

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA – INPA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM  
PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA TROPICAL E RECURSOS NATURAIS  
MESTRADO EM CIÊNCIAS DE FLORESTAS TROPICAIS

BIBLIOTECA DO INPA

Biomassa de árvores na Amazônia central: densidade de madeira,  
volume do fuste e ocorrência de oco

EULER MELO NOGUEIRA

Dissertação apresentada ao Programa Integrado de Pós-graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais do convênio INPA/UFAM, como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Ciências de Florestas Tropicais, na área de concentração em Manejo Florestal.

Manaus -- AM

2004

T  
634.92809811  
N778b

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA – INPA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM  
PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA TROPICAL E RECURSOS NATURAIS  
MESTRADO EM CIÊNCIAS DE FLORESTAS TROPICAIS

BIBLIOTECA DO INPA

Biomassa de árvores na Amazônia central: densidade de madeira,  
volume do fuste e ocorrência de oco

EULER MELO NOGUEIRA

ORIENTADOR: Dr. BRUCE WALKER NELSON

Dissertação apresentado ao Programa Integrado de Pós-graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais do convênio INPA/UFAM, como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Ciências Agrárias, na área de concentração em Ciências de Florestas Tropicais.

FONTE DE RECURSOS:

Bolsa de Produtividade em Pesquisa CNPq 523.102/96-8

Manaus – AM

2004

T

634.92809811

N7786

Nogueira, Euler M.

Biomassa de árvores na Amazônia central: densidade de madeira, volume do fuste e ocorrência de oco.

Manaus: INPA/UFAM, 2004

99 pp.

Dissertação de Mestrado: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Universidade Federal do Amazonas, 2004.

**Sinopse:**

Estudou-se a densidade de madeira de árvores da Amazônia central, a influência de formas não-circulares do fuste e a ocorrência de oco nas estimativas de volume de madeira.

**Palavras-chave:** densidade de madeira, gravidade básica específica, volume de madeira, morfologia do fuste, biomassa, Amazônia central.

**Key words:** wood density, basic specific gravity, wood volume, biomass, bole irregularities, central Amazon forest.

Dedico

A Deus, aos meus pais e irmãos.

## Agradecimentos

Ao Senhor Deus, criador do céu e da Terra.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia.

À CAPES, pelo auxílio financeiro.

Aos meus pais, José Anísio Nogueira e Lindaura M. Melo Nogueira; ao meu irmão Georgheton, juntamente com sua esposa Flávia e seu filho Georgheton; às minhas irmãs: Liliane, Dayana e Adonay. Vocês são exemplos fortes e amáveis.

Ao Dr. Bruce Walker Nelson, minha gratidão e reconhecimento: pela orientação e apoio exemplar, pela admirável dedicação e compromisso.

Ao Dr. José Francisco, Coordenador do Programa de Ciências de Florestas Tropicais (CFT-INPA), pela dedicação e doação cedida diariamente ao CFT-INPA, pelo apoio incansável, pela admirável visão de investir em pessoas e pela amizade.

Aos professores do Programa CFT-INPA, aos colegas de turma, pessoal de campo (Ailton, Lete e Preto) que de forma direta ou indireta tornaram possível este estudo.

Aos amigos, pessoas admiráveis, as quais sou muito grato. Entre muitos, obrigado ao Ulysses, Kelly, Ronaldo e Allan, colegas de república. Aos amigos da ABU-Manaus: Adailson, Rosane, Hérica e Hélio. Aos alunos da turma 2003 do CFT, aos colegas dos cursos de botânica e ecologia do INPA.

## Sumário

Lista de Figuras.....	7
Lista de Tabelas.....	9
Resumo.....	10
Abstract.....	11
1. Introdução Geral.....	12
2. Densidade de madeira em floresta densa na Amazônia central.....	16
3. Influência de irregularidades na morfologia do fuste e ocorrência de oco na estimativa volumétrica, cálculo do fator de forma e quociente de forma para árvores da floresta densa na Amazônia central.....	38
4. Conclusões.....	72
5. Referências Bibliográficas.....	73
6. Anexos.....	88

## Lista de Figuras

### 2. Densidade de madeira em floresta densa na Amazônia central

**Figura 1.** Variação da densidade ao longo do fuste (n=73, árvores com DAP = 5 a 122 cm). Onde: 1,36 m = densidade a altura do peito; topo = altura final do fuste; 33 e 66% = alturas intermediárias.....25

**Figura 2.** Diferentes tipos de densidade na altura do peito (~1,36m; caixa: mediana, 1º e 3ºquartis, amplitude dos dados; árvores com DAP ≥ 5 cm). 1 = Densidade básica do cerne; 2=Densidade básica do disco (cerne, alburno e casca) e 3=Densidade do cerne obtida por volume reidratado.....26

### 3. Influência de irregularidades na morfologia do fuste e ocorrência de oco na estimativa volumétrica, cálculo do fator de forma e quociente de forma para árvores da floresta densa na Amazônia central

**Figura 1.** Discos transversais de fustes de árvores encontradas na floresta densa da Amazônia central, com duas áreas: (1) presumindo que o DAP se refere a uma seção circular e (2) área corrigida para efeito de formas não-circulares e oco.....47

**Figura 2.** Comparação de medições de DAP quando utilizada fita métrica e presumida seção circular (DAP convencional), ou através da delimitação precisa da área da seção do fuste (DAP corrigido), eliminando efeito de forma não-circular da seção e de ocorrência de oco.....48

**Figura 3.** Correções para áreas de seção transversal do fuste na altura do peito e na altura final do fuste, quando eliminado efeito de forma não-circular, e ocos (DAP≥40 cm). Linha cheia corresponde aos valores ao nível do peito.....49

**Figura 4.** Ajuste do modelo descrito nas equações 06 e 07, plotado com o volume do fuste para todas as árvores, incluindo árvores com DAP≥80cm. A árvore indicada pela seta é a espécie *Swartzia polyphylla* (paracutaca, carapanaúba), que apresenta fuste com acentuadas reentrâncias.....52

- Figura 5.** Volume do fuste comercial obtido por diferentes modelos empregados na Amazônia central (linhas c, d & e) e comparado com dois modelos baseados em volume corrigido para ocorrência de oco e forma não-circular das seções do fuste (linhas a & b). Linha (a): volume corrigido determinado a partir de quatro seções do fuste (70 árvores com DAP entre 5 e 60 cm); linha (b): volume corrigido determinado a partir de duas seções do fuste (294 árvores com DAP entre 5 e 80 cm). As três árvores maiores de 80 cm não foram consideradas.....53
- Figura 6.** Distribuição de resíduos em unidades de Ln (volume) para os modelos descritos nas equações 06 e 07.....54
- Figura 7.** Estimativa do volume do fuste diminui quando utilizado o DAP corrigido, comparado com DAP convencional. A correção torna-se mais forte para árvores maiores. Ambos os volumes foram baseados no modelo de Smalian, ( $DAP \geq 5$  cm,  $n=299$ ). O efeito de oco é muito menor que o efeito da forma não-circular das seções.....55
- Figura 8.** Fator de forma ( $n=296$ ) segundo Assumann (1970) e quociente de forma ( $n=70$ ) segundo Jonson (1910), obtidos por meio dos diâmetros e volumes convencionais (linha cheia) e corrigidos (linha pontilhada).....56
- Figura 9.** Frequência de árvores ocadas por classe diamétrica.....58
- Figura 10.** O modelo de ajuste entre as duas variáveis plotadas permite estimar  $VEF = 1,66$  em floresta densa da Amazônia central, para o DAP mínimo adotado pelo RADAMBRASIL (fonte dos dados: Nascimento, 2002).....71

## Lista de Tabelas

### 2. Densidade de madeira em floresta densa na Amazônia central

**Tabela 1.** Modelos para estimar a densidade básica do disco [DBD]<sup>1</sup> e a densidade básica média, aritmética [DBMF]<sup>2</sup> ou ponderada [DBMF<sub>p</sub>]<sup>3</sup>, de todo fuste (ambos considerando cerne, alburno e casca), a partir da densidade básica do cerne [DBC]<sup>1</sup> (volume verde), densidade reidratada do cerne [DRC]<sup>1</sup> (volume reidratado) e densidade básica do disco [DBD]<sup>1</sup>. Forma geral: DBD, DBMF ou DMFp =  $\alpha + \beta$  (DBC, DBD ou DRC) +  $\varepsilon$  (erro). Os valores de densidade reportados aqui foram calculados com peso seco determinado a 103° C.....24

**Tabela 2.** Teste de média para valores de densidade obtidos através do peso seco obtido a 80 e 103° C, volume fresco e volume obtido por meio da reidratação.....28

### 3. Influência de irregularidades na morfologia do fuste e ocorrência de oco na estimativa volumétrica, cálculo do fator de forma e quociente de forma para árvores da floresta densa na Amazônia central

**Tabela 1.** Número de árvores amostradas por tamanho de classe e fatores de replicação utilizados para igualar a frequência para Amazônia central, a partir de 72 ha inventariadas.....44

**Tabela 2.** Comparação de estimativas aplicando modelos alométricos de volume do fuste comercial desenvolvidos para floresta tropical densa de terra firme na Amazônia central.....51

**Tabela 3.** Espécies de árvores que apresentaram fuste oco.....57

**Tabela 4.** Porcentagem de biomassa por classes diamétricas em árvores da Amazônia central.....70

### Resumo

Este estudo foi realizado numa área de floresta densa de terra firme na Amazônia central sobre platô com latossolo argiloso. Foram amostradas 310 árvores, com diâmetro na altura do peito (DAP) entre 5 e 122 cm, representando 186 espécies e morfo-espécies. Os objetivos principais foram: (i) determinar a densidade média de madeira das árvores (peso seco a 103°C dividido pelo volume fresco) e as variações radiais e em altura; (ii) verificar as influências da forma não-circular de seções do fuste e da ocorrência de ocos nas estimativas de volume; (iii) discutir as incertezas existentes nas estimativas de biomassa realizadas a partir de inventário florestal comercial. A densidade média de madeira dos fustes foi de 0,67 g.cm<sup>-3</sup> (n=307); 4,3% menor que a densidade ao nível do peito (0,70 g.cm<sup>-3</sup>). Na altura final do fuste a densidade foi de 0,64 g.cm<sup>-3</sup> (n=307). A densidade básica do cerne ao nível do peito foi 5,3% maior que a densidade de todo o disco no mesmo nível (n=149). A densidade do cerne obtida por meio de reidratação durante 14 dias, de amostra previamente seca a 103°C, foi 2,5% maior que a densidade da mesma amostra utilizando seu volume verde. Cálculos convencionais de diâmetro, área basal e volume presumem que os perímetros do fuste representem círculos e que o fuste seja um sólido de revolução. Ajustando para a distribuição diamétrica de um inventário de 72 hectares na Amazônia central, tais presunções resultam em superestimativa de 30% na soma da área basal das árvores grandes (DAP≥50 cm; n=18) e 11,2% para as árvores estudadas (n=296). O volume dos fustes, somado para todas as árvores acima de 5 cm de DAP, seria superestimado em 12,3% (a maior parte desta correção foi atribuída à forma não-circular das seções; o efeito de ocos foi apenas 0,6% de redução no volume total). Entretanto a superestimativa de volume não influencia as estimativas de biomassa realizadas a partir de volume inventariado. Considerando o diâmetro mínimo inventariado pelo Projeto RADAMBRASIL (31,8 cm), a superestimativa volumétrica (soma de 77 fustes) seria de 17,4%. No entanto, a superestimativa de volume associada com os métodos convencionais não significa que as estimativas de biomassa realizadas a partir dos inventários do RADAMBRASIL estejam superestimadas. Utilizando DAP convencional e volume convencional do fuste, o fator de forma médio, utilizando altura total, para todas as árvores estudadas seria de 0,766 ± 0,087 (n=297). Relacionando DAP convencional com volume corrigido pela forma não-circular das seções e pela presença de ocos, o fator de forma médio foi 0,718 ± 0,102 para todas as árvores. Para as 76 árvores com DAP≥31,8 cm (diâmetro mínimo nos inventários do RADAMBRASIL) este tipo de fator de forma foi 0,709 ± 0,126; semelhante ao valor de 0,70 adotado pelo RADAMBRASIL.

## Abstract

This study was conducted in an area of dense terra firme forest on clay latosol plateaus of the central Amazon. A total of 310 trees were felled, ranging 5-122 cm DBH, representing 186 species or morpho-species. The three main objectives were (i) determine average basic density (stable weight at 100°C divided by fresh volume) of the sampled trees as well as its variation at different heights along the bole and along the radius; (ii) examine the effect of the non-circular nature of stem cross sections and the effect of hollows, on estimates of bole volume; and (iii) discuss uncertainties of biomass estimates using commercial bole inventories. For this habitat and location the mean basic density of the bole was  $0,67 \text{ g.cm}^{-3}$  ( $n=307$ ); 4,3% lower than the density at breast height ( $0,70 \text{ g.cm}^{-3}$ ) for the same trees. Density at the top of the bole was  $0,64 \text{ g.cm}^{-3}$  ( $n=307$ ). At breast height, heartwood density was 5.3% greater than the density of the entire disk with bark ( $n=149$ ). When heartwood basic density was determined using volume of the same samples rehydrated in water for 14 days, density was overestimated by 2.5%, on average. Conventional calculations of diameter, basal area and bole volume presume that every bole perimeter is circular, that the bole is a solid of revolution. Such assumptions are in error, causing an overestimate of 30% for the total basal area of all the large trees in this study ( $\text{DBH} \geq 50 \text{ cm}$ ;  $n=18$ ), or an overestimate of 11.2% for the summed basal area of all felled trees for which true cross-sectional area was obtained at two heights ( $\text{DBH} \geq 5 \text{ cm}$ ;  $n=296$ ). The error was quantified after adjusting the number of trees harvested per size class to the diameter distribution of a large inventory. The total bole volume for all 296 corrected trees would be overestimated by 12.3% by conventional methods. (Most of this volume correction is attributed to the non-circular shape of cross-sections; correcting for hollows in the bole reduces volume by only 0,6%). However the volume overestimate associated with conventional methods does not imply biomass overestimation in studies that have used the RADAMBRASIL dataset. Total bole volume obtained by conventional methods was overestimated at 14.8% for the 76 trees in this study with DBH above the 31.8 cm, the cutoff used in the RADAMBRASIL inventories. Using "conventional DBH", true bole volume and total height, the average form factor for all trees was  $0.718 \pm 0.102$ . For the 76 trees over 31.8 cm DBH, this same form factor was  $0.709 \pm 0.126$ , which is very close to the value of 0.70 used by the RADAMBRASIL project to estimate bole volumes.

