 23 anos



Quadro 5.21: Resumo das equações testadas para a biomassa acima do solo em capoeiras.

## a) capoeira de 14 anos

Equação	n	a	b	C	r <sup>2</sup>	S <sub>yx</sub>	S <sub>yx</sub> (%)
1) $\ln PF = a + \ln D$	252	-0,9178	2,1848		0,88	5,25	4,39
2) $\ln PF = a + \ln D + c \ln HT$	252	-1,8338	1,7335	0,7662	0,89	5,36	4,48
3) $\ln PF = a + \ln D + c \ln HC$	252	-0,9503	2,1603	0,0420	0,88	5,33	4,46
4) $\ln PF = a + b \ln D^2H$	252	-1,9159	0,8423		0,89	5,40	4,51
5) $PF = a D^b$	252	0,1063	2,6724		0,87	4,31	3,60
6) $PF = a D^b HT^c$	252	0,0449	2,3999	0,5715	0,88	4,16	3,48
7) $PF = a D^b HC^c$	252	0,1501	2,7239	-0,2062	0,87	4,20	3,51

## b) capoeira de 23 anos

Equação	n	a	b	C	r <sup>2</sup>	S <sub>yx</sub>	S <sub>yx</sub> (%)
1) $\ln PF = a + \ln D$	341	-0,7480	2,1659		0,89	5,05	3,65
2) $\ln PF = a + \ln D + c \ln HT$	341	-1,9338	1,7540	0,8285	0,92	4,61	3,33
3) $\ln PF = a + \ln D + c \ln HC$	341	-0,9439	2,0741	0,1904	0,89	4,68	3,38
4) $\ln PF = a + b \ln D^2H$	341	-1,9798	0,8659		0,92	4,62	3,34
5) $PF = a D^b$	341	0,4888	2,1816		0,84	5,03	3,73
6) $PF = a D^b HT^c$	341	0,0086	1,8057	1,7525	0,92	3,71	2,75
7) $PF = a D^b HC^c$	341	0,0910	2,3445	0,4815	0,85	4,79	3,55

Quadro 5.22: Análise de variância de regressão – biomassa aérea – capoeira de 14 anos.

a)  $\ln PF = a + b \ln DAP$

Fontes de variação	GL	SQ	MQ	F	p
Regressão	1	295,28	295,28	1804,04	0,0000
Resíduo	250	40,92	0,16		

b)  $\ln PF = a + b \ln DAP + \ln HT$

Fontes de variação	GL	SQ	MQ	F	p
Regressão	2	300,19	150,10	1037,91	0,0000
Resíduo	249	36,01	0,14		

c)  $\ln PF = a + b \ln DAP + \ln HC$

Fontes de variação	GL	SQ	MQ	F	p
Regressão	2	295,33	147,66	899,55	0,0000
Resíduo	249	40,87	0,16		

d)  $\ln PF = a + b \ln D^2 HT$

Fontes de variação	GL	SQ	MQ	F	p
Regressão	1	300,14	300,14	2080,95	0,0000
Resíduo	250	36,06	0,14		

e)  $PF = a DAP^b$

Fontes de variação	GL	SQ	MQ	F	p
Regressão	2	1,130E+07	5,649E+06	1201,67	0,0000
Resíduo	250	1,175E+06	4,701E+03		

f)  $PF = a DAP^b HT^c$

Fontes de variação	GL	SQ	MQ	F	p
Regressão	3	1,138E+07	3,793E+06	864,89	0,0000
Resíduo	249	1,092E+06	4,386E+03		

g)  $PF = a DAP^b HC^c$

Fontes de variação	GL	SQ	MQ	F	p
Regressão	3	1,136E+07	3,788E+06	849,79	0,0000
Resíduo	249	1,110E+06	4,457E+03		

Quadro 5.23: Análise de variância de regressão – biomassa aérea – capoeira de 23 anos.

a)  $\ln PF = a + b \ln DAP$

Fontes de variação	GL	SQ	MQ	F	p
Regressão	1	363,36	363,36	2732,44	0,0000
Resíduo	347	46,14	0,13		

b)  $\ln PF = a + b \ln DAP + \ln HT$

Fontes de variação	GL	SQ	MQ	F	p
Regressão	2	374,54	187,27	1982,27	0,0000
Resíduo	338	31,93	0,09		

c)  $\ln PF = a + b \ln DAP + \ln HC$

Fontes de variação	GL	SQ	MQ	F	p
Regressão	2	364,70	182,35	1408,45	0,0000
Resíduo	346	44,80	0,13		

d)  $\ln PF = a + b \ln D^2 HT$

Fontes de variação	GL	SQ	MQ	F	p
Regressão	1	374,52	374,52	3973,93	0,0000
Resíduo	339	31,95	0,09		

e)  $PF = a DAP^b$

Fontes de variação	GL	SQ	MQ	F	p
Regressão	2	2,230E+07	1,115E+07	1261,51	0,0000
Resíduo	347	3,067E+06	8,840E+03		

f)  $PF = a DAP^b HT^c$

Fontes de variação	GL	SQ	MQ	F	P
Regressão	3	2,375E+07	7,915E+06	1684,42	0,0000
Resíduo	338	1,588E+06	4,699E+03		

g)  $PF = a DAP^b HC^c$

Fontes de variação	GL	SQ	MQ	F	P
Regressão	3	2,259E+07	7,530E+06	937,03	0,0000
Resíduo	346	2,780E+06	8,036E+03		

## 5.3.2.2. Biomassa de raízes:

Neste caso não houve separação das idades das capoeiras por causa do pequeno número de amostras. Da mesma forma, a variável altura comercial foi retirada dos modelos testados. Os coeficientes de regressão,  $r^2$ ,  $s_{y,x}$  e erros ( $s_{y,x}\%$ ) são apresentados no quadro 5.24. As análises de variância são apresentadas no quadro 6.25 e as distribuições de resíduos na figura 5.13.

De acordo com as análises de variância, todos os modelos são altamente significantes ( $p < 0,0001$ ), mas os erros estão todos acima do limite de 10%. O melhor desempenho é da equação não linear de dupla entrada, modelo 6, com erro associado de 12,43%. Portanto, este é o modelo que poderia ser utilizado para estimar a biomassa de raízes grossas de árvores em pé em capoeiras com o mesmo histórico de uso do solo, destas utilizadas neste trabalho.

Quadro 5.24: Resumo das equações testadas para a biomassa de raízes grossas em capoeiras (14+23)

Equação	n	a	b	C	$r^2$	$S_{yx}$	$S_{y,x} (\%)$
1) $\ln PF = a + \ln D$	65	-3,5838	2,3268		0,70	0,94	12,74
2) $\ln PF = a + \ln D + c \ln HT$	65	-3,3807	2,4147	-0,1550	0,70	0,95	12,79
4) $\ln PF = a + b \ln D^2 H$	65	-4,6032	0,8809		0,68	0,99	13,37
5) $PF = a D^b$	65	0,0636	2,0797		0,71	0,92	12,51
6) $PF = a D^b HT^c$	65	0,3161	2,6492	-1,1207	0,72	0,92	12,43

Quadro 5.25: Análise de variância de regressão – biomassa de raízes – capoeiras (14 e 23 anos).

a)  $\ln PF = a + b \ln DAP$ 

Fontes de variação	GL	SQ	MQ	F	P
Regressão	1	54,75	54,75	153,57	0,0000
Resíduo	63	22,46	0,36		

b)  $\ln PF = a + b \ln DAP + \ln HT$ 

Fontes de variação	GL	SQ	MQ	F	P
Regressão	2	54,79	27,40	75,75	0,0000
Resíduo	62	22,42	0,36		

c)  $\ln PF = a + b \ln D^2 HT$ 

Fontes de variação	GL	SQ	MQ	F	P
Regressão	1	53,00	53,00	137,90	0,0000
Resíduo	63	24,21	0,38		

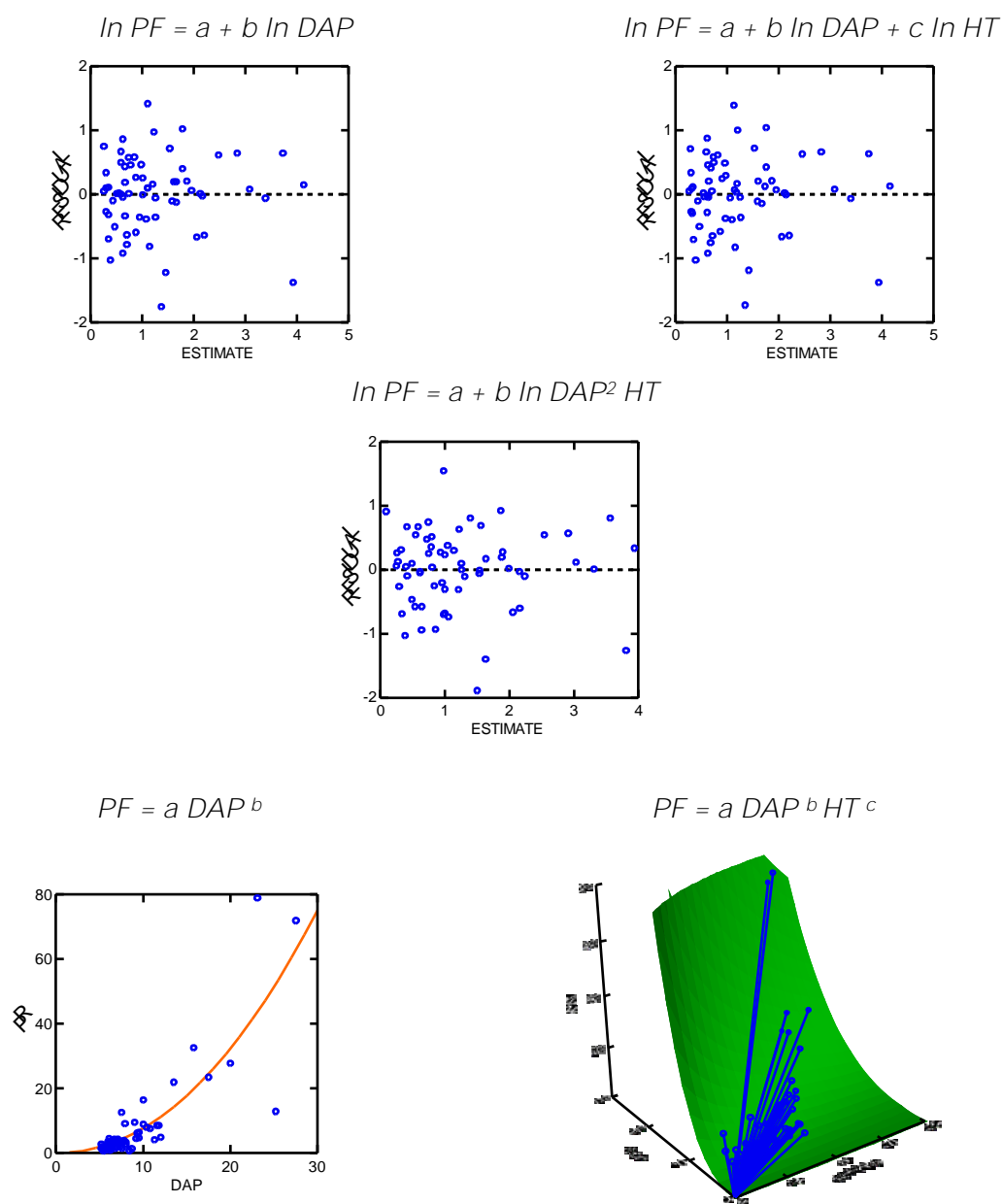
d)  $PF = a DAP^b$

Fontes de variação	GL	SQ	MQ	F	P
Regressão	2	12219,65	6109,82	109,89	0,0000
Resíduo	63	3502,87	55,60		

e)  $PF = a DAP^b HT^c$

Fontes de variação	GL	SQ	MQ	F	P
Regressão	3	12318,15	4106,05	74,78	0,0000
Resíduo	62	3404,40	54,91		

Figura 5.13: Distribuição de resíduos - Capoeira – raízes





#### 5.4. Incerteza da estimativa, erro e confiabilidade dos modelos:

##### 5.4.1. Incerteza:

Neste trabalho, a incerteza foi estimada de acordo com o conceito contido no novo guia para inventário nacional de emissões de gases de efeito estufa do IPCC (IPCC, 2006). As incertezas foram estimadas apenas para os estoques e mudanças de estoques. Isto foi feito dividindo a amplitude do intervalo de confiança (valor  $t$  ou  $z$  vezes o erro padrão da média) pela média da variável de interesse. No caso de modelos alométricos, apenas os erros em porcentagem foram estimados.

No presente estudo, a questão central é usar a incerteza para discutir a utilização do método direto ou o indireto para estimar o estoque de biomassa de uma floresta. No método direto, toda a biomassa existente em uma parcela fixa é pesada. A média é estimada dividindo a soma da biomassa de todas as parcelas pelo número total de parcelas. Por último, a incerteza é calculada em função da variabilidade entre as parcelas.