## 1. Introdução Geral

O mundo moderno tem acompanhado enormes alterações na Terra no período de poucos séculos. Florestas, vegetações inundadas, savanas e campos têm sido alterados profundamente em área e composição (Richards, 1990). A habilidade da espécie humana para alterar a superfície terrestre ou o ambiente físico em escala local ou regional é antiga (Sauer, 1956; Meiggs, 1982) e tem aumentado continuamente (Kates *et al.*, 1990). Possibilitado pelos avanços tecnológicos conquistados nos últimos séculos e por uma racionalidade de produção e consumo degradante, o homem modificou drasticamente sua relação com o meio, provocando impactos negativos em escalas cada vez maiores. O desenvolvimento do motor a combustão e outros avanços paralelos obtidos a partir da Revolução Industrial resultaram no século XX em intensas mudanças no ciclo biogeoquímico de diversos gases, sinalizando para graves problemas em decorrência das alterações climáticas.

A queima de combustíveis fósseis e biomassa florestal promoveram aumento significativo na atmosfera da concentração de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O e O<sub>3</sub>. A elevação da concentração desses gases é responsável pelo desequilíbrio radioativo do planeta, resultando num aquecimento que segundo estimativas recentes promoverá no século XXI aumento médio de 1,4 - 5,8 °C na temperatura terrestre (Houghton, 2001a; IPCC, 2001; Carter & Hulme, 2000). Os estudos realizados são unânimes em prever consequências graves em escala global. Cenários futuros, simulados com base nas melhores informações disponíveis indicam que a mudança do clima decorrente do efeito estufa terá fortes impactos ao longo do século XXI (Fearnside, 2001). Ainda, alterações na dinâmica climática necessitariam de amplo intervalo de tempo para reparação ou mitigação de efeitos, e nem ao menos são conhecidas as possibilidades de solucionar um processo de alteração climática num estágio avançado. Alguns estudos têm demonstrado que o potencial do planeta em amortecer os impactos do aquecimento global pode diminuir com os avanços das alterações, sendo a capacidade de amortecimento dos oceanos e da atmosfera (sumidouros naturais) diminuídos com o aumento da concentração de CO<sub>2</sub> (Prentice *et al.*, 2001).

Avaliações e estimativas têm sido realizadas no sentido de dimensionar as implicações do aquecimento na dinâmica da vida no planeta e apontar os caminhos para minimização de impactos (IPCC, 2001; Carter & Hulme, 2000).

Para a Amazônia é esperado impactos significativos das mudanças climáticas sobre a floresta em pé (Fearnside, 1995; Mata *et al.*, 2001). Entre as consequências, há previsões que apontam para a diminuição da vazão do rio Amazonas e morte da floresta (Cox *et al.*, 2000; Nijssen *et al.*, 2001). Com essas implicações, muitas pesquisas interdisciplinares inéditas vêm sendo realizadas em face da crescente preocupação com as mudanças climáticas globais (Nascimento, 2002).

Na compreensão desse fenômeno um importante aspecto é o monitoramento das emissões antropogênicas por fontes e remoções dos gases responsáveis pela alteração termodinâmica da Terra. Para tanto, as florestas tropicais desempenham função importante já que encontra-se grande quantidade de carbono estocado nas vegetações e nos solos aos quais estas estão fixadas. Ademais, as florestas sequestram e também eliminam grande quantidades de CO<sub>2</sub> (Houghton *et al.*, 2000; Fearnside, 1997a; Keeling *et al.*, 1996; Fearnside *et al.*, 1993). Nesse cenário, a floresta amazônica está situada numa realidade importante devido a elevada massa de carbono estocada, o desflorestamento também elevado e a grande extensão territorial que poderá ser convertida em emissões líquidas de carbono caso os índices de desflorestamento não diminuam. Para melhor entendimento e quantificação da contribuição da floresta amazônica no ciclo dos gases do efeito estufa, estudos têm estimado o total de biomassa acima e abaixo do solo amazônico (Nascimento, 2002; Houghton *et al.*, 2001b; Clark & Clark, 2000; Fearnside, 2000; Brown, 1997; Brown & Lugo, 1992). Para a biomassa total acima do solo (TAGB) estimada para a Amazônia como um todo, há incertezas quanto a distribuição da biomassa e as metodologias utilizadas, resultando em estimativas diferentes, que segundo Houghton *et al.* (2001b) variam entre 39-93 Pg C (Amazônia brasileira). Através das estimativas de biomassa existentes para a região é possível melhor dimensionar a quantidade de gases que são emitidos por área desmatada e determinar a quantidade de carbono assimilado por unidade de tempo e incorporado na biomassa florestal. Nesse sentido, as estimativas para Amazônia brasileira indicam emissão anual líquida de aproximadamente 0,2 Pg C (período de 1989-1998), em função de desflorestamento e terras abandonadas pela agricultura. Essa estimativa resulta da consideração da distribuição espacial e taxas de desflorestamento e da regeneração florestal nas áreas abandonadas (Houghton *et al.*, 2000).

Anualmente estima-se que todo o planeta emite cerca de 8 bilhões de toneladas de carbono, por queima de combustíveis fósseis e mudanças no uso da terra. Desse total, 3,2 bilhões permanecem na atmosfera e o restante é reabsorvido pelos oceanos e biota terrestre (Nobre & Nobre, 2002).

As estimativas de biomassa são também importantes para entendimento da dinâmica de nutrientes na Amazônia, já que a floresta se encontra sob solos antigos e em sua maioria pobres. Nesse aspecto, para avaliação de projetos de desenvolvimento na região, o entendimento da dinâmica de nutrientes é de grande relevância para manutenção das estratégias de conservação e ciclagem nos ecossistemas da floresta (Ferreira *et al.*, 2001; Higuchi *et al.*, 1998; Demattê, 1988; Sanches, 1976).

As estimativas referentes a fitomassa estocada têm adquirido recentemente elevada importância no palco das discussões referentes a comercialização de cotas de carbono e Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Há para tanto, relação direta entre a quantidade de carbono estocado e as alternativas de direcionamento nos modelos e estratégias de desenvolvimento. No entanto, as estimativas de biomassa ainda apresentam incertezas (Fearnside, 1997b), que para Houghton *et al.* (2001b) é a principal responsável pela dificuldade de determinação dos fluxos de dióxido de carbono provenientes do desmatamento. As incertezas de emissão está centrada nos cálculos de estocagem, já que houveram avanços significativos na precisão de estimativa das áreas deflorestadas, possibilitados por técnicas de sensoriamento remoto (I. F. Brown, 1995). Entre as dificuldades existentes na estimativa de biomassa, as variações de densidade da madeira, o desenvolvimento de modelos alométricos para diferentes fitofisionomias, a realização periódica de inventários florestais representativos e com métodos acurados, são aspectos relevantes. Há também alternativas matemáticas, com ajuste de equações já disponíveis adaptando-as para outros tipos de fisionomias diferentes das quais foram desenvolvidas, para efeitos de altura e densidade (Houghton, 2003; Baker *et al.*, 2004; França 2002). Essas considerações expõem a importância de desenvolver novos modelos alométricos ou ajustar modelos disponíveis para tipos de fisionomias específicas. As estimativas existentes evidenciam a necessidade de um valor confiável de densidade média para florestas da Amazônia para conversão das estimativas volumétricas de extensos e representativos inventários em

estimativas confiáveis de biomassa estocada (Houghton *et al.*, 2001b; Fearnside, 1997b; Brown & Lugo, 1992; Brown *et al.*, 1989; DNPM, 1983). Também demonstra ser necessário determinar os erros nas estimativas de volume de madeira existentes nos inventários já realizados, quanto a superestimativa das medidas de seção transversal do fuste, provocados pelo uso de fita métrica em fustes ocós e com acentuadas irregularidades.

Esse estudo em particular assume as seguintes pretensões: (i) determinar a densidade média de madeira das árvores (peso seco a 103°C dividido pelo volume fresco) e as variações radiais e em altura; (ii) verificar as influências, da forma não-circular de seções do fuste e da ocorrência de ocós, nas estimativas de volume; (iii) discutir sobre as incertezas presentes nas estimativas de biomassa realizadas através de inventário florestal comercial.

## 2. Densidade de madeira em floresta densa na Amazônia central brasileira.

### Resumo

O conhecimento da densidade de madeira das árvores na Amazônia é necessário para definições de uso e para reduzir incertezas quanto ao estoque e emissão de carbono. Este estudo determinou a densidade básica de 310 árvores coletadas próximo a Manaus, Brasil, em áreas de platô, sobre latossolos pobres em nutrientes. As árvores foram amostradas no intervalo de 5 a 122 cm de DAP, em seis diferentes parcelas de 30 x 30 m, distribuídas em uma área de 45 km<sup>2</sup>. Foram identificadas 186 espécies ou morfo-espécies. Para todas as árvores foram retiradas amostras na altura do peito (~1,36 m) e na altura final do fuste, logo abaixo da inserção do primeiro galho grosso. Para 73 árvores foram coletadas duas amostras intermediárias, além das amostragens na altura do peito e no final do fuste. Também foram coletadas amostras do cerne de 149 árvores. Foi determinada a densidade com base em peso seco a duas temperaturas (80 e 103 °C) e duas medidas de volume (volume fresco e volume reidratado). Considerando resultados à temperatura de 103 °C e volume fresco com casca, a densidade básica média na altura do peito para a floresta densa de platô foi de  $0,704 \pm 0,117$  (média  $\pm$  1 desvio padrão; n=310; extremos 0,27-0,96); na altura final do fuste foi de  $0,647 \pm 0,093$  (n=307; extremos 0,26-0,87). A média aritmética da densidade básica do fuste -- média da densidade na altura do peito e na altura final do fuste -- foi de  $0,675 \pm 0,101$  (n=307; extremos 0,27-0,91). A densidade básica média do fuste, ponderada pelo afilamento, quando consideradas quatro amostragens ao longo do fuste, foi de  $0,670 \pm 0,099$  (n=71; extremos 0,38-0,86). A média aritmética da densidade básica para as mesmas árvores foi de  $0,675 \pm 0,098$  (extremos 0,39-0,87). A densidade básica do cerne foi de  $0,766 \pm 0,158$  (n=149; extremos 0,34-1,06), 5,3 % maior que a densidade média de todo o disco com casca para as mesmas amostras. Houve diferença significativa, entre a densidade do cerne quando determinada pelo volume verde e pelo volume reidratado, (teste-t pareado,  $p \leq 0,001$ ), sendo a densidade reidratada 2,5% maior. Não há relação significativa entre densidade e diâmetro na altura do peito, para todo o conjunto de árvores estudadas, mas houve uma tendência de aumentar a densidade com o aumento do diâmetro quando avaliado dentro de determinadas espécies.

## 1. Introdução

A densidade é uma importante característica física da madeira, considerada determinante para definição do uso tecnológico e comercial, por ser um excelente indicador da quantidade de substância de madeira presente em uma amostra, da quantidade de polpa a ser produzida e da trabalhabilidade do material (ASTM 2395-02; Chimelo, 1992; Trugilho *et al.*, 1990; Silva, 1984). A densidade está relacionada com outras propriedades da madeira, como resistência, porosidade, organização dos componentes anatómicos; número, tamanho, e composição química das células (ASTM 2395-02; Hacke *et al.*, 2001; Ilic *et al.*, 2000; Simpson & TenWolde, 1999; Trugilho *et al.*, 1990, Kollmann & Côté, 1968). Em florestas tropicais há relação da densidade da madeira com a sobrevivência e resistência de árvores a impactos causados por ventos, mortalidade e taxa de crescimento relativo (Muller-Landau, 2004; Putz *et al.*, 1983). Densidade é também um forte indicador do estágio sucessional em árvores tropicais, com espécies pioneiras sendo menos densas e apresentando maior variação que espécies clímax (Muller-Landau, 2004; Wiemann & Williamson, 1989; Denslow, 1980). Há grande variação dessa propriedade ao longo do fuste, entre espécies, e numa mesma espécie, em função da idade da árvore e da zona climática de vida (Baker *et al.*, 2004; Muller-Landau, 2004; Wiemann & Williamson, 2002; Woodcock, 2000; Higuchi *et al.*, 1998; Rocha, 1994; De Castro *et al.*, 1993; Rueda & Williamson, 1992; Wiemann & Williamson, 1989; Chudnoff, 1976). Essa variação tem sido observada do cerne para a casca, ao longo da altura do fuste, entre diferentes compartimentos de uma mesma árvore e entre indivíduos da mesma espécie. Esses gradientes refletem a interação da planta com o meio, como condições climáticas, edáficas, impactos naturais e competição por luz (Muller-Landau, 2004; França, 2002; Ilic *et al.*, 2000; Trugilho *et al.*, 1990; Wiemann & Williamson, 1989; Chudnoff, 1976).