As incertezas foram altas (acima do limite de 10%) para todas as estimativas de estoques de biomassa da área estudada, exceto para a capoeira de 23 anos. Na floresta primária, tanto para a biomassa acima do solo como para as raízes e outras categorias de biomassa (mudas, palmeiras, cipós e serapilheira), as incertezas variaram de 18% a 89% - quadros 5.1, 5.2 e 5.4. Nas capoeiras, as incertezas variaram de 6% (biomassa acima do solo da capoeira de 23 anos) a 28,7%. Para adequar estas incertezas ao guia do IPCC, seria necessário aumentar o número de parcelas. Tratando-se de pesar árvores, aumentar a intensidade de amostragem não é tão simples e pode custar muito caro – v item 5.5. (intensidade de amostragem e custos).

Como os modelos alométricos testados apresentaram grande confiabilidade, o método indireto dever ser utilizado para estimar os estoques de biomassa. A coleta de dados por este método é 10.000 vezes mais rápida do que o direto (v. item 5.5.2.3). Além disso, as diferenças de estoques (exemplo, durante o período de compromisso do Protocolo de Quioto, de 2008 a 2012) só podem ser estimadas pelo método indireto. O método direto pode ser utilizado para a verdade de campo na obtenção das variáveis de interesse aos modelos alométricos. Portanto, as incertezas, segundo o guia do IPCC (2006), devem ser calculadas apenas para os inventários florestais.

#### 5.4.2. Erro e confiabilidade dos modelos:

##### 5.4.2.1. Erro dos modelos:

O erro em porcentagem ( $s_{y,x}\%$ ), na realidade, é um indicador de precisão do modelo. Quanto mais próximo de zero, mais preciso é o modelo. Como em inventários florestais, o limite de erro ou incerteza aceitável é de 10%; por analogia, neste trabalho, o erro (%) do modelo aceitável será considerado como 10% também. Os 7 modelos (4 logarítmicos e 3 não lineares) testados para biomassa acima do solo da floresta primária e das capoeiras e de raízes da primária, apresentaram erros dentro do limite aceitável. No caso de raízes das capoeiras, todos os modelos apresentaram erros superiores a 12%.

Estes erros foram calculados a partir da aplicação dos modelos aos dados observados, que será denominado de índice ZF2. A variável dependente de todos os modelos foi o ln PF. As variáveis independentes dos modelos 1, 2, 3 e 4 foram, respectivamente, ln DAP, ln DAP e ln HT, ln DAP e ln HC e ln D<sup>2</sup>HT, respectivamente. Depois de estimar ln PF de cada árvore, foi estimado o PF utilizando a fórmula  $e^{\ln PF}$ . As diferenças (ao quadrado) entre o observado e o estimado foram calculadas para cada par de valores – SQR (soma dos quadrados dos resíduos). A soma das diferenças ao quadrado foi dividida pelo número total de árvores menos o número de coeficientes de cada modelo (n-c) – MQR (quadrado médio dos resíduos ou variância). A raiz quadrada de MQR é o desvio padrão ou o erro padrão de estimativa do modelo (EPE). O erro padrão da média ( $s_{y,x}$ ) foi calculado da seguinte maneira:

$$S_{x*y} = \frac{EPE}{\sqrt{n}}$$

O  $s_{y,x}$  % que é apresentado para cada modelo nos quadros 5.15, 5.17, 5.19, 5.21 e 5.24 foi calculado dividindo  $s_{y,x}$  pela média e multiplicando por 100.

Como foram testados 4 modelos logarítmicos e 3 não lineares, as comparações foram inevitáveis. Desta forma, houve necessidade de calcular fatores de correção para os modelos logarítmicos. Inicialmente, os erros dos modelos logarítmicos foram corrigidos de acordo com Furnival (1961), Sprugel (1983) e Santos (1996). O índice utilizado por Santos (1996) é adotado pelo curso de Ciências Florestais da Universidade Federal de Viçosa. Nos três casos, o fator de correção é o exponencial ou anti-logaritmo da média dos valores transformados em logaritmos ou do erro ( $s_{y,x}\%$ ) e o erro corrigido é o erro estimado multiplicado por este fator.

Fatores de correção:

(i) Índice de Furnival:  $(EPE) * \exp (\Sigma \ln PF/n)$

(ii) Sprugel:  $(EPE) * \exp (EPE^2 / p)$ ; onde  $p$  = número de coeficientes

(iii) Santos:  $(EPE) * \exp (QMR/2)$ ; onde QMR = quadrado médio dos resíduos

Na prática, os índices utilizados por Sprugel (1983) e Santos (1996) produziram o mesmo resultado e, por esta razão, receberam a denominação de S-S. No quadro 5.26, além dos índices de Furnival e S-S, são apresentados também o EPE produzido de acordo com a metodologia deste trabalho (índice ZF2) e a magnitude da diferença entre as metodologias.

Quadro 5.26: Fatores de correções para modelos logarítmicos em diferentes categorias de biomassa.

Biomassa acima do solo (aérea) de floresta primária => n = 494								
	M	EPE	M ln	EPE ln	Furnival	Magn.	S-S	Magn.
modelo 1	809,6	1.374,7	5,04	0,3021	46,5	30	0,17	8307
modelo 2	809,6	757,0	5,04	0,2506	38,6	20	0,09	8511
modelo 3	809,6	1.320,6	5,04	0,2829	43,6	30	0,10	12927
modelo 4	809,6	690,9	5,04	0,2517	38,8	18	0,13	5153

M = média aritmética; EPE = erro padrão de estimativa = RAIZ(MQR); M ln = média dos dados em logaritmos; EPE ln = erro em logaritmo; Magn. = magnitude do EPE em relação ao EPE ln e S-S = índices utilizados por Sprugel (1983) e Santos (1996)

Biomassa de raízes grossas de floresta primária => n = 131								
	M	EPE	M ln	EPE ln	Furnival	Magn.	S-S	Magn.
modelo 1	125,4	80,0	3,09	0,4541	10,0	8	0,28	287
modelo 2	125,4	92,8	3,09	0,4522	9,9	9	0,28	335
modelo 3	125,4	88,0	3,09	0,4548	10,0	9	0,28	315
modelo 4	125,4	92,2	3,09	0,5195	11,4	8	0,34	271

Biomassa total (aérea + raízes grossas) de floresta primária => n = 131								
	M	EPE	M ln	EPE ln	Furnival	Magn.	S-S	Magn.
modelo 1	793,1	861,2	5,22	0,2677	49,7	17	0,14	5989
modelo 2	793,1	624,1	5,22	0,2399	44,5	14	0,13	4912
modelo 3	793,1	731,4	5,22	0,2624	48,7	15	0,14	5204
modelo 4	793,1	498,0	5,22	0,2487	46,2	11	0,13	3764

Biomassa acima do solo (aérea) de capoeira de 14 anos => n = 252								
	M	EPE	M ln	EPE ln	Furnival	Magn.	S-S	Magn.
modelo 1	119,6	83,4	4,04	0,4046	22,9	4	0,24	350
modelo 2	119,6	85,1	4,04	0,3803	21,5	4	0,22	387
modelo 3	119,6	84,6	4,04	0,4052	22,9	4	0,24	355
modelo 4	119,6	85,7	4,04	0,3798	21,5	4	0,22	391

Biomassa acima do solo (aérea) de capoeira de 23 anos => n = 341								
	M	EPE	M ln	EPE ln	Furnival	Magn.	S-S	Magn.
modelo 1	134,9	94,3	4,18	0,3647	23,8	4	0,21	453
modelo 2	134,9	86,1	4,18	0,3074	20,0	4	0,17	510
modelo 3	134,9	87,5	4,18	0,3598	23,4	4	0,20	427
modelo 4	134,9	86,4	4,18	0,3070	20,0	4	0,17	512

Biomassa de raízes grossas de capoeiras => n = 65								
	M	EPE	M ln	EPE ln	Furnival	Magn.	S-S	Magn.
modelo 1	7,4	7,6	1,25	0,5971	2,1	4	0,43	18
modelo 2	7,4	7,6	1,25	0,6014	2,1	4	0,43	18
modelo 3	7,4	8,0	1,25	0,6199	2,2	4	0,46	18

Estas estatísticas foram apresentadas para as seguintes categorias de biomassa: acima do solo de primária, de raízes de primária, total (aérea + raízes) de primária, acima do solo de capoeira de 14 anos, acima do solo de capoeira de 23 anos e de raízes de capoeiras (14 e 23 anos) juntas.

A magnitude da diferença entre o EPE corrigido pelo índice ZF2 e pelo de Furnival é de 4 a 30, ou seja, o índice ZF2 chega a ser 30 vezes maior do que o de Furnival. No caso do índice S-S, a magnitude é muito maior, variando de 18 a 12.927 vezes. Os dois índices apresentam correlações positivas ( $p = 0,85$  e  $p = 0,89$ , respectivamente, Furnival e S-S) e altamente significantes ( $p < 0,0001$ ) com as médias das diferentes categorias de biomassa. Estas diferenças indicam que os índices de Furnival e S-S tendem a corrigir, de fato, o EPE de pequenas árvores. Mesmo assim, há necessidade de considerar a variabilidade do conjunto de dados.

A variável  $\ln PF$  é uma variável dependente em análise de regressão, mas não tem o menor sentido no setor florestal porque a comunicação é feita com peso fresco (ou seco), mas jamais com  $\ln PF$ . O EPE apresentado no output de pacotes estatísticos é em relação ao  $\ln PF$ . O mais apropriado é apresentar o erro na forma do índice ZF2 e não como aparece no output do pacote estatístico.

#### 5.4.2.2. Confiabilidade dos modelos:

##### a) Floresta primária:

Segundo Shugart (1984), a confiabilidade (“reliability”) do modelo é avaliada para saber o quanto dos atributos do modelo são inerentes ao mundo real. Neste trabalho, a confiabilidade foi avaliada juntamente com a validação (“validation”) dos modelos desenvolvidos na ZF-2, em outro sítio (Tomé-açu). Os dados de Tomé-açu estão disponibilizados em Araújo *et al.* (1999). Estes dados foram coletados com a mesma metodologia empregada na ZF-2, exceto no caso da altura comercial que não foi registrada. Os modelos 1, 2, 4, 5 e 6, desenvolvidos para estimar a biomassa acima do solo de floresta primária, foram utilizados para estimar o peso fresco de cada árvore de Tomé-Açu.

Para validar e avaliar a confiabilidade dos modelos da ZF-2 foram montados 10 conjuntos de dados do total disponibilizado em Araújo *et al.* (1999). Cada conjunto foi constituído de 100 árvores selecionadas, aleatoriamente, de um total de 127 árvores. Os resultados estão apresentados no quadro 5.27.

No quadro 5.27(a) são apresentadas as diferenças entre os valores estimados e observados; sendo (+) quando sobreestimado e (-) quando subestimado. No quadro 5.27(b), estas diferenças são apresentadas sem os sinais, que dão uma melhor visão da consistência do modelo.

Quadro 5.27: Aplicação dos modelos desenvolvidos na ZF-2 em 10 conjuntos de dados (100 de 127) selecionados aleatoriamente do sítio de Tomé-Açu (TA) – diferenças (em %) entre os valores estimados e observados.

a) com os sinais das diferenças

conjunto	modelo 1	modelo 2	modelo 4	modelo 5	modelo 6
TA-1	17,63	9,58	7,85	-4,84	11,37
TA-2	15,54	7,43	5,71	-5,55	8,29
TA-3	-5,82	-7,80	-8,46	-7,75	-6,77
TA-4	-0,68	-5,00	-5,96	-0,65	-7,30
TA-5	-5,79	-10,40	-11,33	-0,08	-15,10
TA-6	24,06	14,51	12,58	4,53	13,15
TA-7	23,81	14,62	12,68	0,14	15,70
TA-8	-4,78	-7,60	-8,35	-6,26	-7,48
TA-9	19,40	10,55	8,67	-2,99	10,75
TA-10	-3,37	-7,01	-7,83	0,20	-9,59
média	8,00	1,89	0,55	-2,33	1,30

b) sem os sinais (valores absolutos)

conjunto	modelo 1	modelo 2	modelo 4	modelo 5	modelo 6
TA-1	17,63	9,58	7,85	4,84	11,37
TA-2	15,54	7,43	5,71	5,55	8,29
TA-3	5,82	7,80	8,46	7,75	6,77
TA-4	0,68	5,00	5,96	0,65	7,30
TA-5	5,79	10,40	11,33	0,08	15,10
TA-6	24,06	14,51	12,58	4,53	13,15
TA-7	23,81	14,62	12,68	0,14	15,70
TA-8	4,78	7,60	8,35	6,26	7,48
TA-9	19,40	10,55	8,67	2,99	10,75
TA-10	3,37	7,01	7,83	0,20	9,59
média	12,09	9,45	8,94	3,30	10,55
IC 95%	5,53	1,96	1,54	1,78	2,01

Dos modelos testados, os modelos 2, 4 e 5 estão dentro do limite de 10%. O mais confiável é o modelo 5 (PF = a DAP<sup>b</sup>), que apresenta uma diferença média entre estimado e observado de 3,3% ± 1,8 (IC 95%). Em 70% dos conjuntos de dados, este modelo subestima o peso fresco (de -0,08% a -7,75%). No restante, 30%, a amplitude da diferença é de +0,2% a +4,5%.