Diferentes metodologias têm sido empregadas para determinação da densidade, resultando em diferentes conceitos (Trugilho *et al.*, 1990; Fearnside, 1997b). Para a relação de peso e volume, o peso tem sido determinado com diferentes percentuais de umidade. Igualmente, têm sido adotados diferentes procedimentos para obtenção do volume com ou sem casca, como o volume da madeira fresca, ou seca e posteriormente reidratada. Entre as diferentes formas de calcular densidade, há a densidade aparente (relação entre peso e volume a

um dado conteúdo de umidade), densidade verde (peso verde/volume verde), gravidade específica (peso seco/volume seco), densidade verdadeira (determinada sem os poros de ocorrência natural na madeira, por meio de compressão da amostra), e densidade básica ou gravidade básica específica, que é obtida pela relação entre o peso seco e o volume da madeira verde (Souza *et al.*, 2002; Fearnside, 1997b). Esse último conceito foi empregado aqui neste trabalho, e é considerado o mais adequado para estudos de biomassa (Fearnside, 1997b; Brown, 1997).

Para as florestas tropicais, Reyes *et al.* (1992) encontraram valor médio de  $0,60 \pm 0,008 \text{ g/cm}^3$  (média  $\pm 1$  erro padrão) para a densidade de madeira na América tropical como um todo, baseado em 470 amostras. Brown & Lugo (1992) reportaram um valor médio de 0,69 para a Amazônia com base nos inventários de Heinsdijk (1958) e Prance *et al.* (1976), confrontados com uma lista de densidade por espécie arquivada no Institute of Tropical Forestry (Rio Piedras, Puerto Rico). Muller-Landau (2004) utilizando dados publicados tanto de densidade do cerne, sempre ao nível de espécie, quanto de densidade de todo raio do xilema, determinou diretamente através de amostras retiradas das árvores por meio de brocas (peso seco/volume verde), totalizando 89 espécies e 112 árvores de floresta primária da Amazônia central. Estas espécies representam 19% das árvores do plot permanente amostrado com 3832 árvores (DAP $\geq$ 10 cm). Quando considerado a abundância no inventário, foi encontrado densidade média de  $0,71 \pm 0,15 \text{ g.cm}^{-3}$  (média  $\pm$  um desvio padrão) a partir da densidade conhecida de 19% das árvores de toda comunidade.

Usando principalmente os inventários do RADAMBRASIL (1973-1983) e listas publicadas de densidade de espécies, Fearnside (1997b) estimou em 0,69 a densidade básica média por espécie para a Amazônia brasileira, considerando as diferentes tipologias existentes e suas respectivas áreas. Para a floresta densa de terras baixas no Estado do Amazonas, a densidade reportada é de  $0,70 \text{ g.cm}^{-3}$ . Esse valor obtido por Fearnside (1997b) contém fontes de incerteza, como dúvidas referentes à taxonomia das espécies reportadas (os nomes geralmente seriam confiáveis apenas ao nível de gênero e família) e a utilização de dados de densidade determinados por meio de métodos diferentes, os quais foram utilizados para o cálculo da densidade média para floresta densa e para toda Amazônia (Fearnside, 1997b).

A obtenção de um valor confiável de densidade média para florestas da Amazônia é necessário para conversão das estimativas volumétricas de extensos e representativos inventários em estimativas de biomassa estocada (Houghton *et al.*, 2001b; Fearnside, 1997b; Brown & Lugo, 1992; Brown *et al.*, 1989; DNPM, 1983). A densidade média tem sido utilizada também na adequação de modelos alométricos desenvolvidos em floresta densa para aplicar esses modelos em outras tipologias, corrigindo o efeito de diferença de densidade (Baker *et al.*, 2004; França, 2002). Desse modo, estudos de densidade de madeiras da Amazônia podem contribuir para diminuir incertezas na estimativa de estocagem e emissão de carbono; além de contribuir com os estudos de dinâmica de outros nutrientes nos ecossistemas amazônicos e quantificação dos recursos florestais.

O objetivo deste estudo foi determinar a densidade básica de espécies da floresta densa sob platô com latossolo na Amazônia central, avaliando também as variações radiais e no comprimento do fuste. Também objetivou determinar a diferença existente entre a densidade calculada a partir do volume de amostras reidratadas e a partir do volume fresco.

## **2. Material e Métodos**

### **2.1. Local de coleta**

A área de coleta se localiza cerca de 50 km a noroeste de Manaus-AM/Brasil (60.16°W, 2.83°S) na região do Projeto de Assentamento Rural Tarumã-Mirim, sob sítios de platô, em seis diferentes lotes de pequenos produtores rurais. A região apresenta precipitação anual média de 2075 mm, chuva abaixo de 100 mm.mês<sup>-1</sup> entre julho e setembro, altitude média de 100 m e temperatura com menor média de 26 °C e maior média de 27,6 °C (INMET, 2003). A vegetação é caracterizada como sendo floresta ombrófila densa de terra-firme (não inundada sazonalmente), sobre latossolos amarelos, pobres em nutrientes (Magnago *et al.*, 1978; Yamazaki *et al.*, 1978). Foi permitida a derrubada de árvores aleatoriamente, por ser uma nova frente de colonização (< 5 anos) com desmatamento para uso agrícola já planejado e autorizado pelo órgão ambiental brasileiro (IBAMA). As parcelas escolhidas foram de floresta primária, sem invasão de árvores pioneiras ou mortalidade associada com bordas.

## 2.2. Coleta de amostras de madeira

Foram coletadas amostras de madeira de 310 árvores (DAP = 5 a 122 cm) em seis diferentes parcelas (30 x 30 m) distribuídas numa área de 45 km<sup>2</sup>, sendo amostradas aproximadamente 50 árvores/parcela. Para os locais de coleta foi observado distância mínima de 100 m da borda. A coleta foi aleatória estratificada: após obter uma cota mínima em cada classe diamétrica, as árvores foram escolhidas ao acaso. Clareiras naturais recentes não foram encontradas nos locais de escolhidos para coleta. Para todas as árvores foram coletadas amostras botânicas e retirados discos de espessura constante (~3cm) na altura do peito e na altura final do fuste, através do uso de motosserra. Para 73 árvores escolhidas aleatoriamente foram coletados além dos discos na altura do peito e fuste, discos intermediários, eqüidistantes das duas posições extremas. Foi retirada de todos os discos, uma amostra na forma de cunha, representativa das variações radiais (casca, alburno e cerne). Cada cunha foi embalada imediatamente em saco plástico, que depois de fechado, foi acondicionado a sombra para evitar a perda d'água. Também foram retiradas amostras de cerne de 149 árvores, na altura do peito (~1,36m).

## 2.3. Determinação da densidade básica

No mesmo dia de coleta foi determinado o volume das amostras através do deslocamento de água (Princípio de Arquimedes; ASTM 2395-02) em recipiente sobre balança digital com capacidade de 2000 g e precisão de 1g, calibrado diariamente com balão volumétrico contendo água. O peso seco foi determinado em estufa a 80 e 103° C (ASTM, 2395-02). A amostra, acondicionada em saco de papel duplo, foi considerada completamente seca após estabilização do peso, que foi verificado a cada 24 horas. O peso foi considerado estabilizado após repetição do valor durante três medições seguidas.

## 2.4. Determinação da densidade básica média do fuste

A densidade básica média do fuste, ponderada pelo afilamento, foi obtida aplicando o modelo de Vital (1984, eq. 01) para 71 árvores, nas quais a densidade foi amostrada em quatro alturas ao longo do fuste (alturas 1,36 m, 33%, 66% e topo do fuste):

$$D_{mf} = \{ \sum (D_{ms1} * V_{seg 1}), (D_{ms2} * V_{seg 2}), (D_{ms3} * V_{seg 3}) \} * (\sum V_{seg 1, 2 e 3})^{-1} \quad (\text{eq. 01})$$

Onde:

$D_{mf}$  = Densidade média do fuste,  $D_{ms1}$  = média entre a densidade na altura do peito (1,36 m) e 33% do comprimento entre 1,36 m e o topo do fuste,  $D_{ms2}$  = média entre a densidade a 33% e 66% do comprimento entre 1,36 m e o topo do fuste,  $D_{ms3}$  = média obtida entre as densidades 66% do comprimento entre 1,36 m e o topo do fuste e a densidade no final do fuste.  $V_{seg 1, 2 e 3}$  = corresponde ao volume dos segmentos de fuste entre as alturas 1,36 - 33%; 33% - 66% e 66% - topo, respectivamente.

Para a obtenção dos volumes de cada segmento (frustrum de parabolóide) foi utilizada a fórmula de Smalian:

$$v = \{(g_i + g_s) \cdot 0,5\} \cdot l \quad (\text{eq. 02})$$

Onde:

$g_i$  = Área da seção inicial,  $g_s$  = Área da seção final,  $l$  = comprimento do segmento.

Para determinação da área de cada seção de fuste foi desenhado em painel através do margeamento interno (quando o tronco era oco) e externo de cada disco amostrado. Os desenhos foram fotografados utilizando máquina digital com lente de 80 mm a uma distância de 4 m, para diminuir distorções. A área de cada seção foi determinada em pixels através do Programa Adobe Photoshop 4.0, e posteriormente transformada em escala de  $\text{cm}^2$  -- baseado nas distâncias em unidades de pixels e em unidades de cm, entre pontos marcados na parede de fixação dos painéis. As áreas ocadas foram subtraídas na determinação da área total de cada seção, quando o tronco era oco. Esse procedimento foi adotado objetivando eliminar erros na determinação do volume quando se utiliza medições de circunferência ou diâmetro obtidas por meio de fita métrica ou trena (medições convencionais). O procedimento permitiu eliminar super-estimativas de volume, provocadas pela ocorrência de fustes irregulares externamente (reentrâncias) e ocados, aspectos freqüentes para espécies da Amazônia.

### 2.5. Densidade obtida através de volume reidratado

Para o volume reidratado foram retiradas três sub-amostras orientadas de cada amostra de cerne obtida na altura do peito, com cerca de 2 x 2 x 3 cm (12 cm<sup>3</sup> de volume). Para diminuir um viés de densidade no sentido radial, as sub-amostras foram obtidas ao longo do eixo radial e uma média de densidade obtida para as três sub-amostras. Foram pesadas em balança digital de precisão (0,01g) após secagem a 103° C. Posteriormente foram reidratadas em água durante 14 dias, sob baixa temperatura para evitar decomposição, e posteriormente determinado o volume utilizando a mesma balança.

### 2.6. Identificação botânica

Todas as amostras botânicas foram identificadas por botânicos práticos experientes (parabotânicos), funcionários do Herbário do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA.

### 2.7. Análise estatística

Para teste de média foi utilizado o programa SAEG 5.0 (Sistema para análise estatística, UFV-MG). As demais análises foram realizadas por meio do programa SYSTAT 8.0 (Wilkinson, 1998).

## 3. Resultados

### 3.1. Densidade de madeira

Para as 310 árvores amostradas aleatoriamente foram identificadas 186 diferentes espécies ou morfo-espécies, com 4 árvores sem identificação (Anexos 1 e 2). Os valores de densidade básica na altura do peito e na altura final do fuste para cada espécie são apresentados no Anexo 1. A média da densidade básica com casca na altura do peito para todas as espécies foi de  $0,704 \pm 0,117$  (média  $\pm$  1 desvio padrão; n=310; extremos 0,27-0,96). A média da densidade básica com casca ao final do fuste foi de  $0,647 \pm 0,093$  (n=307; extremos 0,26-0,87). Considerando o fuste como o todo, a média aritmética da densidade básica com casca, resultante da média entre a densidade na altura do peito e na altura final do fuste, foi de  $0,675 \pm 0,101$  (n=307; extremos 0,27-0,91), Anexo 1. Para as 73 árvores amostradas em quatro diferentes posições do fuste (1,36 m do solo, altura final do fuste e duas amostragens intermediárias) obteve-se uma média aritmética similar:  $0,675 \pm 0,098$  (n=73;

extremos de 0,39-0,87). A densidade básica média, ponderada pelo afileamento do fuste, foi obtida para as árvores com quatro amostragens de densidade ao longo do fuste. O valor encontrado foi similar a média aritmética:  $0,670 \pm 0,099$  ( $n=71$ ; extremos 0,38-0,86). A densidade básica (volume fresco) do cerne para 149 árvores foi de  $0,766 \pm 0,158$  (classe 0,34-1,06). Quando obtida por meio do volume reidratado, a densidade do cerne foi  $0,785 \pm 0,167$  ( $n=145$ ; extremos de 0,17-1,05). Os valores de densidade citados acima referem-se sempre ao peso seco obtido a  $103\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Na Tabela 1 são apresentados quatro modelos que permitem estimar (1) a densidade básica média do fuste (média aritmética e ponderada pelo afileamento) e (2) densidade básica do disco com casca na altura do peito a partir da (i) densidade básica do cerne obtida por meio de volume fresco e (ii) por volume reidratado. Ainda, permite obter a densidade média do fuste (aritmética e ponderada) a partir da densidade básica do disco com casca. Todos os pares de variáveis foram examinados em gráfico de dispersão x-y e satisfazem as exigências de regressão linear: (1) ausência de heterocedasticidade e (2) resíduos simétricos abaixo e acima da linha de tendência.

Conforme a classificação proposta por Melo *et al.* (1990), apenas 5 % das árvores neste estudo teriam madeira leve (densidade  $\leq 0,50\text{ g.cm}^{-3}$ ), 64 % teriam madeira de peso médio (densidade 0,50 a 0,72) e 31 % madeira pesada (densidade  $> 0,72$ ).

### 3.2. Variação da densidade

A densidade média diminui no sentido base-topo (Figura 1) sendo em média 8% menor na altura final do fuste em relação à densidade média na altura do peito ( $\sim 1,36\text{ m}$ ), e 7,8% menor para cada árvore, em média. Para 86,6% das árvores, a densidade diminuiu com o aumento da altura, o caso mais extremo sendo 57,3% de diminuição. Apenas 13,3% das árvores aumentaram a densidade com a altura, o caso mais extremo sendo 24% de aumento.