É sempre recomendável não perder de vista que em inventários florestais apenas uma parte da população é amostrada. Se fossem utilizadas todas as possíveis combinações do conjunto de amostras do inventário, a tendência é ter a média estimada igual à média da população variando apenas o erro (maior a intensidade do conjunto, menor será o erro).

b) Capoeiras:

O seguinte modelo de Nelson *et al.* (1999) para espécies arbóreas (exceto *Cecropia*) foi utilizado nos arquivos de dados da capoeira de 14 e 23 anos,

$$\ln PS = -1,9968 + 2,4128 \ln D$$

onde: PS = peso seco em kg; D = DAP em cm e ln = logaritmo natural. O PS foi transformado em PF utilizando os teores de água iguais a 46,3% e 48,9%, respectivamente, das capoeiras de 14 e 23 anos. Isto foi feito para permitir a comparação com o valor verdadeiro (“true value”) das duas capoeiras e com as estimativas produzidas pelos modelos desenvolvidos em floresta primária e nas duas capoeiras.

As diferenças entre o valor verdadeiro e os estimados pelos diferentes modelos das capoeiras de 14 e 23 anos, são apresentadas no quadro 5.28. O modelo de Nelson *et al.* (1999) sobreestimou o valor verdadeiro em 7,2% e 7,9% das capoeiras de 14 e 23 anos, respectivamente. Esta sobreestimativa está dentro do limite aceitável de 10%. O modelo desenvolvido para a floresta primária apresenta uma ligeira tendência de diminuir a sobreestimativa de 38,1 para 33,9% conforme a capoeira fica mais velha. O melhor modelo é o modelo não linear desenvolvido com os dados das duas capoeiras (n = 601). Este modelo é o seguinte:  $PF = 0,3401 * DAP^{2,2943}$

Quadro 5.28: Confiabilidade de modelos para as capoeiras de 14 e 23 anos – diferença (%) entre o valor estimado e o valor verdadeiro.

Modelos testados	Capoeiras	
	capoeira de 14 anos	capoeira de 23 anos
Nelson <i>et al.</i> , (1999)	7,2	7,9
Logaritmo primária (n=494)	38,1	33,9
Logaritmo capoeira 14 anos	-11,5	-17,1
Logaritmo capoeira 23 anos	-0,6	-7,1
Não logaritmo 14 anos	-4,6	-5,7
Não logaritmo 23 anos	7,3	0,5
Logaritmo duas capoeiras	-5,3	-11,4
Não logaritmo duas capoeiras	2,8	-2,8

5.5. Intensidade de amostragem para o desenvolvimento de modelos alométricos e custos da coleta de dados de forma destrutiva:

O objetivo de combinar a análise de intensidade de amostragem (5.5.1.) e custos de coletas (5.5.2) é mostrar que o desenvolvimento de equações alométricas, baseado em verdades de campo, não é um privilégio de poucos. Dez quadrados de 100 m<sup>2</sup> são suficientes para obter uma intensidade de amostragem que garanta equações com erros dentro do limite aceitável de 10%. Considerando a biomassa total (acima do solo e de raízes), o custo para coletar 10 quadrados fica entre R\$ 78 mil a R\$ 113 mil.

Sem o valor verdadeiro (“true value”) fica muito difícil, senão impossível, trabalhar com erros e incertezas. Na literatura, há várias alternativas para desenvolver modelos sem o valor verdadeiro, derrubado e pesado. Há, por exemplo, o modelo de West *et al.* (1999), que indica que o modelo

$$M = a D^b$$

onde: M = massa seca acima do solo; D = DAP

tem o coeficiente *b*, praticamente, universal em biologia de acordo com a lei dos “quartos”. Mesmo sendo contestado por Kozlowski e Konarzewski (2004), Pilli *et al.* (2006) recomenda o modelo de West *et al.* (1999) para evitar qualquer coleta destrutiva.

5.5.1. Intensidade de amostragem em floresta primária:

A intensidade de amostragem é calculada com base na precisão desejada e na variabilidade dos dados. Ao fixar a precisão, o custo de coleta é liberado. A partir de um levantamento piloto, serão feitas amostragens até que a precisão fixada seja alcançada. Na prática, o custo é fixado e a precisão é estimada posteriormente. O importante é apresentar o erro associado à média da variável dependente.

Para este estudo específico, foram excluídas as duas equações que continham a altura comercial como variável independente. As demais foram aplicadas em conjuntos de dados de biomassa acima do solo da floresta primária. A comparação do erro (%) foi realizada entre os dados originais da ZF-2 (n = 494) e os demais conjuntos selecionados. Os desempenhos de cada conjunto de dados são apresentados no quadro 5.29 e ilustrados na figura 5.14.



Quadro 5.29: Erros (%) associados aos diferentes modelos aplicados em diferentes conjuntos de dados de biomassa acima do solo da floresta primária.

CONJUNTOS	modelo 1	modelo 2	modelo 4	modelo 5	modelo 6
ZF-2 (n = 494)	7,64	4,21	3,84	4,20	2,99
ZF+TA (n = 621)	7,74	8,46	4,84	3,56	2,90
RAIZES (n = 131)	10,56	7,48	6,59	4,20	3,93
SIMUL. 1 (n = 200)	9,81	5,91	5,47	3,71	3,88
SIMUL. 2 (n = 100)	21,08	9,53	8,82	7,21	5,18
SIMUL. 3 (n = 50)	18,02	9,84	10,62	7,27	6,91

SIMUL. = simulação

Modelo 1:  $\ln PF = a + b \ln D$

Modelo 2:  $\ln PF = a + b \ln D + c \ln HT$

Modelo 4:  $\ln PF = a + b \ln D^2 HT$

Modelo 5:  $PF = a D^b$

Modelo 6:  $PF = a D^b HT^c$

onde: PF = peso fresco em kg; D = DAP em cm; HT = altura total em m; a, b e c = coeficientes de regressão.

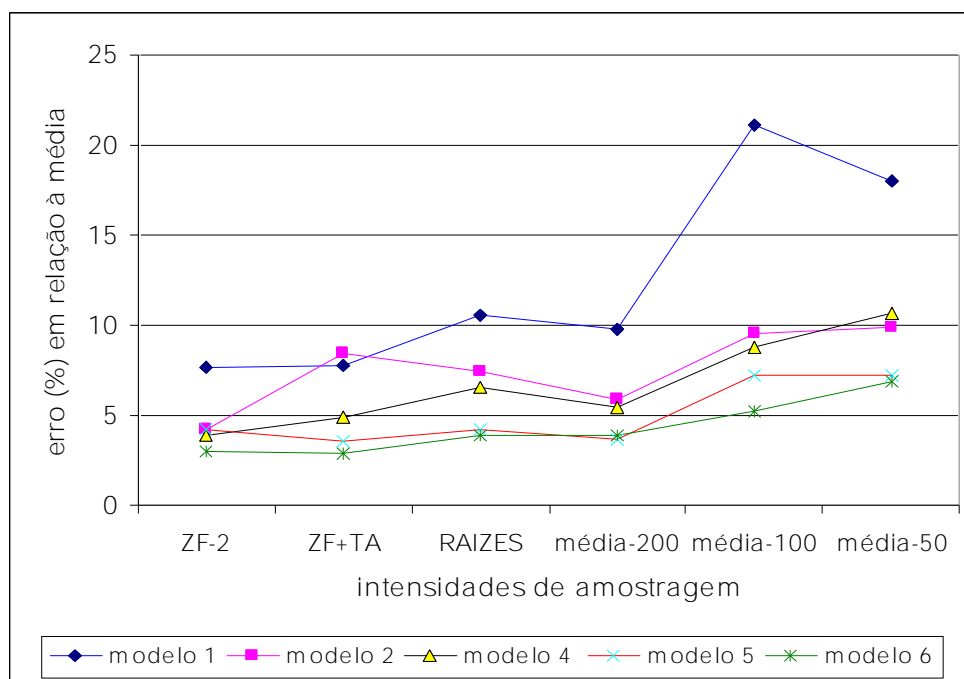


Figura 5.14: Erros (%) em relação à média das diferentes intensidades de amostragem.

Ao acrescentar os dados de Tomé-Açu aos da ZF-2, totalizando 621 árvores pesadas, os erros (%) associados aos modelos testados permanecem abaixo do limite aceitável de 10%. Do ponto de vista absoluto dos erros (%), os modelos 1, 2 e 4 perdem precisão em relação à ZF-2. O modelo 1 apresentou o pior desempenho; é susceptível à intensidade de amostragem e requer, no mínimo, 200 árvores.

Este mesmo modelo, em sua forma original como não linear (modelo 5) é o que apresenta o melhor desempenho. Como se trata de um modelo de simples entrada (apenas DAP como variável independente), o fator sítio tem que ser levado em consideração antes de sua aplicação. O modelo 2 e o modelo 6, não linear de dupla entrada, também apresentam bons desempenhos em todos os conjuntos de dados. Uma intensidade de amostragem de  $n = 50$  é suficiente para que estes três modelos produzam erros inferiores a 10%.

Os dados da biomassa acima do solo retirados do arquivo de raízes foram coletados em 11 quadrados de  $100 \text{ m}^2$ , aleatoriamente, distribuídos em uma área coberta por floresta primária. O número total de amostras-árvores dos 11 quadrados foi igual a 131. Exceto para o modelo 1, todos os demais modelos apresentaram erros abaixo do limite de 10%. A coleta de dados em parcelas fixas é mais prática do que a coleta individual de árvores. Com esta consideração, a utilização de 10 quadrados de  $100 \text{ m}^2$  cada pode ser suficiente para se ter uma intensidade de amostragem compatível com o limite de erro de 10%.

#### 5.5.2. Custos de coleta de dados em floresta primária:

Aqui, apenas os custos de coleta de campo são considerados, ou seja, não há custo de deslocamentos e nem de equipamentos. O estudo de biomassa é realizado na estação experimental do INPA. A base de cálculos para a coleta de biomassa é a seguinte: (i) um pesquisador (sem contar alunos de pós-graduação, bolsistas, estagiários etc.) e 8 auxiliares (contratados temporariamente); (ii) número de horas trabalhadas durante um mês é igual a 240; (iii) diária de R\$ 25 por auxiliar; (iv) despesas com alimentação e outros = R\$ 15; (v) custo diário da equipe = R\$ 320, sem considerar o pesquisador; (vi) câmbio em fevereiro de 2007, US\$ 1,00 = R\$ 2,10. No caso de inventário florestal comercial, em áreas não pertencentes ao INPA, o custo mensal da equipe é de R\$ 25.500.

5.5.2.1. Coleta de biomassa total (aérea + raízes) e apenas aérea – método direto (destrutivo):

Dos 11 quadrados de 100 m<sup>2</sup> cada, utilizados no estudo de biomassa de raízes, em 9 foram registrados os tempos de coletas. No quadro 5.30 são apresentados os custos de coletas de biomassa total (acima do solo e de raízes), por quadrado e por árvore. Estes custos foram de R\$ 9.600,00 ± 1.761,59 (IC 95%) e R\$ 805,26 ± 310,06 (IC 95%) por quadrado e por árvore, respectivamente.

Quadro 5.30: Custos de coleta de biomassa acima do solo e de raízes em quadrados de 100 m<sup>2</sup> – apenas trabalhos de campo em floresta primária.

quadrado	n	dias	CUSTOS POR		
			quadrado (R\$)	árvore (R\$)	árvore (US\$)
1	15	29	9.280,00	618,67	294,60
2	19	35	11.200,00	589,47	280,70
3	17	40	12.800,00	752,94	358,54
4	13	30	9.600,00	738,46	351,65
5	11	24	7.680,00	698,18	332,47
6	11	21	6.720,00	610,91	290,91
7	13	22	7.040,00	541,54	257,88
8	7	45	14.400,00	2.057,14	979,59
9	12	24	7.680,00	640,00	304,76
total	118	270	86.400,00	7.247,32	3.451,10
média	13	30	9.600,00	805,26	383,46
desvio	3,6	8,4	2696,37	474,59	226,00
IC 95%	2,3	5,5	1761,59	310,06	147,65

Câmbio: 1 US\$ = R\$ 2,10

No quadro 5.31 são apresentados os custos de coletas considerando apenas a biomassa acima do solo em 5 quadrados de 400 m<sup>2</sup> cada.

Quadro 5.31: Custos de coleta de apenas biomassa acima do solo em quadrados de 400 m<sup>2</sup> – apenas trabalhos de campo em floresta primária.

quadrado	n	dias	CUSTOS POR		
			quadrado (R\$)	árvore (R\$)	árvore (US\$)
1	57	5	1.600,00	28,07	13,37
2	61	4	1.280,00	20,98	9,99
3	64	4	1.280,00	20,00	9,52
4	46	5	1.600,00	34,78	16,56
5	65	7	2.240,00	34,46	16,41
total	293	25	8.000,00	138,30	65,86
média	58,6	5	1.600,00	27,66	13,17
desvio	7,7	1,2	391,92	7,08	3,37
IC 95%	6,7	1,1	343,53	6,20	2,95

A aquisição de informações de coleta, considerando apenas a biomassa acima do nível do solo, é bem mais barato e mais rápido do que quando a biomassa de raízes é incluída. Os custos foram de R\$ 1.600,00  $\pm$  343,53 (IC 95%) e R\$ 13,17  $\pm$  2,95 (IC 95%) por quadrado e por árvore, respectivamente.