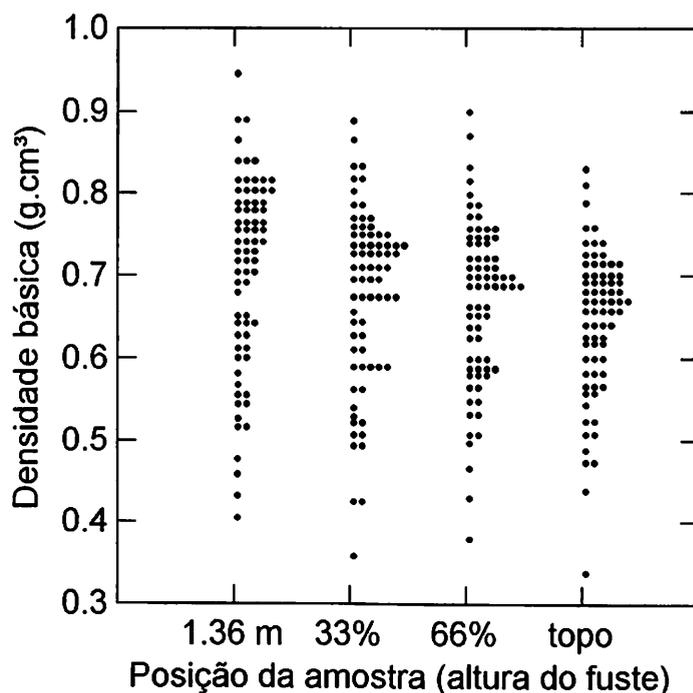
**Tabela 1.** Modelos para estimar a densidade básica do disco [DBD]<sup>1</sup> e a densidade básica média, aritmética [DBMF]<sup>2</sup> ou ponderada [DBMF<sub>p</sub>]<sup>3</sup>, de todo fuste (ambos considerando cerne, alburno e casca), a partir da densidade básica do cerne [DBC]<sup>1</sup> (volume verde), densidade reidratada do cerne [DRC]<sup>1</sup> (volume reidratado) e densidade básica do disco [DBD]<sup>1</sup>. Forma geral: DBD, DBMF ou DMFp =  $\alpha + \beta$  (DBC, DBD ou DRC) +  $\varepsilon$  (erro). Os valores de densidade reportados aqui foram calculados com peso seco determinado a 103° C.

Modelos	Coeficientes (Erro padrão)		R <sup>2</sup>	MSE	F	n
	$\alpha$	$\beta$				
DBD= $\alpha + \beta$ (DBC)+ $\varepsilon$	0,146 <sup>(0,014)</sup>	0,765 <sup>(0,017)</sup>	0,931	0,033	1945.191	146
DBD= $\alpha + \beta$ (DRC)+ $\varepsilon$	0,167 <sup>(0,016)</sup>	0,718 <sup>(0,020)</sup>	0,903	0,040	1291,287	141
DBMF= $\alpha + \beta$ (DBC)+ $\varepsilon$	0,219 <sup>(0,014)</sup>	0,630 <sup>(0,018)</sup>	0,893	0,034	1198.571	145
DBMF= $\alpha + \beta$ (DRC)+ $\varepsilon$	0,235 <sup>(0,015)</sup>	0,592 <sup>(0,019)</sup>	0,873	0,038	946.595	140
DBMF <sub>p</sub> = $\alpha + \beta$ (DBD)+ $\varepsilon$	0,099 <sup>(0,020)</sup>	0,808 <sup>(0,028)</sup>	0,925	0,027	832.066	69
DBMF <sub>p</sub> = $\alpha + \beta$ (DBC)+ $\varepsilon$	0,219 <sup>(0,027)</sup>	0,611 <sup>(0,035)</sup>	0,871	0,038	298.298	46
DBMF <sub>p</sub> = $\alpha + \beta$ (DRC)+ $\varepsilon$	0,228 <sup>(0,029)</sup>	0,585 <sup>(0,038)</sup>	0,847	0,041	243.207	46

<sup>1</sup>Densidade na altura do peito (~1,36 m acima do solo)

<sup>2</sup>Média aritmética

<sup>3</sup>Média ponderada pelo afilamento do fuste

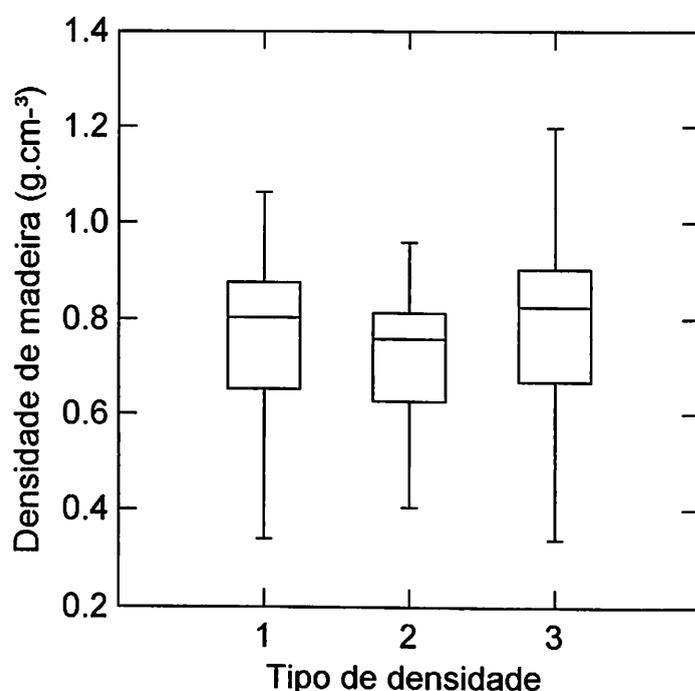


**Figura 1.** Variação da densidade ao longo do fuste ( $n=73$ , árvores com DAP = 5 a 122 cm). Onde: 1,36 m = densidade a altura do peito; topo = altura final do fuste; 33 e 66% = alturas intermediárias.

Em média, a densidade básica do cerne foi 5,3% (teste- $t$  pareado,  $p \leq 0,001$ ) maior que a densidade básica para todo o disco com casca, para as 149 árvores que tiveram o cerne coletado (Figura 2). Apenas 18% destas árvores demonstraram o padrão inverso; a maioria destas árvores (82%) apresentou densidade do cerne maior que a densidade de todo disco com casca. Em 80% das observações a diferença percentual variou de 0 a 20% da densidade de todo o disco. Em 2% das árvores a densidade do cerne foi de 40 a 56% maior. Para 17% das árvores a menor densidade do cerne variou de 0 a -26%.

### 3.3. Efeito da temperatura (80°C e 103°C) e da reidratação na determinação da densidade

Houve diferença estatística significativa (teste- $t$  pareado,  $p \leq 0,001$ ) nos resultados de densidade quando obtidos por meio de temperatura a 80°C comparado a 103°C (Tabela 2).



**Figura 2.** Diferentes tipos de densidade na altura do peito (~1,36m; caixa: mediana, 1º e 3º quartis, amplitude dos dados; árvores com DAP≥5 cm). 1 = Densidade básica do cerne; 2=Densidade básica do disco (cerne, albarno e casca) e 3=Densidade do cerne obtida por volume reidratado.

As médias de densidade obtidas à temperatura de 103°C foram menores que aquelas obtidas a 80°C. Apesar da temperatura de 103°C ser recomendada nos protocolos para determinação de densidade (ASTM, 2395-02), esse teste foi realizado devido a existência de dados de densidade para Amazônia que foram determinados com temperaturas inferiores a 103°C. Para determinadas amostras, na obtenção do peso seco, foi verificado que 20 dias sob temperatura de 103°C foi insuficiente para a perda total da água.

Para a densidade reidratada (amostras do cerne, sempre a 103°C), houve diferença estatística (teste-*t* pareado,  $p \leq 0,001$ ) quando comparada com a densidade obtida por meio de volume verde (densidade básica), Tabela 2. Quatorze dias foram insuficientes para a completa recuperação do volume verde de blocos de madeira de aproximadamente 12 cm<sup>3</sup>. A diferença era maior com

madeiras mais densas, provavelmente por resistirem mais à penetração de água. A densidade média após reidratação foi 2,5 % maior que a densidade obtida com o volume fresco.

#### 3.4. Relação da densidade com variáveis morfométricas

Houve correlação significativa mas fraca nas relações entre altura total da árvore ( $r=0,12$ ,  $p=0,030$ ) e volume do fuste ( $r=-0,121$ ,  $p=0,048$ ; modelo de Higuchi *et al.*, 1997, eq. 03) e a densidade média (aritmética) do fuste. No entanto, não houve correlação significativa entre a densidade média aritmética com a altura do fuste ( $r=0,039$ ,  $p=0,49$ ) ou com o diâmetro na altura do peito ( $r=-0,002$ ,  $p=0,97$ ).

$$\text{LnV} = -7,335 + 2,121 \cdot \text{LnDAP} \quad (\text{eq. 03})$$

Onde: V= volume comercial com casca ( $\text{m}^3$ ); DAP= diâmetro na altura do peito,  $\text{DAP} \geq 10$  cm.

**Tabela 2.** Teste de média para valores de densidade obtidos através do peso seco obtido a 80 e 103° C, volume fresco e volume obtido por meio da reidratação.

Densidade (posição de amostragem)	N	Temperatura para determinação do peso seco, média (desvio padrão), comparação de médias	
		80° C	103° C
Altura do peito (~1,36 m do solo)	310	0,712 (0,119) <sup>aA</sup>	0,704 (0,117) <sup>aB</sup>
Altura final do fuste (inserção do primeiro galho grosso)	307	0,654 (0,093) <sup>bA</sup>	0,647 (0,093) <sup>bB</sup>
Média aritmética do fuste (densidade na altura do peito e altura final do fuste)	307	0,683 (0,102) <sup>cA</sup>	0,675 (0,101) <sup>cB</sup>
Média aritmética do fuste (altura do peito, altura final do fuste e 2 amostras intermediárias)	73	0,682 (0,099) <sup>cA</sup>	0,675 (0,098) <sup>bcB</sup>
Média ponderada pelo volume dos segmentos do fuste (altura do peito, altura final do fuste e 2 amostras intermediárias)	71	0,678 (0,100) <sup>abcA</sup>	0,670 (0,099) <sup>abcB</sup>
Cerne (volume verde)	149	0,775 (0,162) <sup>dA</sup>	0,766 (0,158) <sup>dB α</sup>
Cerne (volume reidratado)	149	-	0,785 (0,167) <sup>dβ</sup>

\* Letras minúsculas iguais na mesma coluna não diferem significativamente a Tukey ( $p \leq 0,05$ )

\*\* Letras maiúsculas diferentes na mesma linha diferem estatisticamente pelo *t*-teste pareado ( $p \leq 0,001$ )

<sup>α, β</sup> Letras gregas diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente pelo *t*-teste pareado ( $p \leq 0,001$ )

#### 4. Discussão

##### 4.1. Densidade de madeira e estimativas de biomassa

Estudos de densidade de madeira para espécies da Amazônia têm adquirido importância para estimativas de biomassa na região, por ser necessário para converter dados de inventários florestais em biomassa, conforme (Houghton *et al.*, 2001b; Nelson, *et al.*, 1999; Brown, 1997; Brown & Lugo, 1992):

$$\text{TAGB} = \text{Volume inventariado} \cdot \text{VEF} \cdot \text{WD} \cdot \text{BEF} \quad (\text{eq. 04})$$

Onde:

TAGB = biomassa total acima do nível do chão solo das árvores em pé  $\geq 10$  cm DAP ( $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ )

Volume Inventariado = volume comercial dos fustes acima do DAP mínimo inventariado ( $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ). Geralmente, o DAP mínimo inventariado está entre 25 e 30 cm,

VEF = Fator de expansão, para acrescentar o volume de fustes entre 10 cm e o DAP mínimo inventariado,

WD = Densidade da madeira;

BEF = Fator de expansão de biomassa (acrescenta a biomassa além do fuste, para todas as árvores  $\geq 10$  cm DAP),

As variáveis assumem os seguintes valores na Amazônia, segundo Houghton *et al.* (2001b, citando Brown & Lugo, 1992):

VEF = 1,25 para florestas densas, ou 1,5 para outras florestas amazônicas;

WD = 0,69;

BEF =  $\exp\{3,213 - 0,506 \ln \text{SB}\}$ , para  $\text{SB} < 190 \text{ t ha}^{-1}$ ;

BEF = 1,74, para  $\text{SB} > 190 \text{ t ha}^{-1}$ ;

SB = biomassa dos fustes  $\geq 10$  cm DAP = Volume inventariado  $\cdot$  VEF  $\cdot$  WD

Para as estimativas a partir de dados volumétricos, têm sido utilizado densidade de  $0,69 \text{ g.cm}^{-3}$  como valor médio para a Amazônia brasileira (Houghton *et al.*, 2001b; Fearnside, 1997b; Brown, 1997; Brown & Lugo, 1992;

Brown *et al.*, 1989). Esse valor é reportado por Fearnside (1997b) e Brown & Lugo (1992) que utilizaram dados obtidos, na maioria dos casos, na altura do peito (~1,30 m), não sendo portanto a média do fuste das árvores. Conforme Fearnside (1997b), os dados que subsidiaram as estimativas para Amazônia carecem de metodologia uniforme na obtenção da densidade. Também variam quanto à presença ou ausência de casca, posição em que foi determinada no fuste e no disco. Essas limitações são comuns para os dados de densidade disponíveis atualmente para espécies da Amazônia, e têm dificultado a obtenção de um valor médio confiável para a região. Muller-Landau (2004), encontrou para floresta densa na região de Manaus densidade média para espécies e também para árvores de  $0,75 \text{ g.cm}^{-3}$  para 112 árvores em pequenas parcelas. A média para as árvores cai para  $0,71$  quando os dados obtidos para as espécies em parcelas pequenas foram aplicados a inventários maiores da Amazônia central. Na estimativa de Fearnside (1997b), a floresta densa de terras baixas do Estado do Amazonas é relatada como tendo uma densidade de  $0,70 \text{ g.cm}^{-3}$ . Esse valor é idêntico ao encontrado neste estudo para amostras com casca coletadas na altura do peito (~1,36 m). Entretanto, aqui é reportado que a densidade média aritmética do fuste e a média ponderada pelo afilamento são de  $0,67 \text{ g.cm}^{-3}$ , considerando cunhas de discos com casca, para duas ( $n=307$ ) e quatro amostras ao longo da altura do fuste ( $n=73$ ). Observando os dados de densidade de madeiras da Amazônia publicados pela Coordenação de Pesquisas em Produtos Florestais/INPA, Laboratório de Pesquisas Florestais/IBAMA e Centro Tecnológico da Madeira/SUDAM, verifica-se que foram gerados utilizando amostragem aleatória em diferentes seções do fuste, com base nas normas da COPANT (INPA/CPPF, 1993, p. 8; INPA/CPPF, 1991, p. 5 e 7; IBDF, 1988). Entretanto, Fearnside (1997b) afirma que a maior parte dos dados de densidade disponíveis para a Amazônia se referem a amostras obtidas na altura do peito (ou acima das sapopemas), e geralmente, retiradas na posição do cerne. Conforme demonstrado nas Figuras 1 e 2, há variação significativa da densidade ao longo do fuste e na posição do disco. Desse modo, é provável que a densidade utilizada atualmente como média para a região e para cada tipologia florestal esteja superestimada em relação a densidade média do fuste. A obtenção da densidade média do fuste, obtido por meio de discos com casca, alburno e cerne é o mais adequado para

estimativas de biomassa. A diferença de 0,03, entre 0,70 (nível do peito) e 0,67 (média do fuste), corresponde a uma superestimativa de 4,3% (eq. 04).