#### 5.5.2.2. Inventários florestais comerciais no Amazonas – método indireto:

Nos 5 inventários considerados nesta avaliação, os contratos foram de um mês de trabalho de campo, incluindo deslocamentos. A equipe foi composta de 2 engenheiros florestais, 2 técnicos nível médio e 11 auxiliares (mateiros, coletores de material botânico, abridores de picada e cozinheiro). O custo mensal da equipe de inventário do INPA é de R\$ 23.100,00. Este estudo é baseado em 5 inventários realizados nos seguintes sítios: Resex do Juruá, MIL Madeireira em Itacoatiara, ST-Manejo Florestal em Lábrea, área experimental da Embrapa na BR-174 e na Floresta Estadual de Maués, conforme descrito no quadro 5.32. Em todos estes inventários, o tamanho da unidade amostral foi de 20 por 125 m, totalizando 2.500 m<sup>2</sup>.

Quadro 5.32: Custo de coleta de dados de inventários florestais (IF) comerciais realizados pelo INPA em diferentes sítios no Estado do Amazonas.

SÍTIOS	área IF (m <sup>2</sup> )	nº de amostras	R\$ / amostra
Resex do Juruá	180.000	72	354,17
MIL Madeireira	270.000	108	236,11
ST-Manejo Florestal	220.000	88	289,77
Embrapa BR-174	140.000	56	455,36
Floresta Estadual de Maués	180.000	72	354,17
média	198.000	79	337,91
desvio	49.193	20	82,16
IC (95%)	43.119	17	72,02

Tamanho da amostra: 20 x 125 = 2.500 m<sup>2</sup> (Higuchi *et al.*, 1982)

O custo por amostra foi de R\$ 337,91  $\pm$  72,02 (IC 95%). No Estado do Amazonas não há registros de custos de inventário florestal na literatura. Portanto, os custos de coleta do INPA podem ser utilizados como referência, desde que considere que esta equipe é composta, majoritariamente, por funcionários públicos federais. Além disso, esta equipe inclui dois especialistas em coletas de material para identificação botânica.

5.5.2.3. Método direto *versus* método indireto:

Os resultados das comparações, do ponto de vista de tempo de coleta, entre os métodos direto e indireto são apresentados no quadro 5.33. Para estimar o tempo sob o método direto, foram utilizados dois arquivos: (i) biomassa total (acima do solo + raízes) em 9 quadrados de 100 m<sup>2</sup> cada e (ii) apenas biomassa acima do solo em 5 quadrados de 400 m<sup>2</sup> cada. O método indireto foi composto por 5 inventários florestais realizados em diferentes sítios no Estado do Amazonas. A base para o cálculo de tempo em minutos foi uma área de 100 m<sup>2</sup>.

O tempo médio de coleta de biomassa total foi de 14.400 minutos e da parte aérea (apenas) foi de 600 minutos por 100 m<sup>2</sup>. O tempo de coleta de inventário florestal (método indireto) variou de 0,71 a 4,26 minutos por 100 m<sup>2</sup>. A magnitude da diferença de tempo entre a coleta de biomassa total e de inventário florestal variou de 3.384 a 18.126, com média de 12.266 vezes. A magnitude entre coleta de biomassa aérea e de inventário florestal variou de 141 a 840 vezes, com média de 511 vezes.

Quadro 5.33: Comparação entre tempo de coleta (em minutos) por 100 m<sup>2</sup> de biomassa (total e aérea) – método direto (destrutivo) e de inventário florestal comercial – método indireto, em floresta primária.

Variáveis	Inventários florestais comerciais					Biomassa	
	Juruá	MIL	Lábrea	Embr.	Maués	total	Aérea
área total (m <sup>2</sup> )	180 mil	270 mil	220 mil	140 mil	180 mil	900	2.000
área amostra (m <sup>2</sup> )	15.000	16.875	20.000	10.000	30.000	100	400
minutos/amostra	184	121	363	426	238	14.400	2.400
desvio	22	22	79	53	44	4.045	588
IC 95%	104	11	47	27	36	2.642	515
minutos/100 m <sup>2</sup>	1,23	0,71	1,81	4,26	0,79	14.400	600
IC 95% 100 m <sup>2</sup>	0,70	0,06	0,23	0,27	0,12	2.642	150
magnitude (total)	<i>11.713</i>	<i>20.166</i>	<i>7.944</i>	<i>3.384</i>	<i>18.126</i>		
magnitude (aérea)	<i>488</i>	<i>840</i>	<i>331</i>	<i>141</i>	<i>755</i>		

Obs.: tempo apenas de coleta, sem considerar deslocamentos.

Estes resultados reafirmam a estratégia de usar o método direto apenas para coletar as variáveis necessárias para o desenvolvimento de equações alométricas. O limite de erro aceitável de 10% das equações alométricas pode ser alcançado com uma intensidade de amostragem superior a 100 árvores – item 5.5 (intensidade de amostragem). Estas árvores podem ser encontradas em, aproximadamente, 10 quadrados de 100 m<sup>2</sup> cada. No entanto, para

alcançar as incertezas associadas às estimativas de estoques em parcelas fixas, dentro do limite de 10%, serão necessárias mais 61 parcelas – v. 5.2.1.1. (estoques de biomassa).

A melhor opção é encontrar uma equação alométrica adequada e confiável para estimar o estoque de biomassa de parcelas fixas de inventário florestal. A prioridade é ter equações próprias para cada sítio ou projeto. Neste caso, equações de simples entrada (apenas o DAP como variável independente) podem ser desenvolvidas com um conjunto de, aproximadamente, 100 árvores derrubadas e pesadas. Na ausência de equações próprias, a recomendação é utilizar equações de dupla entrada (DAP e altura total como variáveis independentes) desenvolvidas em outras regiões.

5.6. Estimativas de estoques – acima do nível do solo apenas - de biomassa e diferença de estoques:

a) Floresta manejada:

O modelo 5,  $PF = 2,2737 \text{ DAP}^{1,9156}$  (onde PF = peso fresco em kg e DAP = diâmetro à altura do peito em cm), foi utilizado para estimar o peso individual de todas as árvores com DAP  $\geq 10$  cm, que ocorrem nas parcelas permanentes do experimento de manejo florestal do INPA – BIONTE. Os pesos frescos foram estimados para os seguintes anos: 1990, 1995, 2000 e 2005. Os resultados desta análise estão apresentados no quadro 6.34(a) onde os incrementos estão descritos de 5 em 5 anos de cada repetição do tratamento.

Os incrementos médios de cada período de 5 anos, os incrementos médios de cada tratamento e o incremento periódico anual (IPA) de cada repetição e de cada tratamento. Os IPAs dos tratamentos T0, T1, T2 e T3 foram, respectivamente, 2,85 t/ha/ano, 7,85 t/ha/ano, 8,33 t/ha/ano e 8,45 t/ha/ano.

A análise de variância de parcelas repetidas, entre objetos, mostra que há fortes indícios que os tratamentos sejam diferentes estatisticamente – quadro 6.34(b). O teste post hoc de Bonferroni mostrou que o IPA da testemunha é muito diferente ( $p < 0,001$ ) dos tratamentos de corte (T1, T2 e T3). No caso de parcelas repetidas, a inferência é realizada com o fator que produzir o menor valor; neste caso é o Greenhouse-Geisser Epsilon (G-G). Neste caso, o teste mostrou que há fracas evidências ( $p = 0,14$ ) para afirmar que o incremento de cada tratamento, com o passar do tempo, seja diferente. Da mesma maneira, o G-G indica também que são fracas ( $p = 0,205$ ) que as interações IPA x tratamentos existam.

Quadro 5.34: Incrementos periódicos em biomassa acima do solo (peso fresco em t/ha) de diferentes tratamentos de um experimento de manejo florestal, nos períodos de 1990 a 1995, 1995 a 2000 e de 2000 a 2005. Incremento líquido incluindo balanço entre entrada via recrutamento e saída via mortalidade.

a) Estatísticas descritivas

Tratamentos	1995-1990	2000-1995	2005-2000	média/trat	IPA
Testemunha	39,87	8,55	-1,88	15,51	3,10
Testemunha	35,01	6,95	0,10	14,02	2,80
Testemunha	5,10	23,76	10,83	13,23	2,65
média/período	26,66	13,09	3,02	14,25	2,85
Corte leve	37,30	34,66	36,91	36,29	7,26
Corte leve	-3,68	20,30	53,84	23,49	4,70
Corte leve	60,17	62,76	51,21	58,05	11,61
média/período	31,26	39,24	47,32	39,27	7,85
Corte intermediário	37,33	16,35	44,37	32,69	6,54
Corte intermediário	66,21	39,79	39,82	48,61	9,72
Corte intermediário	51,90	24,00	55,21	43,70	8,74
média/período	51,81	26,72	46,47	41,67	8,33
Corte pesado	58,20	46,38	62,74	55,77	11,15
Corte pesado	50,52	40,18	16,43	35,71	7,14
Corte pesado	42,74	32,41	30,57	35,24	7,05
média/período	50,49	39,66	36,58	42,24	8,45

Testemunha = T0; corte leve = T1; corte intermediário = T2; corte pesado = T3 e IPA = incremento periódico anual em t/ha/ano

b) Análise de variância de parcelas repetidas.

Entre objetos:

Fontes de variação	GL	SQ	MQ	F	P
Tratamentos	3	5268,4	1756,1	5,42	0,025
Resíduos	8	2592,8	324,1		

Dentro dos objetos

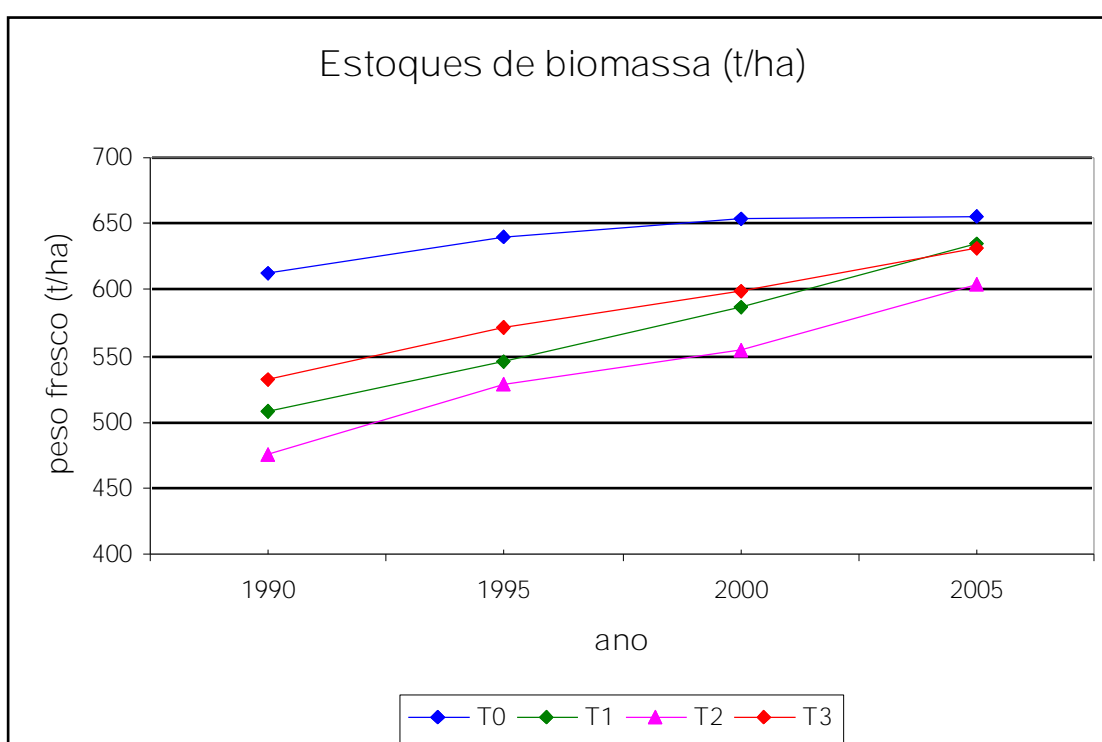
Fontes de variação	GL	SQ	MQ	F	p	G-G	H-F
Incrementos (IPA)	2	791	395	2,39	0,124	0,140	0,124
IPA x tratamentos	6	1707	284	1,72	0,181	0,205	0,81
Resíduos	16	2649	165				

Greenhouse-Geisser Epsilon = 0,7687

Huynh-Feldt Epsilon = 1,0000

A figura 5.15 ilustra a dinâmica desta floresta manejada experimentalmente, durante o período de 1990 a 2005. As áreas manejadas continuam em processo de recuperação da biomassa perdida durante a exploração seletiva de madeira.

A testemunha (T0) acumulou mais de 42 t de biomassa acima do solo ao longo de 15 anos de observações anuais. Dos 4 tratamentos, o T1 (corte leve) é que tem o melhor desempenho (Figura 5.15). O seu incremento continua ascendente (Figura 5.16), dezoito anos depois da intervenção e, do ponto de vista absoluto, já superou o estoque do T3 (corte pesado)



T0 = testemunha; T1 = exploração leve; T2 = exploração média; T3= exploração pesada.

Figura 5.15: Dinâmica da biomassa acima do nível do solo (peso fresco em t/ha) em uma área manejada experimentalmente em Manaus (AM), de 1990 a 2005.



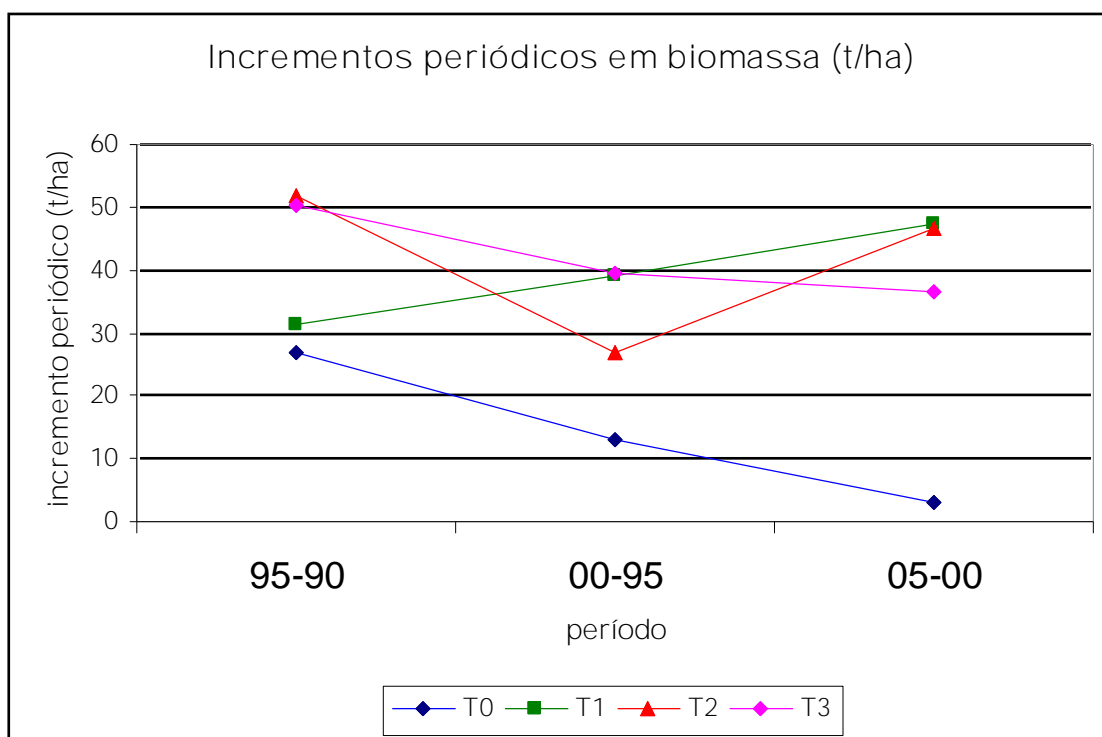


Figura 5.16: Incremento em biomassa (peso fresco em t/ha) dos diferentes tratamentos nos períodos de 1990

Em termos de carbono, os IPAs dos tratamentos T0, T1, T2 e T3 foram, respectivamente, 0,81 t/ha/ano, 2,22 t/ha/ano, 2,36 t/ha/ano e 2,39 t/ha/ano. Segundo Phillips *et al.* (1998), a produtividade de florestas primárias era de 0,62 t/ha/ano  $\pm$  0,37. Portanto, estas testemunhas apresentaram desempenhos correspondentes aos da média amazônica.

Do ponto de vista de acumulação de carbono na vegetação, os tratamentos de corte são iguais (Bonferroni,  $p > 0,999$ ). No entanto, no caso de manejo florestal será necessário observar quais são as espécies que estão acumulando mais carbono. Este tipo de análise foi realizado em uma tese de doutorado do curso de Ciências de Florestas Tropicais do INPA (Pinto, 2006).

Aqui, o objetivo principal era ilustrar como aplicar as equações alométricas em projetos sob a chancela do Protocolo de Quioto. O número de repetições é muito pequeno. Para efeito de exercício, os tratamentos de corte juntos produziram uma incerteza de 13,5%, ficando acima do limite aceitável de 10%. Quando os tratamentos foram considerados, individualmente, as incertezas variaram de 22 a 26%. O ideal é ter mais repetições com parcelas menores (1/4 ha é suficiente, segundo Higuchi *et al.*, 1982). Da mesma maneira, é

preciso rever o inventário florestal contínuo utilizando apenas parcelas permanentes. O erro amostral pode ser melhorado com a combinação de permanentes com temporárias em cada ocasião de medição.

O quadro 5.35(a) apresenta a decomposição do incremento periódico líquido de cada tratamento (intensidades de corte) nos períodos observados. Esta decomposição foi feita em relação ao peso fresco devido (tipo de PF) ao recrutamento, mortalidade, crescimento interno (árvores que estavam presentes no início e no fim do período observado). A análise de variância é apresentada no quadro 5.35(b).

Quadro 5.35: Decomposição do incremento líquido (peso fresco em  $t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ ) por tratamento dentro dos períodos observados.

a) Estatísticas descritivas:

Tipo de PF (devido)	período	T0	T1	T2	T3
Recrutamento	90-95	1,30	4,94	5,69	5,96
	95-00	0,94	5,90	4,10	7,05
	00-05	1,24	4,21	3,62	5,60
média tratamento		1,16	5,02	4,47	6,20
Mortalidade	90-95	4,45	7,65	5,80	6,46
	95-00	5,53	6,34	8,75	8,33
	00-05	8,53	4,85	4,57	8,22
média tratamento		6,17	6,28	6,37	7,67
Crescimento interno	90-95	8,48	8,96	10,47	10,60
	95-00	7,21	8,29	9,99	9,21
	00-05	7,89	10,11	10,24	9,93
média tratamento		7,86	9,12	10,23	9,91
Incremento líquido	90-95	5,33	6,25	10,36	10,10
	95-00	2,62	7,85	5,34	7,93
	00-05	0,60	9,46	9,29	7,32
média tratamento		2,85	7,85	8,33	8,45

PF = peso fresco em kg

b) Análise de variância: Tipo de PF por tratamento sem considerar o passar do tempo.

Fontes de variação	GL	SQ	MQ	F	P
Tipo de PF	3	154,6	51,5	24,44	0,0000
Tratamento	3	86,4	28,8	13,66	0,0000
Tipo x tratamento	9	35,4	3,9	1,87	0,0940
Resíduo	32	67,5	2,1		

O incremento líquido (quadro 5.34(a)) é a diferença entre o crescimento interno e o balanço entre a perda por mortalidade e o ganho pelo recrutamento. Os balanços entre

recrutamento e mortalidade, incluindo número de árvores de cada tratamento, são apresentados nos quadros 5.36, 5.37, 5.38 e 5.39.

Quadro 5.36: Biomassa (t/ha por período de 5 anos) acumulada via recrutamento e perdida via mortalidade – Testemunha (T0).

T0		Recrutamento			Mortalidade		
Variável	Rep	90-95	95-00	00-05	90-95	95-00	00-05
	1	33	20	29	17	32	33
n	2	19	14	26	22	26	30
	3	24	31	33	30	25	48
média		25	22	29	23	28	37
	1	11,2	10,5	11,4	16,4	21,9	25,0
DAP (cm)	2	11,2	10,8	11,2	18,9	19,3	24,5
	3	11,1	10,8	11,0	24,9	20,1	18,4
média		11,1	10,7	11,2	20,1	20,4	22,6
	1	7,73	4,37	6,81	11,80	29,44	48,63
PF (t/ha)	2	6,28	2,89	4,23	13,44	32,61	42,25
	3	5,51	6,78	7,53	41,53	20,84	37,01
média		6,51	4,68	6,19	22,26	27,63	42,63
média ano		1,30	0,94	1,24	4,45	5,53	8,53

Rep = repetição

Quadro 5.37: Biomassa (t/ha por período de 5 anos) acumulada via recrutamento e perdida via mortalidade – Corte leve (T1).

T1		Recrutamento			Mortalidade		
Variável	Rep	90-95	95-00	00-05	90-95	95-00	00-05
	1	78	77	89	36	30	34
n	2	79	100	103	68	43	37
	3	87	122	60	25	28	32
média		81	100	84	43	34	34
	1	12,4	11,9	11,6	21,5	20,3	20,2
DAP (cm)	2	12,2	11,9	11,6	20,5	22,2	16,2
	3	13,3	13,2	11,6	18,2	19,3	18,3
média		12,6	12,3	11,6	20,1	20,6	18,2
	1	22,54	20,31	22,25	35,23	26,59	29,58
PF (t/ha)	2	22,38	26,83	25,80	61,97	46,99	20,49
	3	29,24	41,29	15,08	17,55	21,47	22,69
média		24,72	29,48	21,04	38,25	31,68	24,25
média ano		4,94	5,90	4,21	7,65	6,34	4,85

Rep = repetição

Quadro 5.38: Biomassa (t/ha por período de 5 anos) acumulada via recrutamento e perdida via mortalidade – Corte intermediário (T2).

T2		Recrutamento			Mortalidade		
Variável	Rep	90-95	95-00	00-05	90-95	95-00	00-05
	1	76	60	55	32	32	21
n	2	133	102	92	34	40	64
	3	69	68	68	29	32	31
média		93	77	72	32	35	39
	1	12,9	11,7	11,3	22,4	25,5	18,9
DAP (cm)	2	12,8	12,1	11,6	19,0	20,8	17,1
	3	12,1	12,0	11,8	18,0	24,8	15,3
média		12,6	11,9	11,6	19,8	23,7	17,1
	1	24,14	15,45	13,08	38,43	49,89	15,79
PF (t/ha)	2	41,81	27,78	23,22	25,72	38,56	38,55
	3	19,36	18,33	18,04	22,79	42,77	14,24
média		28,44	20,52	18,11	28,98	43,74	22,86
média ano		5,69	4,10	3,62	5,80	8,75	4,57

Rep = repetição

Quadro 5.39: Biomassa (t/ha por período de 5 anos) acumulada via recrutamento e perdida via mortalidade – Corte pesado (T3).

T3		Recrutamento			Mortalidade		
Variável	Rep	90-95	95-00	00-05	90-95	95-00	00-05
	1	109	111	119	28	39	41
n	2	72	101	99	31	33	69
	3	106	138	89	30	44	49
média		96	117	102	30	39	53
	1	13,3	12,6	12,2	22,5	19,5	16,8
DAP (cm)	2	12,8	12,6	12,1	21,2	21,9	19,2
	3	12,3	12,5	11,7	24,2	23,2	20,8
média		12,8	12,6	12,0	22,6	21,5	18,9
	1	36,81	33,15	33,99	28,68	31,31	23,21
PF (t/ha)	2	22,28	31,85	27,20	31,66	34,56	52,07
	3	30,31	40,69	22,86	36,61	59,07	47,98
média		29,80	35,23	28,02	32,32	41,65	41,09
média ano		5,96	7,05	5,60	6,46	8,33	8,22

Rep = repetição

A análise de variância uni-variada indica fortemente ( $p < 0,0001$ ) que os tipos de PF são diferentes, assim como os tratamentos. No entanto, há fraca evidência ( $p = 0,094$ ) de que a interação entre tipo e tratamento seja importante. As perdas pela mortalidade são, estatisticamente, iguais ( $p = 0,70$ ) em todos os tratamentos. No entanto, os ganhos de biomassa (PF) pelo recrutamento, assim como os PFs do crescimento interno e incremento líquido são significantes (teste-F,  $p < 0,03$ ). A testemunha (T0) foi o diferencial (teste-t) em relação aos tratamentos de corte (T1, T2 e T3). No caso do PF devido ao recrutamento, T0 é muito diferente dos T1 ( $p = 0,002$ ), T2 ( $p = 0,005$ ) e T3 ( $p = 0,0003$ ). Em relação ao crescimento interno, T0 é, praticamente, igual a T1 ( $p = 0,11$ ), mas há razoáveis evidências de haver diferenças entre T0 e T2 ( $p = 0,01$ ) e T0 e T3 ( $p = 0,03$ ). Os incrementos líquidos dos

tratamentos de corte são, estatisticamente, iguais ( $p > 0,99$ ); a maior diferença foi encontrada entre T0 e T3 ( $p = 0,06$ ).

O recrutamento nas parcelas testemunhas é muito menor do que nos tratamentos de corte. Isto acabou refletindo no incremento líquido deste tratamento, que foi menor que os demais tratamentos. No entanto, estas parcelas não sofreram intervenções e estão, fisicamente, separadas das parcelas exploradas a uma distância de 100 m. Estes resultados confirmam os resultados de Teixeira (2003), em relação a taxas de respiração do tronco, que questionou a distância entre T0 e os demais tratamentos. Segundo Kapos (1989), os efeitos ecofisiológicos da bordadura variam de 40 a 60 m em direção ao centro do fragmento florestal.