#### 4.2. Variação da densidade

De modo geral, os estudos que relatam variação radial e longitudinal da densidade para espécies da Amazônia (Higuchi & Carvalho, 1994; De Castro *et al.*, 1993; Amorim, 1991; De Macedo, 1991; Wiemann & Williamson, 1989), apresentam resultados de poucas espécies, restritos a determinados grupos funcionais ou abordando unicamente variação radial ou somente variação longitudinal. Para as 145 árvores da Amazônia central, quanto a padrões de variação radial, este estudo demonstra que na floresta densa de terra-firme, a densidade geralmente diminui de dentro para fora. Assim, tecidos mais recentes do fuste da árvore possuem densidade menor. Esse resultado está de acordo com Fearnside (1997b, Tabela 3) e Amorim (1991). Entretanto, não foi determinado se o mesmo padrão de variação é observado em posições mais elevadas do fuste, já que neste estudo amostras de cerne foram coletadas apenas na altura do peito (~1,36m).

Ao contrário do padrão encontrado aqui para a maioria das árvores de floresta primária, no caso de espécies tropicais pioneiras, De Castro *et al.* (1993) afirmam que há aumento linear da densidade do centro para fora, podendo atingir 200-300 % de diferença em algumas espécies. Wiemann & Williamson (1989) demonstraram para 16 espécies de árvores tropicais, que a densidade aumenta do centro para fora, sendo o aumento mais acentuado (90-270%) em espécies pioneiras de floresta de terras baixas. Para esses autores, esse mesmo padrão é esperado para outras espécies colonizadoras. Possivelmente, ao colonizar ambientes, as espécies pioneiras privilegiam o crescimento em estatura em detrimento da resistência do fuste, resultando num fuste com menor densidade e rápido crescimento apical. Com o aumento da altura, o incremento da densidade parece ser necessário para manutenção da estabilidade estrutural (Wiemann & Williamson, 1988). Neste estudo, a densidade do cerne foi comparada com todo o disco com casca, ao contrário dos estudos de Wiemann & Williamson e De Castro *et al.*, que estudaram as variações em passos de 1 a 2 cm ao longo do raio do disco, na altura do peito, considerando o centro do fuste e não o cerne. Entre as espécies estudadas, foi

verificado que o Amapá, *Brosimum parinarioides* Ducke (Moraceae), árvore de dossel, foi a que apresentou maior diminuição da densidade no sentido centro-casca, com a densidade do cerne 55 % maior que a densidade de todo disco com casca. Entre as poucas espécies que apresentaram o padrão inverso, a variação mais marcante (18% de aumento de densidade no sentido centro-casca) foi detectada em *Sclerolobium melanocarpum* Ducke (Caesalpinioideae), considerada árvore emergente (Ribeiro *et al.*, 1999).

Neste estudo, a densidade aumentou com a posição vertical da amostra em apenas 14% das árvores. De Macedo (1991) verificou que em apenas uma entre 12 árvores coletadas próximo a Manaus/Brasil, a densidade na base do fuste é menor que na parte superior. Os casos de menor densidade nas posições inferiores do fuste podem também estar relacionados à degradação inicial da madeira, que antecede a formação de ocos. Este processo estaria mais avançado perto da base das árvores, onde os ocos também prevalecem. Isso também pode ser responsável pela menor densidade do cerne (encontrado em 17% das árvores) quando comparado com a densidade de todo o disco. Por exemplo, a espécie *Cupania scrobiculata* L.C.Rich. (Sapindaceae) apresentou oco ocupando 7,6% da seção transversal ao nível do peito e também apresentou menor densidade da madeira intacta, na mesma altura quando comparado com a densidade no final do fuste. No entanto, nenhuma outra árvore entre aquelas ocadas, apresentou densidade menor ao nível do peito quando comparado com a altura final do fuste, porque a determinação da densidade foi realizada considerando apenas a parte com madeira do disco.

Vários autores têm apontado diferentes aspectos ecofisiológicos envolvidos nessas variações da densidade dentro do fuste, como: exigências estruturais, zona climática, umidade, idade, luminosidade e crescimento rápido (Ter Steege & Hammond, 2001; Suzuki, 1999; Favrichon, 1994; De Castro *et al.*, 1993; Rueda & Williamson, 1992; Wiemann & Williamson, 1988; Denslow, 1980; Chudnoff, 1976; DeZeeuw, 1965). Muller-Landau (2004), analisando variação entre sítios e entre espécies em quatro tipos de florestas neotropicais, observou que a densidade varia inversamente com a fertilidade do solo e independentemente da pluviosidade, sazonalidade e temperatura. Woodcock (2000) encontrou diferentes densidades médias em parcelas de estágios

sucessionais diferentes, com menor densidade para estágios sucessionais novos, não sendo verificado para tipos de solo. Ter Steege & Hammond (2001), em florestas da Guyana, também não verificaram relação da densidade com a fertilidade do solo, mas encontraram uma relação entre densidade e a diversidade de espécies e tamanho de semente. Comunidades mais diversas estavam associadas com características de colonizadoras superiores, como baixa densidade de madeira e menores sementes. Dentro dos sítios estudados, Muller-Landau também verificou correlação negativa da densidade de madeira com a taxa de mortalidade adulta e com a taxa de crescimento relativo de árvores e arbustos. Em outras palavras, florestas com maiores taxas de crescimento e de turnover tem menor densidade de madeira. Resultados similares são reportados por Favrichon (1994) e Suzuki (1999). Nos estudos realizados por Kollmann & Côté (1968) é preconizado que variações na densidade de madeira são ocasionadas pelas diferenças na sua estrutura, devido a proporção, dimensões e o percentual dos componentes estruturais de diferentes tipos celulares, como fibras, traqueídes, parênquimas, canais de resinas e espessura de parede celular. França (2002) cita alguns fatores ecológicos importantes que afetam a densidade das árvores em florestas abertas no sudoeste da Amazônia. Por exemplo, verificou que a presença de espécies pioneiras seria um dos fatores responsáveis pela baixa densidade média da madeira na fitofisionomia: apenas  $0,51 \text{ g.cm}^{-3}$  (determinado a  $80^{\circ}\text{C}$ ). Espécies pioneiras comuns nesta floresta incluem: *Acacia* sp., *Jacaratia* sp., *Cavanillesia hylogeiton*, *Ceiba* sp. e *Cecropia sciadophylla* (Oliveira, 2000). Nesses ambientes, a ocorrência de solos férteis (cambissolos), a perturbação natural pelo bambu (*Guadua* sp.), bem como a morte periódica e sincronizada deste bambu, cria extensas clareiras temporárias, que favorecem as espécies de crescimento rápido. Estas têm madeira com baixa densidade básica. De igual modo, Schnitzer *et al.* (2000) no estudo de 428 clareiras em floresta tropical na ilha de Barro Colorado do Panamá, demonstraram correlação entre a abundância de lianas e a abundância de árvores pioneiras. Assim, as lianas parecem dificultar a sobrevivência de árvores não pioneiras, favorecendo ao mesmo tempo as espécies pioneiras. Ter Steege & Hammond (1996, 2001) sugerem que florestas com elevada taxa de distúrbio tendem a aumentar a

diversidade de espécies, com predomínio de colonizadoras, e apresentar menor densidade média de madeira.

#### 4.3. Incertezas na determinação de densidade

Um dos fatores apontado como importante fonte de incerteza para os dados de densidade disponíveis atualmente para a Amazônia é a identificação das espécies nos inventários florestais. Para Fearnside (1997b) muitos inventários publicados são baseados em nomes comuns, e quando os nomes científicos são reportados, não são baseados em identificação botânica formal, mas no emprego de tabelas de equivalência entre nomes comuns e designações científicas. Segundo Pires (1978), mais de 90% das identificações utilizadas nos inventários realizados pela Organização para Alimentos e Agricultura das Nações Unidas (FAO) na Amazônia podem estar errados ao nível de espécie, por terem sido baseadas em nomes comuns. Os dados do inventário da FAO (Heinsdijk, 1958) têm subsidiado cálculos de biomassa e emissão de carbono na Amazônia, por serem representativos de várias fitofisionomias (Brown *et al.*, 1989). Essas incertezas demonstram a importância de estudos que possam determinar a densidade com correta identificação das espécies. Neste estudo, os nomes vulgares fornecidos por um mateiro foram transformados em nomes científicos com auxílio de três guias: Catálogo de Árvores do Brasil (Camargos *et al.*, 2001), Flora da Reserva Ducke (Ribeiro *et al.*, 1999) e Nomes Vulgares de Plantas Amazônicas (Silva *et al.*, 1977), Anexo 2. Como todas as árvores também tiveram exsicatas identificadas no herbário, foi constatado que apenas 53% dos nomes científicos inferidos a partir dos nomes vulgares fornecidos pelo mateiro foram corretos. Os nomes comuns e nomes científicos, foram considerados como equivalentes quando o nome vulgar citado pelo mateiro era similar a um dos nomes comuns citados na literatura, ou a um dos nomes quando o nome comum for uma palavra-composta. Houveram erros em que, para uma mesma espécie, o mateiro atribuiu nomes comuns diferentes, quando identificada em locais diferentes. O mateiro, às vezes, não conseguia identificar a mesma espécie que havia sido identificada anteriormente.

Outra fonte de incerteza presente para os dados de densidade na Amazônia é a utilização de diferentes métodos para sua obtenção. Têm sido

reportados (1) a densidade aparente, com teor de umidade de 12 %, metodologia baseada em COPANT (1973); (2) a densidade verde, como os dados de 50 espécies publicados pelo IBAMA (Souza *et al.*, 2002), ou as 40 espécies ocorrentes na Floresta Nacional do Tapajós (Fedalto, 1989); e (3) densidade baseado no volume reidratado, como as 75 espécies coletadas em Curuá-Una/Pará (IBDF, 1988; Vol 2), 23 espécies amostradas em florestas no Estado do Amapá (INPA/CPPF, 1993) e 40 espécies da área da Hidrelétrica de Balbina (INPA/CPPF, 1991). Isso tem dificultado a obtenção de valores de densidade básica obtidos pela relação de peso completamente seco pelo volume realmente verde, com o teor de umidade presente na árvore. Em algumas referências, o volume verde se refere à madeira seca e posteriormente reidratada até a saturação, ou amostrada verde e posteriormente saturada (IBDF, 1988; Vol 2, p. 29).

Na obtenção do peso seco, foi verificado que o tempo para secagem completa das amostras é bastante variável, com amostras necessitando de mais de 20 dias sob temperatura de  $103 \pm 2$  °C para ocorrer perda total da água. Isso evidencia que cálculos de densidade básica, obtidos por um curto tempo determinado, conjuntamente para diferentes espécies, podem estar superestimados. Além das características da madeira, o tamanho da amostra também está relacionado com o tempo de secagem. Neste estudo verificou-se que a densidade obtida através do peso determinado a 80 °C difere significativamente (*t*-teste pareado,  $p \leq 0,001$ ) da densidade obtida a 103 °C, com os valores obtidos a 103 °C sempre menores (Tabela 2). Como o peso obtido aos 80 °C foi considerado seco após estabilização (peso constante por três medições seguidas), a perda de peso adicional aos 103°C pode ser água quimicamente presa na parede celular, bem como compostos orgânicos volatilizados na temperatura mais alta.

No caso deste estudo, amostras de cerne reidratados durante duas semanas, mesmo sendo pequenas ( $12 \text{ cm}^3$ ), não atingiram o volume verde previamente determinado para estas mesmas amostras antes da secagem (teste *t*-pareado,  $p \leq 0,001$ ,  $n=149$ ). Portanto, é provável que densidades obtidas com amostras reidratadas são superestimativas da densidade básica, sendo a densidade reidratada 2,5 % maior.

Entre as incertezas apontadas nos estudos de densidade de madeira na Amazônia, a posição de amostragem no fuste e no disco são as duas principais fontes de erro. A densidade média dos cerne foi 0,76 enquanto a densidade média do fuste foi de 0,69 nas mesmas 149 árvores. Tomar a densidade do cerne como representativa do fuste todo ocasionaria uma superestimativa de 9,7%. Se a densidade do cerne reidratado for considerada representativa do fuste todo, a superestimativa é ainda maior: 12,3 %. Obviamente, os erros podem ser agravados quando utilizado peso seco sem a completa perda de água, como métodos que se baseiam em tempo fixo de secagem (p.e. 24-48 h), e não na estabilização do peso. Quando houver determinação da densidade por volume do cerne reidratado demonstra-se que há diferença estatística significativa (2,5%), não sendo possível determinar qual seria o erro quando a reidratação for utilizada para obtenção do volume de todo disco (presença de casca, alburno e cerne). Desse modo, amostras retiradas do cerne, considerando perda total da água, e obtida por meio de volume reidratado, será aproximadamente 12 % maior que a densidade média do fuste considerando cerne, alburno e casca.

Simpson & TenWolde (1999) e a ASTM Norma 2395-02 apresentam relação entre percentual de umidade e gravidade específica, para um conteúdo de umidade de 0 a 30%. Isso possibilita uniformizar dados de densidade disponíveis, obtidos sob diferentes condições de umidade. Entretanto, as curvas de conversão foram desenvolvidas para espécies temperadas, sendo necessário propor curvas de conversão para a Amazônia. Reyes *et al.* (1992) apresentam um modelo que permite converter densidade aparente (12% de umidade) em densidade básica, baseado em 379 árvores tropicais, conforme abaixo:

$$y = 0,0134 + 0,800 x \quad (R^2=0,988) \quad (\text{eq. 05})$$

Onde:

y = densidade básica (peso seco/volume verde; g/cm<sup>3</sup>),

x = densidade aparente (peso seco ao ar/volume a 12% de umidade; g/cm<sup>3</sup>).

Os modelos apresentados na Tabela 1, para floresta densa da Amazônia central, permitem a conversão de dados de densidade obtidos de amostras do cerne (peso seco/volume verde e volume reidratado) para a densidade básica de todo disco (na altura do peito, ~1,36 m) e para densidade básica média de todo o fuste. Também um modelo que permite a conversão de valores de densidade básica na altura do peito (todo o disco) em densidade básica média de todo o fuste. Esses modelos permitem uniformizar os dados de densidade de madeira para a Amazônia, possibilitando aprimorar as estimativas de densidade para região.

Para o cálculo de densidade média de madeira na Amazônia, é necessário considerar a ocorrência de árvores ocadas, já que a posição do oco no disco pode influenciar a média calculada de todo o disco, devido ausência de madeira mais pesada do centro. Os valores de densidade apresentados neste estudo, foram obtidos através de amostras que incluem, entre elas, amostras de árvores ocadas. Quando presente oco, o cálculo de densidade da fatia do disco foi determinado considerando a madeira não ocada. Desse modo, as médias apresentadas aqui incluem a correção para ocorrência de árvores ocadas, que para as árvores amostradas neste estudo ( $DAP \geq 5\text{cm}$ ), foi de 10 % (Nogueira & Nelson, 2003). Esse percentual inclui ocos de diferentes tamanhos e em diferentes posições do fuste.

## **Influência da ocorrência de oco e irregularidades do fuste na estimativa volumétrica, cálculo do fator de forma e quociente de forma para árvores na Amazônia central.**

### **Resumo**

Para árvores da Amazônia, medidas de diâmetro utilizando fita métrica ou trena superestimam o volume de madeira devido as formas irregulares dos fustes e presença de oco. Nesse estudo, avaliou-se a influência da ocorrência de oco e irregularidades do fuste nas estimativas de volume de madeira de árvores na Amazônia central. Foram utilizadas 300 árvores ( $122 \geq \text{DAP} \geq 5$  cm) amostradas em seis sítios distribuídos numa área de 45 km<sup>2</sup>, situados em floresta primária densa de platô sobre latossolos pobres em nutrientes. Para todas as árvores foram retirados discos transversais: um na altura do peito (~1,36 m ou acima das sapopemas) e outro no final do fuste, logo abaixo da inserção do primeiro galho grosso, sem incluir o espessamento causado pela base do galho. Um total de quatro discos foram retirados em espaçamento igual ao longo do fuste para 73 das árvores. Os discos foram desenhados, fotografados e a área de cada seção com casca determinada na imagem digital pela contagem de pixels. Foram calculados dois diâmetros na altura do peito ou acima das sapopemas para cada árvore. O "DAP corrigido" é o diâmetro de um círculo cuja área é equivalente a área obtida pela contagem de pixels. O "DAP convencional" é o diâmetro baseado no perímetro do fuste, medido com fita métrica no campo, presumindo que a seção seja um círculo perfeito sem oco. Seções ovaladas, outras irregularidades e a presença de ocos significam que o DAP convencional será maior que o DAP corrigido. A frequência das árvores amostradas foram ajustadas por hectare utilizando inventário de 72 hectares. Para árvores com  $\text{DAP} \geq 50$  cm ( $n=18$ ), o DAP convencional foi, em média, 13,5% maior que o DAP corrigido. No final do fuste, o diâmetro convencional foi 7% maior que o diâmetro corrigido, para as mesmas árvores. No cálculo de área basal, somada para todas as árvores com  $\text{DAP} \geq 5$  cm, a superestimativa foi de 11,2% ( $n=296$ ) pelo método convencional e 30% para árvores com  $\text{DAP} \geq 50$  cm ( $n=18$ ). A média de superestimativa da área do disco, por árvore, foi 13,7% ao nível do peito e 8,6% na altura final do fuste ( $\text{DAP} \geq 5$  cm). Considerando as árvores amostradas com  $\text{DAP} \geq 5$  cm ( $n=297$ ), a

superestimativa média por árvore, ajustada para um inventário real, foi de 6,2 % no volume do fuste, e de 12,3% na soma de volume do fuste de todas as árvores, com superestimativa volumétrica maior para árvores maiores. Para árvores com  $DAP \geq 50$  cm a superestimativa volumétrica foi de 21,9%, reduzindo em 20 m<sup>3</sup>/ha as estimativas de volume comercial com casca. Utilizando a fórmula adotada nos cálculos do Projeto RADAMBRASIL, a superestimativa média foi de 5,3% para o volume de árvores com  $DAP \geq 5$  cm (n=297). Para árvores a partir do diâmetro mínimo utilizado pelo RADAMBRASIL ( $DAP \geq 31,8$  cm), a superestimativa foi de 17,4% para o volume de todas as árvores (n=77). O fator de forma (utilizando altura total) para árvores com  $DAP \geq 5$  cm por meio de medições convencionais foi de  $0,766 \pm 0,087$  (média  $\pm 1$  desvio padrão; extremos 0,54-1,06; n=297), e quando corrigido pelo efeito de reentrâncias e oco, foi de  $0,772 \pm 0,105$  (extremos 0,54-1,81). Para as 76 árvores estudadas com  $DAP \geq 31,8$  cm, o fator de forma a partir de volume corrigido e  $DAP$  convencional, foi de  $0,709 \pm 0,126$ . O quociente de forma encontrado para as mesmas árvores através do diâmetro corrigido, foi de  $0,845 \pm 0,079$  (n=70). Ocos de diferentes tamanhos foram encontrados em 31 (10,0%) das 310 árvores amostradas ( $DAP \geq 5$  cm). Ao nível do peito, apenas 7,7% das árvores apresentavam ocos e estes ocupavam apenas 9% da área da transeção, em média. Somada a área basal de todas as árvores, os ocos na altura do peito ou logo acima das sapopemas, ocupavam apenas 1,1%. Na altura final do fuste, a área ocada foi de 0,8% da área total nesta mesma altura para todas as árvores. Não foi encontrado oco maior que 30% da área da seção do fuste em qualquer altura do fuste. Em 3,2% das árvores foram encontrados ocos na altura final do fuste. Poucas árvores (0,3%) apresentaram ocos na altura final do fuste e também na altura do peito. Quando desconsiderada a ocorrência de oco, houve superestimativa de apenas 0,6% no volume do fuste de todas as árvores comparado com o volume obtido por meio de  $DAP$  corrigido para efeitos de reentrâncias e oco (fórmula de Smalian). A superestimativa de volume provocada por irregularidades e oco não influencia as estimativas de biomassa realizadas a partir de volume inventariado do Projeto RADAMBRASIL.

## 1. Introdução

Estimativas consistentes de volume de madeira são determinantes para implementação de um eficiente manejo florestal, quantificação de recursos florestais, estudos de dinâmica de carbono e outros nutrientes (Sharma, 2002; Moura, 1994; Higuchi & Ramm, 1985). As estimativas volumétricas têm sido realizadas através de equações desenvolvidas a partir de medições de diâmetro, altura total e/ou comercial e uma variável de correção de forma (Figueiredo Filho *et al.*, 1993). Para Amazônia central, Higuchi *et al.* (1997), Ribeiro (1996), Moura (1994), Higuchi e Ramm (1985) e Fernandes *et al.* (1983), apresentam modelos que possibilitam realizar estimativas volumétricas a partir de variáveis de fácil medição, como DAP (diâmetro na altura do peito), ou modelos derivados de equações de afilamento. Fórmulas geométricas também têm sido aplicadas para obtenção de volume de seções do fuste (Smalian, Huber, Newton) com uso de diferentes fatores de forma e/ou quocientes de forma (Jonson, 1910; Hohenadl, 1924; Girard, 1933; Mitscherlich, 1942; Husch *et al.*, 1982; Moura, 1994; Ribeiro, 1996). Para a Amazônia, os modelos desenvolvidos adotaram como referência de volume real as estimativas obtidas por meio da fórmula de Smalian (eq. 01) ou Huber (eq. 02), aplicadas em seções do fuste:

$$v = (g_i + g_s) \cdot 0,5 \cdot l \quad (\text{eq. 01})$$

$$v = g_m \cdot l \quad (\text{eq. 02})$$

Onde:

$g_i$  = Área da seção inicial,  $g_s$  = Área da seção final,  $g_m$  = média entre  $g_s$  e  $g_i$ ;  $l$  = comprimento da seção de fuste.

A fórmula de Smalian e Huber expressam o volume do "frustrum de parabolóide" (Larsen, 2000). Geralmente, estas fórmulas são aplicadas ao longo do fuste, exceto na última seção, que é aplicada a fórmula volumétrica de frustrum de cone (eq. 03), recomendada por Anuchin (1970):

$$v = \{g_i + (g_s \cdot g_i)^{\frac{1}{2}} + g_s\} \cdot 3^{-1} \cdot l \quad (\text{eq. 03})$$

Funções de afilamento têm sido desenvolvidas para melhor representação da morfologia do fuste, objetivando descrever matematicamente o perfil longitudinal do fuste (Ribeiro, 1996). Moura (1994) demonstra que a determinação de equações de volume derivadas de equações de afilamento, permitem obter para árvores da Amazônia, estimativas volumétricas com razoável precisão.

Fatores e quocientes de forma têm sido utilizados para ajustar estimativas realizadas por meio de fórmulas geométricas. O fator de forma tem sido calculado através da relação entre dois volumes (do fuste e de um cilindro com a mesma área basal) e o quociente de forma baseado na relação entre o diâmetro na metade do fuste e o diâmetro na altura do peito (Campos *et al.*, 1993; Husch *et al.*, 1982; Jorge, 1982). Para Amazônia, o RADAMBRASIL, maior inventário na região, realizado com intuito de elaborar um mapa de explotabilidade, adotou o índice 0,7 como fator de forma, usado indistintamente para todas as espécies sem considerar a classe de diâmetro ou o comprimento do fuste (Projeto RADAMBRASIL, V. 18, p.17). O fator de forma utilizado pelo RADAMBRASIL foi adotado também por Pitt (1961, p. 20) em florestas da Amazônia. Heinsdijk & Bastos (1963) estimaram que o fator de forma médio para a Amazônia é 0,712 para obter o volume com casca e 0,65 para o volume sem casca, usando o diâmetro com casca. Moura (1994), estudando 7 espécies de árvores em floresta densa na Amazônia central, demonstrou que o fator utilizado no RADAMBRASIL pode superestimar em 12,8% e subestimar em 10,9% o volume de uma espécie. Moura (1994) reporta como valor para o fator de forma absoluto,  $0,75 \pm 0,07$  (média  $\pm$  desvio padrão,  $n=710$ ), obtido para árvores com  $DAP \geq 45$  cm pela relação entre o volume do fuste segundo Smalian e o produto entre a área da seção no DAP e a altura do fuste.

Nos cálculos de volume, bem como do fator de forma e quociente de forma, o fuste é sempre tratado como um sólido de revolução (Ahrens & Holbert, 1981), presumindo que qualquer seção transversal em qualquer ponto ao longo do fuste seja circular. Isso também é presumido para funções de afilamento. Este pressuposto não condiz com a realidade das árvores da Amazônia. Em florestas tropicais, as medidas de diâmetro são efetuadas acima de sapopemas ou protuberâncias. Mesmo assim, podem incluir quinas

associadas com as sapopemas em formação (Clark, 2002; Clark & Clark, 2000; Sheil, 1995). Reentrâncias e formas ovaladas dificultam a obtenção da área real de qualquer seção, mesmo quando mensurado acima de sapopemas. As medições convencionais de área e volume são obtidas por meio do perímetro do fuste, sendo utilizada normalmente fita métrica, que presumem um círculo perfeito. De acordo com Ribeiro et al. (1999) na Amazonia fustes irregulares (denominados como "fenestrado" e "acanalado") ocorrem em várias famílias, como Apocynaceae (*Aspidosperma nitidum* Benth.), Olacaceae (*Minquartia guianensis* Aubl.), Leguminosae (*Swartzia* sp.), Euphorbiaceae (*Pausandra macropetala* Ducke), Melastomataceae (*Miconia splendens* Griseb) e Rubiaceae (*Amaioua guianensis* Aubl.). Desse modo, para muitas espécies da floresta, o método convencional de determinação da circunferência significa superestimativa da área basal, sendo necessário avaliar qual é a eficiência dessas medições de circunferência para florestas da Amazônia na determinação do volume real e da biomassa, e as correções necessárias para obtenção de estimativas mais precisas. Na Amazônia, as irregularidades de forma do fuste tendem a apresentar variações mais acentuadas em árvores maiores, que também apresentam maior frequência de oco (Clark & Clark, 2000; Fearnside, 1997b; Fearnside, 1992).