#### 5.7. Projeção da dinâmica da floresta – cadeia de transição probabilística de Markov

Esta técnica foi aplicada nas 3 repetições do tratamento de corte de intensidade intermediária, T2, do experimento de manejo florestal do INPA. Isto foi realizado para ilustrar a aplicação deste método em áreas manejadas. Das árvores existentes, em 1995, na primeira classe de diâmetro, várias podem se manter na mesma classe, outras podem ser movidas para a segunda ou outra classe subsequente ou morrer, em 2000. Em 2000, foram consideradas também as árvores recrutadas para primeira ou outras classes subsequentes, que não foram registradas em 1995. A matriz de transição de um estado para outro foi montada para o período de 1995-2000. Esta matriz é apresentada no quadro 5.40.

Depois, foi calculada a probabilidade da movimentação de um estado para outro durante o período – quadro 5.41. Para projetar a matriz de probabilidade dois passos adiante, para 2005, a matriz do quadro 5.41 foi elevada ao quadrado – quadro 5.42. As estimativas das frequências de cada classe foram obtidas pelo produto das probabilidades de cada classe e a frequência total de cada classe ou estado, observada em 2000 – quadro 5.43. Esta distribuição de frequência é sumarizada no quadro 5.44, com o número corrigido de recruta. Por último, a verificação da confiabilidade do modelo foi realizada com aplicação do teste- $\chi^2$ . O resultado deste teste é apresentado no quadro 5.45. O  $\chi^2$  calculado foi igual a 7,24; como foi bem menor do que o valor de tabela para  $\alpha = 0,05$  ( $\chi^2 = 19,68$ ) pode-se afirmar que a cadeia de Markov é eficiente na projeção da dinâmica da floresta manejada.

Quadro 5.40: Matriz (A) => transição do estado *i* para o estado *j* durante o período de 1995 e 2000.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
		R	10<15	15<20	20<25	25<30	30<35	35<40	40<45	45<50	50<55	55<60	60<65	>=65	PRÓX	M	TOT	
1	R		213	17													230	
2	10<15		508	96	7	1											39	651
3	15<20			254	64	4											20	342
4	20<25				164	41	1										9	215
5	25<30					106	37										9	152
6	30<35						69	23	1								11	104
7	35<40							53	14	2							5	74
8	40<45								38	13	1						1	53
9	45<50									19	3						5	27
10	50<55										13	3					2	18
11	55<60											4	2				2	8
12	60<65												4	2			1	7
13	>=65													5			1	6
14	PRÓX																	
15	M																	
16	TOT		721	367	235	152	107	76	53	34	17	7	6	7		105	1887	

Quadro 5.41: Matriz B (B1 e B2) – transição probabilística do estado  $i$  para o estado  $j$  durante o período de 1995 e 2000.

	R	10<15	15<20	20<25	25<30	30<35	35<40	40<45	45<50	50<55	55<60	60<65	>=65	pró x	M
R	0	0,9261	0,0739	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10<15	0	0,7803	0,1475	0,0108	0,0015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0599
15<20	0	0	0,7427	0,1871	0,0117	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0585
20<25	0	0	0	0,7628	0,1907	0,0047	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0419
25<30	0	0	0	0	0,6974	0,2434	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0592
30<35	0	0	0	0	0	0,6635	0,2212	0,0096	0	0	0	0	0	0	0,1058
35<40	0	0	0	0	0	0	0,7162	0,1892	0,0270	0	0	0	0	0	0,0676
40<45	0	0	0	0	0	0	0	0,7170	0,2453	0,0189	0	0	0	0	0,0189
45<50	0	0	0	0	0	0	0	0	0,7037	0,1111	0	0	0	0	0,1852
50<55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,7222	0,1667	0	0	0	0,1111
55<60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5000	0,2500	0	0	0,2500
60<65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5714	0,2857	0	0,1429
>=65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,8333	0	0,1667
próx	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Quadro 5.42: Matriz C ou [ B ]<sup>2</sup> – transição probabilística dois passos adiante, até 2005.

	R	10<15	15<20	20<25	25<30	30<35	35<40	40<45	45<50	50<55	55<60	60<65	>=65	próx	M	tot
R	0	0,7227	0,1915	0,0238	0,0023	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0598	230
10<15	0	0,6089	0,2246	0,0442	0,0060	0,0004	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0559	612
15<20	0	0	0,5516	0,2817	0,0525	0,0037	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0520	322
20<25	0	0	0	0,5818	0,2784	0,0531	0,0010	0,0000	0	0	0	0	0	0	0,0437	206
25<30	0	0	0	0	0,4863	0,3313	0,0538	0,0023	0	0	0	0	0	0	0,0670	143
30<35	0	0	0	0	0	0,4402	0,3051	0,0551	0,0083	0,0002	0	0	0	0	0,0853	93
35<40	0	0	0	0	0	0	0,5130	0,2711	0,0848	0,0066	0	0	0	0	0,0570	69
40<45	0	0	0	0	0	0	0	0,5141	0,3485	0,0544	0,0031	0	0	0	0,0610	52
45<50	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4952	0,1584	0,0185	0	0	0	0,1427	22
50<55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5216	0,2037	0,0417	0	0	0,1219	16
55<60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2500	0,2679	0,0714	0	0,1607	6
60<65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3265	0,4014	0	0,1293	6
>=65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,6944	0	0,1389	5
próx	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	



Quadro 5.43: Matriz D – Cálculo das frequências esperadas de cada classe ou estado

	10<15	15<20	20<25	25<30	30<35	35<40	40<45	45<50	50<55	55<60	60<65	>=65	próx	M
R	166,21	44,04	5,47	0,53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13,75
10<15	372,66	137,45	27,04	3,70	0,26	0	0	0	0	0	0	0	0	34,22
15<20	0	177,61	90,72	16,91	1,20	0	0	0	0	0	0	0	0	16,73
20<25	0	0	119,86	57,36	10,93	0,21	0,01	0	0	0	0	0	0	9,01
25<30	0	0	0	69,54	47,37	7,70	0,33	0	0	0	0	0	0	9,59
30<35	0	0	0	0	40,94	28,38	5,13	0,78	0,02	0	0	0	0	7,93
35<40	0	0	0	0	0	35,39	18,71	5,85	0,45	0	0	0	0	3,93
40<45	0	0	0	0	0	0	26,73	18,12	2,83	0,16	0	0	0	3,17
45<50	0	0	0	0	0	0	0	10,89	3,49	0,41	0	0	0	3,14
50<55	0	0	0	0	0	0	0	0	8,35	3,26	0,67	0	0	1,95
55<60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,50	1,61	0,43	0	0,96
60<65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,96	2,41	0	0,78
>=65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,47	0	0,69
próx	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
tot	538,88	359,10	243,09	148,04	100,69	71,68	50,91	35,64	15,13	5,33	4,23	6,31	0,00	105,86

Quadro 5.44: Freqüências esperadas (E) para 2005 incluindo ajustes feitos para o recrutamento (R)

estado	projeção	recruta	E(2005)
10<15	179,63	53,07	232,69
15<20	119,70	5,54	125,24
20<25	81,03		81,03
25<30	49,35		49,35
30<35	33,56		33,56
35<40	23,89		23,89
40<45	16,97		16,97
45<50	11,88		11,88
50<55	5,04		5,04
55<60	1,78		1,78
60<65	1,41		1,41
>=65	2,10		2,10
tot	584,96		626,67

Quadro 5.45: Comparação entre frequências observadas (O) e esperadas (E) em 2005 – base hectare.

estado	E(2005)	O(2005)	$\chi^2$
10<15	232,69	247,33	0,92144
15<20	125,24	134,33	0,659595
20<25	81,03	79,00	0,050895
25<30	49,35	53,67	0,37791
30<35	33,56	40,00	1,234157
35<40	23,89	24,67	0,025008
40<45	16,97	19,67	0,428554
45<50	11,88	12,33	0,017301
50<55	5,04	7,00	0,758853
55<60	1,78	3,67	2,010358
60<65	1,41	2,33	0,602909
65	2,10	2,67	0,151088
total	584,96	626,67	7,24

$$\chi^2_{0,10, 11 \text{ gl}} = 17,28 \quad \text{e} \quad \chi^2_{0,05, 11 \text{ gl}} = 19,68$$

## 6. CONCLUSÃO

A avaliação confiável do estoque e mudança de estoque de biomassa e carbono em florestas da Amazônia depende de métodos confiáveis e que estejam de acordo com o Guia do IPCC de 2006. Esta é a maior contribuição desta pesquisa. A metodologia utilizada neste trabalho, para a verdade de campo, alometria e monitoramento do carbono da vegetação, pode ser empregada em outros sítios da Amazônia. Informações sobre intensidade de amostragem, custos e incertezas devem ser utilizadas como referências para aperfeiçoar esta metodologia até chegar a um método padrão para a Amazônia.

Sob este aspecto demonstrou-se que o peso fresco total (biomassa acima do solo e raízes) de floresta primária, pode ser estimado utilizando modelos de simples entrada (diâmetro à altura do peito – DAP - como variável independente) e de dupla entrada (DAP e altura total). O de simples entrada produziu coeficientes de determinação ( $r^2$  em %) igual a 94% e o erro padrão de estimativa ( $s_{y,x}$  em %) igual a 3,9%; para o de dupla entrada, estes indicadores foram:  $r^2 = 95\%$  e  $s_{y,x} = 3,7\%$ . A variável altura total acrescentou muito pouco à precisão e confiabilidade do modelo de simples entrada. Uma nova variável como a densidade da madeira, por exemplo, teria também uma margem muito pequena para melhorar o desempenho do modelo de simples entrada. O desempenho do modelo de simples entrada demonstra que com apenas a medição do diâmetro (ou circunferência) com uma fita métrica de costureira é possível estimar, precisamente, o estoque de carbono da vegetação.

Os modelos alométricos foram também desenvolvidos, especificamente, para biomassa acima do solo, de raízes grossas e total (acima do solo + raízes). A mesma operação foi realizada para as capoeiras de 14 e 23 anos de idade, separadamente. Em todas as situações, foram definidos modelos para estimar a biomassa da árvore em pé. Outros indicadores como a distribuição dos resíduos e os custos foram também considerados para a escolha do melhor modelo.

Para esse tipo de prática metodológica o custo médio por árvore para coletar o peso fresco total (aérea e raízes) foi de R\$ 805,00  $\pm$  R\$ 310,00 (IC 95%); e considerando apenas a parte aérea, o custo médio por árvore foi de R\$ 27,00  $\pm$  R\$ 6,00 (IC 95%). Uma intensidade de amostragem de, aproximadamente, 100 árvores é suficiente para manter o limite de erro inferior a 10%. A coleta de dados, por meio do método

destrutivo, deve ser realizada utilizando-se de parcelas fixas de 10 x 10 m. Além dos pesos individuais das árvores, as parcelas fixas permitem a obtenção de relações importantes como: biomassa viva e morta; acima do solo e de raízes; contribuição de outros componentes da biomassa como palmeiras, cipós e mudas.

A dinâmica da floresta primária ou manejada ou de capoeiras pode ser avaliada utilizando-se as técnicas do inventário florestal contínuo. Com a utilização de parcelas temporárias ou permanentes é possível estimar o estoque e as diferenças de estoques com o passar do tempo. As projeções da dinâmica podem ser realizadas com a cadeia de transição probabilística de Markov, que, neste estudo, teve a sua eficiência comprovada. A matriz de transição foi montada para o período de 1995-2000 e projetada para um passo adiante, para 2005. Esta projeção foi comparada com as observações realizadas (true value) em 2005.

As capoeiras de diferentes idades: 14 e 23 anos, apresentaram os seguintes incrementos médios em biomassa fresca acima do solo: 10,8 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> e 10,6 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, respectivamente. A floresta primária manejada com os tratamentos testemunha, corte leve, médio e pesado indicou incrementos médios anuais de carbono iguais a 0,81 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>; 2,22 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>; 2,36 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> e 2,39 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, respectivamente. Isto significa que o manejo florestal tem favorecido a produtividade da floresta.

As mudanças climáticas globais precisam ser administradas com ações firmes. O Estado do Amazonas acaba de aprovar o Decreto nº 26.581 de 25/04/07, que determina critérios para o estabelecimento de política estadual voluntária de mudanças climáticas, conservação da floresta, eco-economia e de neutralização das emissões de gases causadores do efeito estufa e organiza outras providências. Do lado da pesquisa científica, quase ao mesmo tempo, esta tese é concluída e, em seguida, deverá ser submetida ao Poder Público. Esta tese poderá ser utilizada como ponto de partida para a implementação do Decreto Estadual.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, M.F. 1981. On Horn's markovian model of forest dynamics with particular reference to tropical forests. *Theoretical Population Biology*, 19:230-250.
- Alder, D. 1980. *Forest volume estimation and yield prediction*. V.2 – Yield Prediction. FAO Forestry Paper 22/2. 194 p.
- Anderson, T. W.; Goodman, L. A. 1957. Statistical inference about Markov chains. *Annals of Mathematical Statistics*, 28:89-110.
- Araújo, T.M. 1995. Investigação das taxas de dióxido de carbono gerado em queimadas na região amazônica. Tese de Doutorado, Unesp – Guaratinguetá. 212 p.
- Araújo, T. M.; Higuchi, N.; Carvalho Jr., J. A. 1999. Comparison of formulae for biomass content determination in a tropical rain forest in the state of Pará, Brazil. *Forest Ecology and Management*, v.117, p.43-52.
- Bierzuchudek, P. 1982. The demography of Jack-in-the-pulpit, a forest perennial that changes Sex. *Ecol. Monographs*, 52(4):333-351.
- Bionte (Biomassa e nutrientes florestais). 1997. *Relatório final*. INPA e DFID. 344p.
- Brasil, M.M.O. 1997. *Influência de extração seletiva e anelamento de espécies arbóreas na abundância e estrutura populacional de *Astrocaryum acaule* na Amazônia Central*. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Universidade Federal da Amazonas. Manaus, Amazonas, 81p.
- Brown, F.; Nepstad, D. C.; Pires, I. O.; Luz, L. M.; Alechandre, A. S. 1995. Carbon storage and land-use in extractive reserves, Acre, Brazil. *Environmental Conservation*, 19(4): 307-315.
- Brown, S.; Gillespie, A. J.; Lugo, A. E. 1989. Biomass estimation methods for tropical forest with applications to forest inventory data. *Forest Science*, 35(4):881-902.
- Brown, N.; Lugo, A. E. 1990. Tropical secondary forests. *J. of Tropical Ecology*, 6:1-32.
- Brown, S. e Lugo, A. 1992. Aboveground biomass estimates for tropical moist forests of the Brazilian Amazon. *Interciencia*, 17(1):8-18.

- Bruner, H.D.; Moser Jr., J. W. 1973. A Markov chain approach to the prediction of diameter distributions in uneven-aged forest stands. *Can.J.For.Res*, 3:409-417.
- Buogiorno, J.; Michie, B. C. 1980. A matrix model of uneven-aged forest management. *Forest Science*, 26:609-625.
- Cairns, M.A., Brown, S., Helmer, E.H. e Baumgardner, G.A. 1997. Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia*, 111: 1-11.
- Campos, J.C.C.; Leite, H.G. 2002. Mensuração florestal: perguntas e respostas. Editora UFV. Viçosa. 407p.
- Canadell, J. G.; Pitelka, L. F.; Ingram, J. S. I. 1996. The effects of elevated CO<sub>2</sub> concentration on plant-soil carbon below-ground – a summary and synthesis. *Plant & Soil*, 187(2):391-400.
- Carvalho Jr., J. A.; Santos, J. M.; Santos, J. C.; Leitão, M. M.; Higuchi, N. 1995. A tropical rainforest clearing experiment by biomass burning in the Manaus region. *Atmospheric Environment*, 29(17):2301-2309.
- Carvalho, J. O. P. de. 1997. Dinâmica de florestas naturais e sua implicação para o manejo florestal. (Embrapa-CNPq. *Documentos*, 34). Belém: p.41-55.
- Chave, J., Andalo, C. Brown, S., Cairns, M.A., Chambers, J.Q., Eamus, D., Folster, H., Fromard, F., Higuchi, N., Kira, T., Lescure, J.P., Nelson, B.W., Ogawa, H., Puig, H., Riera, B. e Yamakura, T. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145: 85-99.
- Chambers, J.Q., N. Higuchi e J.P. Schimel. 1998. Ancient Trees in Amazonia. *Nature*, 391:135-136.
- Chavel, A.; Lucas, Y.; Boulet, R. 1987. On the genesis of the soil mantle of the region of Manaus, Central Amazonia, Brazil. *Experientia*, 43: 234-241.
- Chiang, C. L. 1980. *An introduction to stochastic processes and their applications*. Robert E. Krieger Publ. Co., Huntington, New York.
- Clutter, J. L.; Fortson, J.C.; Pienaar, L. V.; Brister, G. H.; Bailey R.L.. 1983. *Timber management: A quantitative approach*. John Wiley and Sons, Inc. New York. 333p.
- Cochran, W.G. 1977. *Sampling Techniques*. John Wiley & Sons, 3<sup>rd</sup>. Edition. 428p.

- Coic, A., G. Vieira e L. Minette. 1990. Dégâts causés para l'exploitation forestière sur le dispositif ZF-2. Manaus. Bresil. Em: Atelier sur l'Aménagement et la Conservation de l'Écosystème Forestier Tropical Humide. pp.62-73.
- Draper, N.R.; Smith, H. 1966. *Applied Regression Analysis*. John Wiley & Sons, Inc. New York, EUA. 407p.
- Enright, N.; Ogden, J. 1979. Applications of transition matrix models in forest dynamics: *araucaria* in Papua New Guinea and *Nothofagus* in New Zealand. *Australian J. of Ecology*, 4:3-23.
- Fearnside, P.M.; Leal Filho, N.; Fernandes, F. M. 1993. Rainforest burning and the global budget: biomass, combustion efficiency, and charcoal formation in the Brazilian Amazon. *J. of Geophysical Research*, 98(D9):16733-16743.
- Fearnside, P. M. 1994. Biomassa das florestas amazônicas brasileiras. In: CVRD (ed.) *Emissão e seqüestro de CO2: uma nova oportunidade de negócios para o Brasil*. Rio de Janeiro. p. 96-124.
- Fearnside, P.M. 1996. Amazonian deforestation and global warming: carbon stocks in vegetation replacing brazil's amazon forest. *Forest Ecology and Management*, 80:21-34.
- Fearnside, P.M. 1997. Wood density for estimating forest biomass in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management*, 90: 59-87.
- Fearnside, P.M. e Guimarães, W.M. 1996. Carbon uptake by secondary forests in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management*, 80: 35-46.
- Ferguson, I.S. e J.W. Leech. 1978. Generalized Least Squares Estimation of Yield Functions. *Forest Science* 24:27-42.
- Ferraz, J; Otha, S. ; Salles, P. C. 1998. Distribuição dos solos ao longo de dois transectos em floresta primária ao norte de Manaus (AM). In: Higuchi, N.; Campos, M. A. A.; Sampaio, P. T. B.; Santos, J. dos. (eds). *Pesquisas Florestais para Conservação da Floresta e Reabilitação de Áreas Degradadas da Amazônia*, 111-143.
- Foster Brown, I.; Martinelli, L. A.; Wayt Thomas, W.; Moreira, M. Z.; Cid Ferreira, C. A.; Victoria, R. A. 1995. Uncertainty in the biomass of Amazonian forests: an example from Rondônia, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 75:175-189.



- Freitas, J. V. 1993. *Projeções da distribuição diamétrica de uma floresta tropical úmida de terra-firme com a utilização da cadeia de Markov*. Dissertação de mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Universidade Federal do Amazonas. Manaus-Amazonas.122p.
- Furnival, G.M. 1961. An index for comparing equations used in constructing volume tables. *Forest Science*, 7(4):337-341.
- Furtado, L.G.1997. *Amazônia: Desenvolvimento, sociodiversidade e qualidade de vida*. Belém: Universidade Federal do Pará. (Universidade e meio ambiente n. 9). NUMA, 165p.: il.
- Guimarães, W. M.; Mello-Ivo, W. 1997. Biomassa e nutrientes de raízes finas em área de exploração seletiva de madeira na Amazônia Central, Brasil. *In: INPA e DFID (eds.). Relatório Final BIONTE, 209-213.*
- Gurevitch, J.; Chester Jr., S.T. 1986. Analysis of repeated measures experiments. *Ecology*, 67(1):251-255.
- Higuchi, N., J. dos Santos e F.C.S. Jardim. 1982. Tamanho de parcela amostral para inventários florestais. *Acta Amazonica*, 12(1):93-103.
- Higuchi, N.; Jardim, F. C. S.; Santos, J. dos; Alencar, J. C. 1985a. Bacia 3 - Inventário diagnóstico da regeneração natural. *Acta Amazonica*, 15(1-2):199-233.
- Higuchi, N.; Jardim, F. C. S.; Santos, J.dos; Barbosa, A. P. 1985b. Bacia 3 - Inventário florestal comercial. *Acta Amazonica*, 15(3 e 4):327-369.
- Higuchi, N. 1987. *Short-term growth of an undisturbed tropical moist forest in the Brazilian Amazon*. Tese de Doutorado. MSU. 129p.
- Higuchi, N.; Santos, J. M. dos; Imanaga, M.; Yoshida, S. 1994. Aboveground biomass estimate for Amazonian dense tropical moist forests. *Mem.Fac.Agr. Kagoshima Univ.*, 30: 43-54.
- Higuchi, N.; Carvalho Jr., J. A. 1994. Fitomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia.*In: Companhia Vale do Rio Doce (ed.). Emissão e seqüestro de CO<sub>2</sub>: uma nova oportunidade de negócios para o Brasil*, Rio de Janeiro: 125-153.

- Higuchi, N., Santos, J. dos; Ribeiro, R. J.; Freitas, J. V.; Vieira, G.; Coic, A.; Minette, L. J. 1997. Crescimento e incremento de uma floresta amazônica de terra-firme manejada experimentalmente. *In: INPA e DFID (eds.). Relatório final do Bionte*, p. 89-132.
- Higuchi, N.; Santos, J. dos; Ribeiro, J. R.; Minette, L.; Biot, Y. 1998a. Biomassa da parte aérea da floresta tropical úmida de terra firme da Amazônia Brasileira. *Acta Amazonica*, 28 (2):153-166.
- Higuchi, N.; Santos, J. dos; Vieira, G.; Ribeiro, R. J.; Sakurai, S.; Ishizuka, M.; Sakai, T.; Tanaka, N.; Saito, S. 1998b. Análise estrutural da floresta primária do rio Cuieiras, ZF-2, Manaus-AM, Brasil. *In: Higuchi, N.; Campos, M. A. A.; Sampaio, P.T. B.; Santos, J. dos. (eds). Pesquisas florestais para a conservação da floresta e reabilitação de áreas degradadas da Amazônia*. UFAM. pp. 53-81.
- Higuchi, N. 2001. A Inserção do Amazonas no contexto da convenção do clima e Protocolo de Quioto. Apontamentos Didáticos.
- Higuchi, N., Santos, J., Sampaio, P.T.B., Marengo, R.A., Ferraz, J., Sales, P.C., Saito, M. e Matsumoto, S. 2003. Projeto Jacaranda Fase II: pesquisas florestais na Amazônia Central. Higuchi, N. (editora). 252p.
- Higuchi, N.; Chambers, J. Q.; Silva, R. P.da; Miranda, E. V. de; Santos, J. dos; Iida, S.; Pinto, A.C.M.; Rocha, R. M.; Souza, C. A. S. 2003. Uso de bandas metálicas e dendrômetros automáticos para a definição do padrão de crescimento individual das principais espécies arbóreas da floresta primária da região de Manaus, Amazonas, Brasil. *In: Higuchi, N.; Santos, J. dos; Sampaio, P.T.B.; Marengo, R.A.; Ferraz, J. (eds.). Projeto Jacaranda fase II: pesquisas florestais na Amazônia Central*. p. 55-68.
- Horn, H. S. 1975. Markovian properties of forest succession. *In: Cody, M.; Diamond, J. (eds.). Ecology and evolution of communities*. p.196-211. Harvard University Press. Cambridge, Mass.
- Husch, B.; Miller, C.I.; Beers, T.W. 1972. Forest Mensuration. The Ronald Press Company. New York. 410p.
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2002. Deflorestamento na Amazônia. Homepage: [www.inpe.br/Informacoes\\_Eventos/amz2000\\_2001/Pag-03.htm](http://www.inpe.br/Informacoes_Eventos/amz2000_2001/Pag-03.htm).

- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 1998. Projeto de Desflorestamento (PRODES)-Desflorestamento da Amazônia (1995-1997). Homepage: [www.inpe.br/Informacoes](http://www.inpe.br/Informacoes).
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2003. Good practice guidance for land use, land-use changes and forestry. Kanagawa, Japan, Institute for Global Environmental Strategies.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Em CD ou no site: [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch).
- Jackson, R.B.; Canadell, J.; Ehleringer Jr.; Mooney, H.A.; Sala, O.E.; Schulze, E.D. 1996. A global analysis of root distributions for terrestrial biomes. *Oecologia*, 108(3):389-411.
- Jardim, F.C.S. 1985. *Estrutura da floresta equatorial úmida da Estação Experimental de Silvicultura Tropical do INPA*. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/ Universidade Federal do Amazonas. Manaus, Amazonas.
- Jardim, F.C.S.; Hosokawa, R.T. 1986-87. Estrutura da floresta equatorial úmida da Estação Experimental de Silvicultura Tropical do INPA. *Acta Amazonica* 16/17(único):411-507.
- Kapos, V. 1989. Effects of isolation on the water status of forest patches in the Brazilian Amazon. *J. of Tropical Ecology*, 5: 173-185.
- Keller, M., Palace, M. e Hurtt, G. 2001. Biomass estimation in the Tapajós National Forest, Brazil: examination of sampling and allometric uncertainties. *Forest Ecology and Management*, 154: 371-382.
- Kira, T. 1987. Primary production and carbon cycling in a primeval lowland rainforest of Peninsular Malaysia. Em: *Tree crop physiology* (editado por M.R. Sethuraj e A.S. Raghavendra). Capítulo 6: 99-119.
- Klinge, H. e Rodrigues, W.A. 1973. Biomass estimation in a Central Amazonian rain forest. *Acta Cient. Venezolana*, 24: 225-237.
- Klinge, H. 1973. Biomasa y materia orgánica del suelo en el ecosistema de la pluviselva centro-amazónica. *Acta Cient. Venezolano*, 24:174-181.