A ocorrência de ocos também deve ser considerada nas estimativas de volume de madeira e nos planos de manejo. Além das implicações nas determinações volumétricas, a ocorrência de oco está geralmente relacionada com a dinâmica ecológica da floresta, como a presença de termitas (Amelung et al., 2002), queda de árvores causadas por ventos e cipós (Putz et al., 1983); taxas de turnover, idade das árvores, abertura de clareiras e conseqüente recrutamento de pioneiras. A inexistência de estimativas confiáveis de volume de oco dificulta a elaboração de plano de manejo provocando incertezas na avaliação do potencial econômico de áreas planejadas para exploração. Igualmente, nos estudos de quantificação de biomassa, a ocorrência de ocos pode promover erros nas estimativas de volume de madeira, resultando em superestimativa de biomassa estocada quando os cálculos se baseiam em inventários comerciais (Brown & Lugo, 1992; Fearnside, 1997b). Para a Amazônia, as estimativas de volume de oco tem variado de 9,2-1,6% do fuste

(Fearnside, 2000, 1997b, 1992; Clark & Clark, 2000; I. F. Brown *et al.*, 1995; Brown & Lugo, 1992).

## 2. Material e Métodos

### 2.1. Local de coleta

A área de coleta se localiza a cerca de 50 km a noroeste de Manaus-AM/Brasil (60,16°W, 2,83°S), na região do Projeto de Assentamento Rural Tarumã-Mirim, sob sítios de platô, em seis diferentes lotes de pequenos produtores rurais. A região apresenta precipitação anual média de 2075 mm, com média mensal abaixo de 100 mm.mes<sup>-1</sup> entre julho e setembro, altitude média de 100 m e temperatura com menor média mensal de 26 °C e maior média mensal de 27,6 °C (INMET, 2003). A vegetação é caracterizada como sendo floresta ombrófila densa de terra-firme (não inundada sazonalmente), sob latossolo amarelo pobre em nutrientes (Magnago *et al.*, 1978; Yamazaki *et al.*, 1978). Foi permitida a derrubada de árvores aleatoriamente, por ser uma nova frente de colonização (<5 anos) com desmatamento para uso agrícola já planejado e autorizado pelo órgão ambiental brasileiro (IBAMA). Os seis sítios escolhidos para derrubada foram de floresta primária, com bordas isoladas nos últimos cinco anos, e sem clareiras naturais recentes. Os locais de coleta não apresentavam crescimento de pioneiras associadas com o desmatamento. As árvores amostradas foram as mesmas utilizadas no Capítulo 1 para o estudo de densidade. Conforme a Tabela 1, foi amostrado um número de árvores grandes (DAP≥50cm) similar ao número observado por hectare em floresta densa na Amazônia central, conforme inventário de 72 hectares (C. Volkmer & W. Magnusson, não publicado). Para árvores com DAP<50 cm, a distribuição de árvores por classe diamétrica, em intervalos de 5 cm de DAP, foi igualada às frequências observadas no inventário de 72 ha (Tabela 1). Esse procedimento foi realizado através do sorteio e replicação de árvores que compunham o conjunto de dados amostrado aleatoriamente no campo. A Tabela 1 demonstra o número real de árvores coletadas por classe diamétrica e os fatores de replicação aplicados a cada classe.

**Tabela 1.** Número de árvores amostradas por tamanho de classe e fatores de replicação utilizados para igualar a frequência para Amazônia central, a partir de 72 ha inventariadas.

DAP Convencional	Nº de árvores amostradas	Fator de Replicação*	Caules/ha
≥05 - <10	36	19.8	714
≥10 - <15	45	5.6	253
≥15 - <20	52	2.6	136
≥20 - <25	41	1.9	77
≥25 - <30	37	1.3	47
≥30 - <35	27	1.1	30
≥35 - <40	15	1.5	22
≥40 - <45	17	1.0	17
≥45 - <50	13	1.0	13
≥50 - <55	3	2.0	6
≥55 - <60	6	1.0	6
≥60 - <65	3	1.0	3
≥65 - <70	2	1.0	2
≥70 - <75	1	1.0	1
≥75 - <80	1	1.0	1
≥80 - <85	0	-	0
≥85 - <90	2	1.0	2
≥90 - <95	1	1.0	1
≥95 - <100	0	-	0
≥100 - <105	0	-	0
≥105	1	1.0	1
Total	303	-	1332

\* Fatores de replicação são valores que multiplicados pelo número de árvores amostradas em cada classe de diâmetro resultam na frequência de árvores esperadas por classe em florestas da Amazônia central (i.e., o quociente de "caules/ha" dividido por "número de árvores amostradas").

## 2.2. Avaliação das medidas de circunferência para obtenção de volume de fuste.

Foram coletadas 300 árvores (DAP≥5cm) em seis diferentes parcelas distribuídas numa área de 45 km<sup>2</sup>, sendo amostradas aproximadamente 50 árvores/sítio, em parcelas de 30 m x 30 m. Para todas as árvores foram coletadas amostras botânicas e retirados discos de espessura constante (~3cm) na altura do peito e na altura final do fuste, através do uso de motosserra. Para 73 árvores escolhidas aleatoriamente entre as 300, foram coletados, além dos discos na altura do peito e na altura final do fuste, discos intermediários, posicionados a 33% e 66% do comprimento entre a altura do peito e a altura do primeiro galho grosso. Para todas as árvores foram medidas:

altura total, altura do fuste e circunferência com fita métrica, em cada local de amostragem de disco. As medições ao nível do peito foram realizadas a 1,36 m acima do solo ou logo acima das sapopemas, quando presentes. Cada disco foi desenhado num painel, através do margeamento da borda e detalhes internos. Os desenhos identificados foram fixados em parede e fotografados com lente de 80 mm a uma distância de 4 m, com ângulo reto (planos vertical e horizontal) entre a máquina e o painel. O tamanho dos pixels nas fotos digitais foi determinado utilizando a distância conhecida entre quatro marcas de registro, horizontal e vertical, posicionadas próximo aos cantos do painel. Este procedimento fornece uma escala espacial média para toda a área do painel, pois há uma pequena mudança da escala espacial na foto digital (0,6%) entre o centro e as extremidades do painel. A máquina digital foi ajustada objetivando minimizar a curvatura no plano fotografado (Exposição: f/5.6, com teleobjetiva de 80 mm). No entorno dos painéis foi desenhado um retângulo com dimensões conhecidas, visando permitir correções para possíveis distorções no procedimento e também determinada a escala da imagem digital (área ocupada por um pixel).

Através do programa Adobe Photoshop 4.0 foram selecionados todos os pixels correspondentes a áreas não ocas de cada figura registrada no painel, utilizando a imagem com ampliação de 600%, para garantir preenchimento perfeito de cada desenho. A área foi determinada em pixels, sendo posteriormente convertida para centímetros quadrados e comparada com a área de seção obtida pelo método tradicional, que considera o perímetro medido com fita métrica no campo como a circunferência de um círculo perfeito e sem ocos.

O atributos biométricos diâmetro, área basal e volume denominados "corrigidos" foram obtidos pela medição da área real de seções do fuste, obtida pela contagem de pixels, corrigidos portanto para o efeito de formas não-circulares e oco. O diâmetro corrigido, por exemplo, seria o diâmetro de um círculo perfeito com uma área igual à área determinada por contagem de pixels da seção irregular retirada de uma árvore. Aqueles atributos biométricos referidos como "convencionais" são baseados em medições realizadas com fita métrica, presumindo (erroneamente) que a seção seja um círculo perfeito e sem oco. Portanto, seções ovaladas, outras irregularidades e a presença de

ocos significam que os atributos biométricos "convencionais" serão maiores que os atributos "corrigidos".

A partir das áreas de seção determinadas após correção para formas não-circulares e ocorrência de oco, foram calculados os volumes de cada fuste através da fórmula de Smalian. Esse procedimento foi adotado para 73 árvores, para as quais as seções foram amostradas em quatro posições ao longo do fuste, e também para as outras 230 árvores, em que foram amostradas seções apenas na altura do peito e na altura de inserção do primeiro galho grosso. A partir dos volumes corrigidos, foram desenvolvidos dois modelos de estimativa volumétrica capazes de estimar o volume corrigido do fuste a partir de medições convencionais de DAP.

### 2.3. Fator e quociente de forma

Para a determinação do fator de forma, foi utilizado o modelo adotado por Assmann (1970) e Moura (1994), conforme (eq. 04). Para o quociente de forma foi adotado o procedimento descrito na (eq. 05), como segue abaixo:

$$F_f = V_a \cdot (A_s \cdot ht)^{-1} \quad (\text{eq. 04})$$

$$Q_f = (\text{Diâmetro médio de } h_{33\%} \text{ e } h_{66\%}) \cdot \text{DAP}^{-1} \quad (\text{eq. 05})$$

Onde:

$F_f$  = fator de forma absoluto

$V_a$  = Volume corrigido do fuste utilizando Smalian

$A_s$  = Área corrigida da seção transversal, na altura do peito

$ht$  = Altura total;  $h$  = Altura do fuste (m)

$Q_f$  = quociente de forma, baseado em diâmetros corrigidos. O diâmetro foi determinado um pouco acima da metade da altura, diferente do conceito de quociente de forma absoluto de Jonson (1910), mas entre  $h_{33\%}$  e  $h_{66\%}$ .

$h_{33\%}$ ,  $h_{66\%}$ , = alturas em que foram determinados os diâmetros corrigidos, localizados entre os dois extremos de altura 1,36 m (0%) e o topo do fuste (100%).

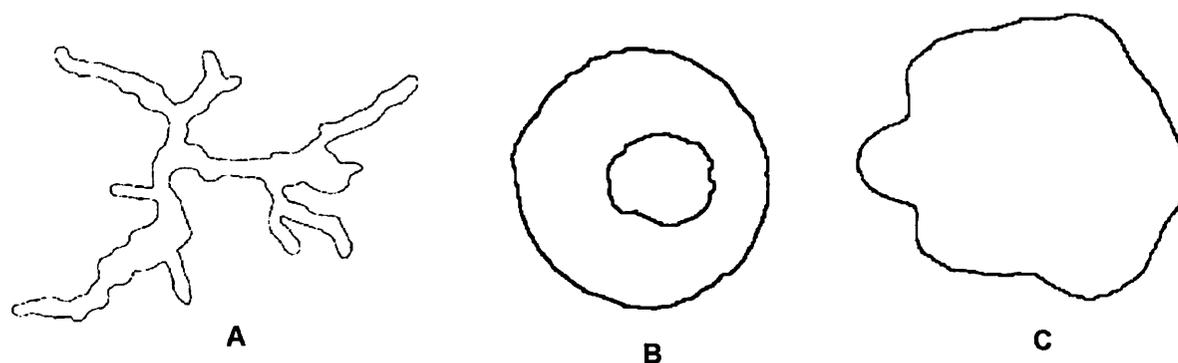
## 2.4. Identificação botânica

Todas as amostras botânicas foram identificadas por botânicos práticos experientes (parabotânicos), funcionários do Herbário do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA. Para as árvores amostradas aleatoriamente, foram identificadas cerca de 186 diferentes espécies ou morfo-espécies.

## 3. Resultados

### 3.1. Efeito de forma não-circular e de oco nas medidas de área da seção

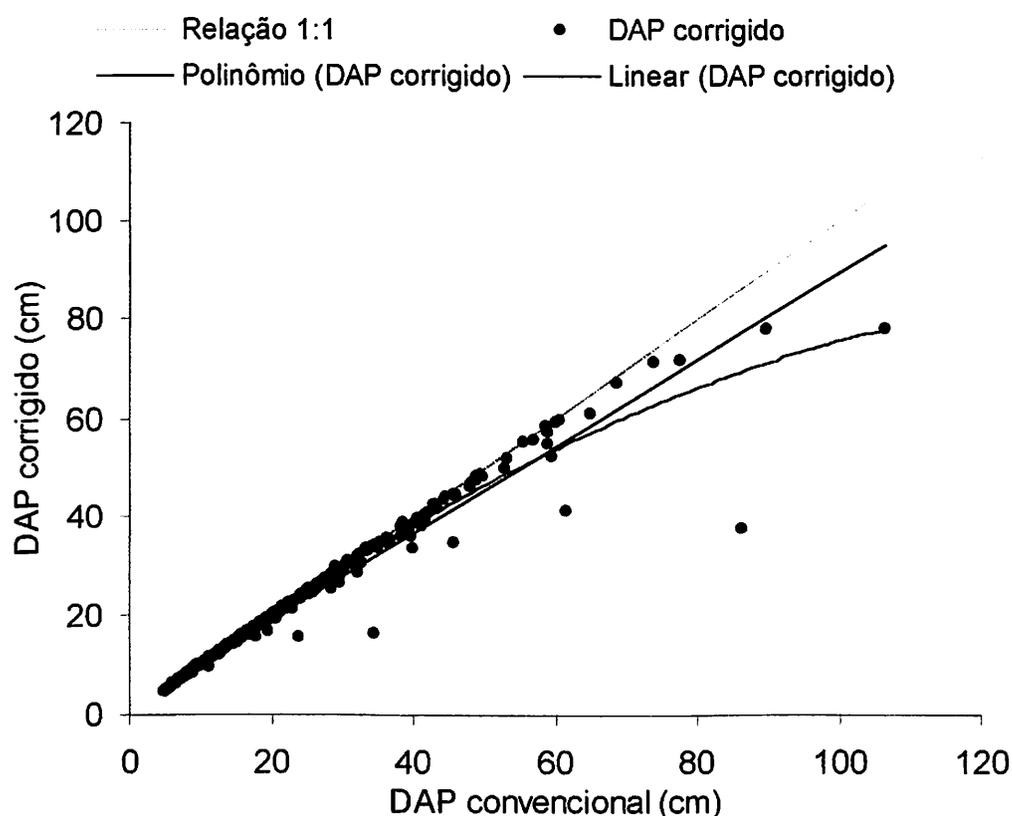
Para espécies que apresentam irregularidades acentuadas no fuste, as medições convencionais de área basal podem superestimar em até 400% a área real de madeira da seção transversal com casca na altura do peito (Figura 1). Quando a amostra de todas as árvores ( $DAP \geq 5\text{cm}$ ) foi ajustada para representar a verdadeira distribuição de frequência de classes de diâmetro em floresta de terra firme da Amazônia central, o "diâmetro corrigido" na altura do peito foi, em média, 5% menor que o diâmetro obtido de forma convencional ( $n=297$ ). O diâmetro obtido pelo método tradicional na altura final do fuste foi apenas 3,6% maior, em relação ao diâmetro corrigido ( $DAP \geq 5\text{cm}$ ).