- Kozłowski, J. e Konarzewski, M. 2004. Is West, Brown and Enquist's model of allometric scaling mathematically correct and biological relevant? *Functional Ecology*, 18: 283-289.
- Laurance, W.F.; Cochrane, M.A.; Bergen, S.; Fearnside, P.M.; Delamônica, P.; Barber, C.; D'Angelo, S.; Fernandes, T. 2001. The future of the Brazilian Amazon. *Science*, 291: 438-439.
- Lima, A.N. 2001. *Análise da estrutura e do estoque de fitomassa de florestas secundárias, resultantes de corte raso seguido de queimada, da região de Manaus (AM)*. Dissertação de mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Universidade Federal do Amazonas. Manaus, Amazonas. 71p.
- Loetsch, F., Zöhrer, F. e Haller, KE. 1973. Forest Inventory. BLV Verlagsgesellschaft, Munique. Volume II. 469p.
- Luizão, R. C. C.; Luizão, F.J.; Paiva, R. Q.; Monteiro, T. F.; Souza, L. S.; Kruijt, B. 2004. Variation of carbon and nitrogen cycling processes along a topographic gradient in Central Amazonian forest. *Global Change Biology*, 10: 592-600.
- MacDicken, K. G. 1990. Agroforestry management in the humid tropics. In: MacDICKEN, K.G., Vergara, M.T., (Eds.). *Agroforestry: classification and management*. New York, Wiley – Interscience: 98-149.
- Machado, S.A.; Figueiredo Filho, A. 2003. Dendrometria. Amaral & Figueiredo Filho (eds). Curitiba. 309p.
- MCT. 2004. Comunicação nacional inicial do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre mudança do clima. MCT. 274p.
- Miranda, E. V. *Padrão de desenvolvimento radial horário do fuste de três espécies florestais típicas da Amazônia utilizando dendrômetros automáticos*. 2002 Dissertação de mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Universidade Federal do Amazonas. Manaus, Amazonas. 75p.
- Moraes, J.L.; Cerri, C.C.; Melillo, J.M.; Kicklighter, D.; Neil, C.; Skole, D.L.; Steudler, P.A. 1995. Soil carbon stocks of the Brazilian Amazon Basin. *Soil Science Society of American Journal*, 59: 244-247.
- Morrison, D.F. 1976. *Multivariate statistical methods*. McGraw-Hill Inc. 415p.

- Miliken, G.A.; Johnson, D.E. 1984. *Analysis of Messy Data*. Volume I: Designed Experiments. Von Nostrand Reinhold Company. New York.
- Nelson, B.W.; Mesquita, R.; Pereira, J.L.; Souza, S.G.S.; Batista, G.T.; Couto, L.B. 1999. Allometric regressions for improved estimate of secondary forest biomass in the Central Amazon. *Forest Ecology and Management*, 117:149-167.
- Nepstad, D.C.; Carvalho, C.R. de; *et al.*1994. The Role of Deep Roots in the Hydrological and Carbon Cycles of Amazonian Forests and Pastures. *Nature*, 372(6507):666-669.
- Neter, J.; Wasserman, E. 1974. *Applied linear statistical models: regression, analysis of variance, and experimental designs*. Richard D. Irwin, Inc. Homewood, EUA. 842p.
- Niklas, K.J. 1994. *Plant Allometry: The Scaling of Form and Process*. The University of Chicago Press. Chicago. 395p.
- Overman, J. P. M.; Witte, H. J. L.; Saldarriga, J.G. 1994. Evaluation of Regression Models for Above-ground Biomass Determination in Amazonia Rainforest. *Forest Ecology and Management*, v.10, p.207-218.
- Peden, L.M.; Williams, J.S.; Frayer, W.E. 1973. A Markov model for stand projection. *Forest Science*, 19:303-314.
- Péllico Netto, S. e Brena, D.A. 1997. Inventário florestal. Editorado pelos autores. Volume 1, 316p.
- Phillips, O.L., Y. Malhi, N. Higuchi, W.F. Laurance, P.V. Núñez, R.M. Vásquez, S.G. Laurance, L.V. Ferreira, M. Stern, S. Brown e J. Grace. 1998. Changes in the carbon balance of tropical forests: evidence from long-term plots. *Science*, 282(5388):439-442.
- Pilli, R., Anfodillo, T. e Carrer, M. 2006. Towards a functional and simplified allometry for estimating forest biomass. *Forest Ecology and Management*, 237: 583-593.
- Pinto, A.C.M. 2006. Dinâmica de uma floresta de terra-firme manejada experimentalmente na região de Manaus (AM). Curso de pós-graduação em Ciências de Florestais do INPA. Tese de Doutorado.

- Porto, C. 2001. Modelos e cenários para a Amazônia: o papel da ciência. *Revista Parcerias Estratégicas*. Sato, E.; Pires, T.C.de. (eds.). MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia, (12): 185-213.
- Potvin, C.; Lechowicz, M.J.; Tardif, S. 1990. The Statistical Analysis of Ecophysiological Response Curves obtained from experiments involving repeated measures. *Ecology*, 71(4):1389-1400.
- Pires-O'Brien, M.J.; O'Brien, C.M. *Ecologia e modelamento de florestas tropicais*. Belém:FCAP. 400p, 1995.
- RADAM-BRASIL. 1978. *Programa de Integração Nacional*. Levantamento de Recursos Naturais. V.18 (Manaus) – RADAM (Projeto) DNPM, Ministério das Minas e Energia. Brasil. 626 p.
- RADAM-BRASIL.1978. *Levantamento de recursos naturais*. Geologia, Geomorfologia, 18: 17-530.
- Ribeiro, J.E.L. da S.; Hopkins, M.J.G.; Vicentini, A.; Sothers, C. A.; Costa, M. A. da S.; Brito, J. M. de; Souza, M.A. D. de; Martins, L.H. P.; Lohmann, L. G.; Assunção, P. A. C. L.; Pereira, E. da C.; Silva, C. F. da; Mesquita, M. R.; Procópio, L. C. 1999. *Flora da Reserva Ducke: Guia de identificação das plantas vasculares de uma floresta de terra-firme na Amazônia Central*. Manaus: INPA. 816p.
- Ribeiro, R.J.1996. *Estudos de função de forma para espécies florestais de terra-firme da Amazônia Central*. Dissertação de mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Universidade Federal do Amazonas. Manaus, Amazonas. 78p.
- Rocha, R.M. 2001. *Taxas de recrutamento e mortalidade da floresta de terra-firme da bacia do rio Cuieiras na região de Manaus (AM)*. Dissertação de mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Universidade Federal do Amazonas. Manaus, Amazonas. 49p.
- Salomão, R. P.; Nepstad, D.C.; Vieira, I. C. G. 1996. Como a biomassa de florestas tropicais influi no efeito estufa. *Ciência Hoje*, v.21, n.122, p. 38-47.
- Salomão, R.P., Nepstad, D. C. e Vieira, I. C. 1998. Biomassa e estoque de carbono de florestas tropicais primária e secundária. In: *Floresta Amazônica: Dinâmica, Regeneração e Manejo* (Gascon, C. e Moutinho, P. – editores): 99–119p.

- Sanquetta, C.R.; Watzlawick, L.F.; Corte, A.P.D.; Fernandes, L.A.V. 2006. Inventários florestais: planejamento e execução. Sanquetta et al. (eds). 270p.
- 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, Minas Gerais. 121 p.
- Shugart, H.H. 1984. *A theory of forest dynamics: the ecological forest succession models*. Springer-Verlag Inc. New York. 278p.
- Shugart, H.H.; West, D.C. 1981. Long-term dynamics of forest ecosystems. *Am. Scientist*, 69:647-652.
- Silva, R.P. da; Santos, J. dos; Tribuzy, E.S.; Chambers, J.Q.; Nakamura, S.; Higuchi, N. 2001. Diameter increment and growth patterns for individual trees growing in Central Amazon, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 166:295-301.
- Silver, W. L.; Neff, J.; McGrodooy, M.; Veldkamp, E.; Keller, M.; Cosme, R. 2000. Effects of soil texture belowground carbon and nutrient storage in lowland Amazonian forest ecosystem. *Ecosystem* 3: 193-209.
- Skole, D.; Tucker, C. 1993. Tropical deforestation and habitat fragmentation in the Amazon: satellite data from 1978 to 1988. *Science*, 260:1905-1910.
- Smith, V.G. 1983. Compatible Basal Area Growth and Yield Models Consistent with Forest Growth Theory. *Forest Science* 29:279-288.
- Sprugel, D.G. 1983. Correcting for bias in log-transformed allometric equations. *Ecology*, 64(1): 209-210.
- SOS Mata Atlântica. 2007. [http://www.florestasdefuturo.org.br/paginas/home.php?pg=emissao\\_co2\\_3](http://www.florestasdefuturo.org.br/paginas/home.php?pg=emissao_co2_3) (consulta realizada em 10/02/07).
- Sullivan, A.D. e J.L. Clutter. 1972. A Simultaneous Growth and Yield Model for Loblolly Pine. *Forest Science* 18:76-86.
- Summers, P.M.; Lewis, J.M.; Xavier, S.R.C.; Luizão, F. 1997. Estimativa da liteira grossa em floresta de terra-firme. In: INPA e DFID (eds.). *Relatório final do Bionte*. p.331-333.
- Teixeira, L.M. 2003. Influência da intensidade de exploração seletiva de madeira no crescimento e respiração do tecido lenhoso das árvores em uma floresta tropical de terra-firme na região de Manaus. Dissertação de mestrado, CFT-INPA. 59p.



- Telles, E. de C. C. 2002. *Dinâmica do carbono no solo influenciada pela textura, drenagem, mineralogia e carvões em florestas primárias na região centro-oriental da Amazônia*. Tese de Doutorado – Universidade de São Paulo. Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA. Estado de São Paulo, Piracicaba. 92 p.
- Uhl, C.; Buschbacher, R.; Serrão, E.A.S. 1988. Abandoned pastures in eastern Amazonia. *J. of Ecology*, 76:663-681.
- UNESCO-FAO-UNEP. 1978. *Tropical forest ecosystems: a state of knowledge report. Natural Resources, Research XIV*, Paris – UNESCO.
- Usher, M.B. 1966. A matrix approach to the management of renewable resources, with special reference to selection forests. *J. of Applied Ecology*, 3(2):355-367.
- Usher, M.B. 1969. A matrix model for forest management. *Biometrics*, June:309-315.
- Usher, M.B. 1979. Markovian approaches to ecological succession. *J. of Animal Ecology*, 48:413-426.
- Uribe, C. C. 1993. *Situación general de la conservación de la biodiversidad en la región amazónica: evaluación de las áreas protegidas propuestas y estrategias*. TCA, ZURRAPA, FAO, CEE, UICN. Quito. p 21.
- Vieira. G. 1996. *Gap dynamics in managed amazonian forest: structural and ecophysiological aspects*. Tese de Doutorado. Universidade de Oxford (Reino Unido). 162p.
- Viana, J. S.; Almeida, S.; Conceição, C.; Ferreira, E.; Alves, N.; Silva, R. 2003. Comparação estrutural e florística entre os ambientes de Terra-Firme e Igapó do entorno da Estação Científica Ferreira Penna – ECFPn. *In: Montag, L. F. de A.; Maschio, G. F. (eds.). Estação Científica Ferreira Pena – Dez anos de Pesquisa na Amazônia, Contribuições e Novos Desafios*. Belém, PA.
- Von Ende, C.N. 1993. Repeated-Measures Analysis: Growth and Other Time-Dependent Measures. *In: Design and Analysis of Ecological Experiments* (editado por S.M. Scheiner e J. Gurevitch). pp.113-137.
- Watzlawick, L.F., Balbinot, R., Sanquetta, C.R. e Caldeira, M.V.W. 2004. Teores de carbono em espécies da floresta ombrófila mista. Em: *Fixação de Carbono: atualidades, projetos e pesquisas* (editado por Sanquetta, C.R., Balbinot, R. e Ziliotto, M.A.B.), pp. 95-109.



- Weiss, N.; Hasset, M. 1982. *Introductory statistics*. Addison-Wesley Publishing Co., Reading, EUA. 651p.
- West, G.B., Brown, J.H. e Enquist, B.J. 1999. A general model for the structure and allometry of plant vascular systems. *Nature*, 400: 664-667.
- Zianis, D. e Mencuccini, M. 2004. On simplifying allometric analyses of forest biomass. *Forest Ecology and Management*, 187: 311-332.