Espécie :	A <i>Aspidosperma</i> sp. (Carapanaúba)	B <i>Pouteria cladantha</i> (Leitera)	C <i>Pouteria</i> sp. (Abiurana)
(1) Área convencional (cm <sup>2</sup> )	5865,83	319,86	630,33
(2) Área corrigida (cm <sup>2</sup> )	1133,116	252,04	555,85
Superestimativa (%)	417,67	26,9	13,40

**Figura 1.** Discos transversais de fustes de árvores encontradas na floresta densa da Amazônia central, com duas áreas: (1) presumindo que o DAP obtido no campo se refere a uma seção circular e (2) área corrigida para efeito de formas não circulares e oco.

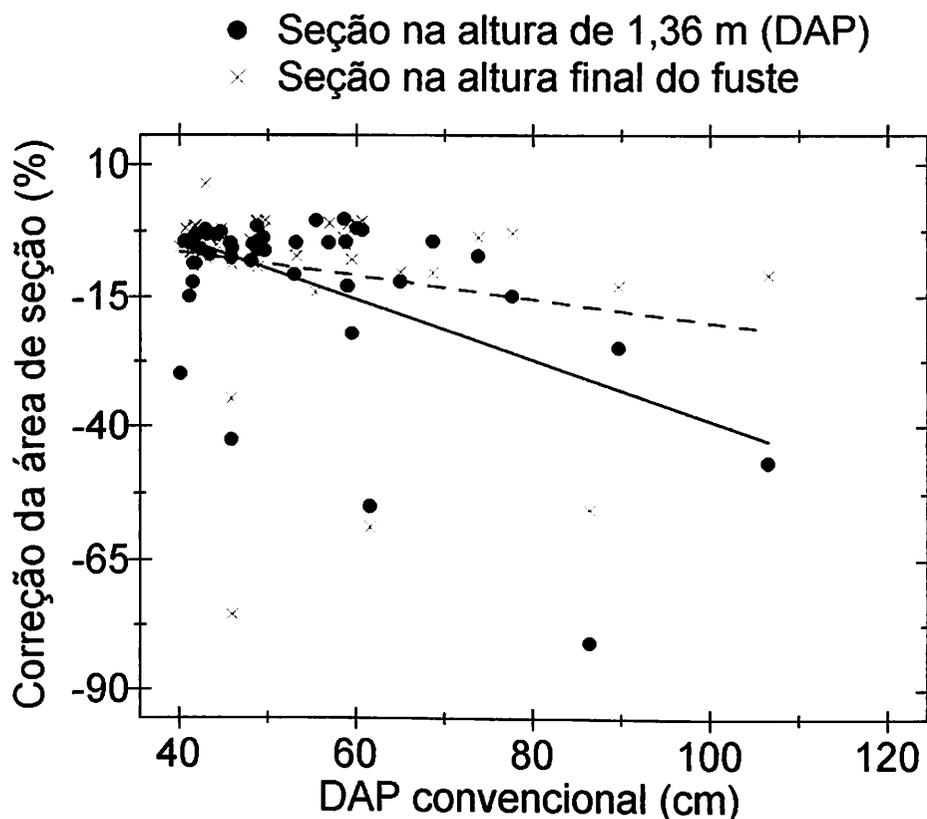
A superestimativa nas medidas de diâmetro, promovida por forma não-circular e oco, é maior para árvores maiores (Figura 2). Para árvores com  $DAP \geq 50$  cm, na altura do peito o diâmetro médio convencional foi 13,5% maior que o DAP médio corrigido, e na altura final do fuste, a superestimativa no diâmetro foi de 7%, em média ( $n=18$ ). Não houve diferença estatística quando comparada a curva de distribuição diamétrica das árvores com  $DAP \geq 50$  cm deste estudo com inventários para a floresta densa na Amazônia central, conforme Jardim & Hosokawa (1986). Portanto, os efeitos da forma não-circular da seção do fuste, junto com a ocorrência de oco, diminuem com a altura no fuste.



**Figura 2.** Comparação de medições de DAP quando utilizada fita métrica e presumida seção circular (DAP convencional), ou através da delimitação precisa da área da seção do fuste (DAP corrigido), eliminando efeito de forma não-circular da seção e de ocorrência de oco.

Pelo método tradicional, a área basal individual, somadas todas as árvores no estudo ( $n=296$ ), foi 11,2% maior que a estimativa usando as áreas corrigidas. A média de superestimativa da área do disco, por árvore, foi 13,7%

ao nível do peito e 8,6% na altura final do fuste (Figura 3). Para árvores com  $DAP \geq 50$  cm, a superestimativa para área de seção ao nível do peito foi de 30% ( $n=18$ ).



**Figura 3.** Correções para áreas de seção transversal do fuste na altura do peito e na altura final do fuste, quando eliminado efeito de forma não-circular, e ocos ( $DAP \geq 40$  cm). Linha cheia corresponde aos valores ao nível do peito.

### 3.2. Estimativa volumétrica

Na Tabela 2 e Figura 5 são comparadas estimativas de volume de fuste com casca obtidas por três diferentes modelos empregados anteriormente na Amazônia. São apresentados também, dois modelos (eq. 06 e eq. 07; Figura 06) baseados nos dados coletados neste estudo e que possibilitam estimar volume do fuste corrigido, considerando a forma não-circular e ocorrência de ocos. O ajuste apresentado na equação 06 está baseado em medidas de área de seção corrigida em quatro posições ao longo do fuste. A equação 07 está baseada em áreas corrigidas para apenas duas posições no fuste. Em ambos os casos, não foram consideradas árvores maiores que 80 cm de DAP

convencional, devido à grande dispersão dos valores de volume para as três árvores >80 cm neste estudo e a alavancagem do modelo pelos valores extremos (Figura 4).

**Tabela 2.** Comparação de estimativas aplicando modelos alométricos de volume do fuste comercial desenvolvidos para floresta tropical densa de terra firme na Amazônia central.

Autor	Modelo	$R^2$ (MSE)	Erro padrão dos coeficientes		Intervalo de DAP apropriado	Volume com casca esperado pelos modelos e somado para todas as árvores ( $m^3$ )		Superestimativa (%) do modelo, quando comparado com volume corrigido total, obtido através da fórmula de Smalian <sup>a</sup>	
			$\alpha$	$\beta$		n=294	n=70	n=294 <sup>b</sup>	n=70 <sup>c</sup>
<sup>a</sup> Este estudo - volume determinado a partir de duas seções do fuste	$v = \exp\{2,524 \cdot \ln(D) - 8,867\}$	0,972 <sup>(0,252)</sup>	0,025	0,078	80 ≥ DAP ≥ 5 (n=294)	220,5	68,9	-0,3	4,3
<sup>a</sup> Este estudo - volume determinado a partir de quatro seções do fuste	$v = \exp\{2,394 \cdot \ln(D) - 8,428\}$	0,966 <sup>(0,259)</sup>	0,055	0,179	(60 ≥ DAP ≥ 5 cm) n = 70	215,3	66,0	-2,7	0,0
<sup>e</sup> Schumacher testado por Fernandes <i>et al.</i> , 1983	$v = 3,2917076 \cdot D^{2,15715791} \cdot H^{0,42020427}$		-	-	(n=235)	214,9	95,1	-2,8	44
<sup>e</sup> Schumacher-Hall, 1933 testado por Higuchi e Ramm, 1985	$v = \exp\{0,072 + 2,096 \cdot \ln(D) + 0,836 \cdot \ln(H)\}$		-	-	(n=715)	241,3	76,5	9	16
<sup>e</sup> Higuchi <i>et al.</i> , 1997	$v = \exp\{-7,335 + 2,121 \cdot \ln D\}$		-	-	DAP ≥ 10 cm (n = 752)	235,2 <sup>d</sup>	71,8 <sup>d</sup>	6,7	8,9

<sup>a</sup> Volume do fuste com casca, corrigido para ocorrência de oco e forma não-circular das seções

<sup>b</sup> Fórmula de Smalian aplicada a duas seções (um segmento) do fuste

<sup>c</sup> Fórmula de Smalian aplicada a quatro seções (três segmentos) do fuste

<sup>d</sup> Árvores abaixo de 10 cm de DAP não foram consideradas nas estimativas

<sup>e</sup> Volume do fuste considerado um sólido de revolução

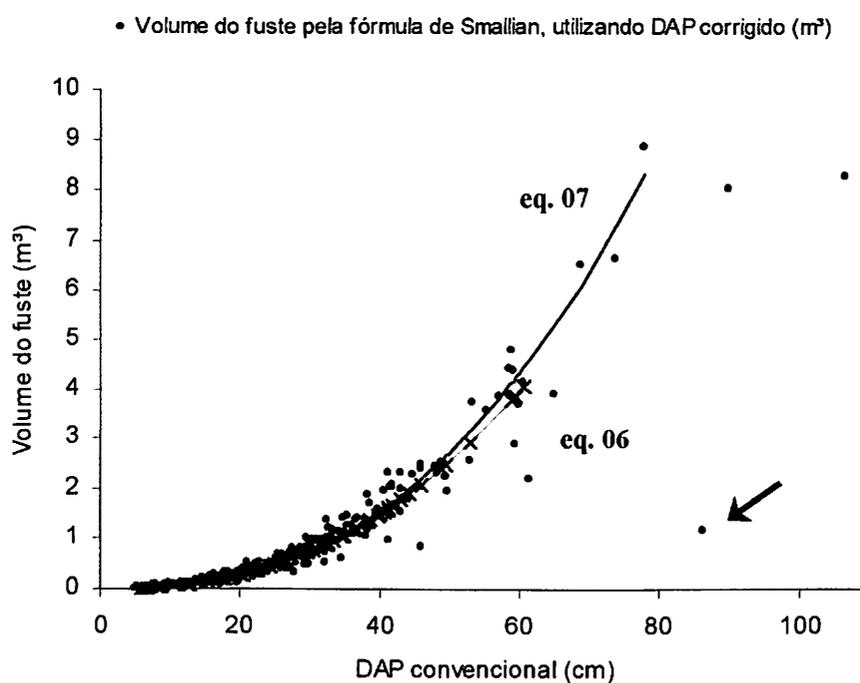
$$\ln(V) = 2,394 \cdot \ln(\text{DAP}) - 8,428 \quad (\text{eq.06})$$

$$\ln(V) = 2,524 \cdot \ln(\text{DAP}) - 8,867 \quad (\text{eq.07})$$

Onde:

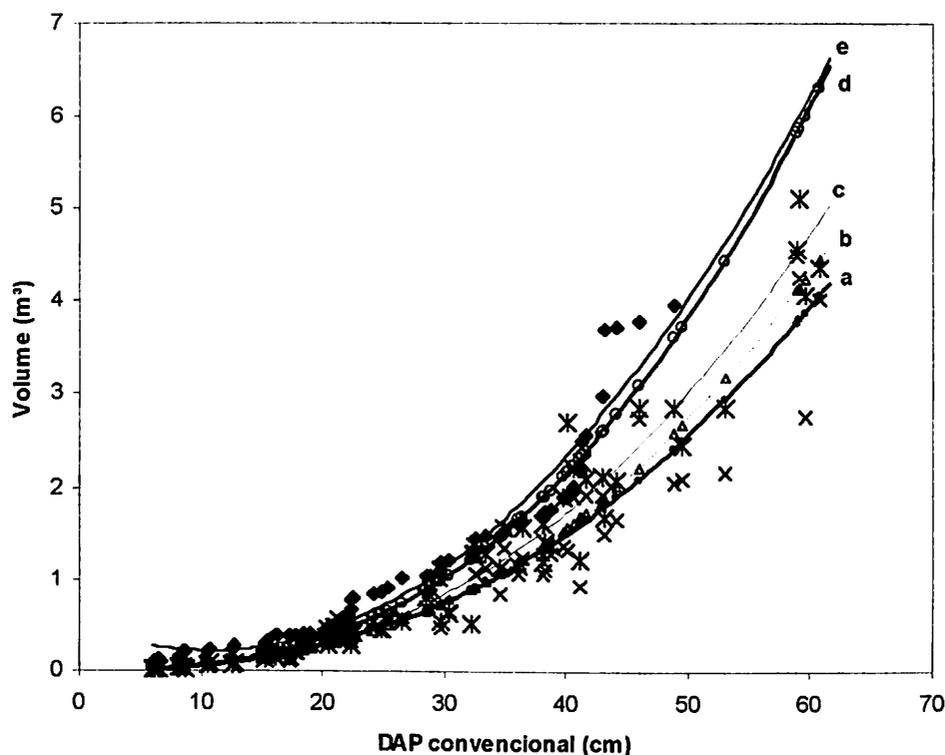
V = Volume comercial com casca corrigido para ocorrência de oco e seção não-circular ( $\text{m}^3$ )

DAP = Diâmetro convencional obtido na altura do peito (~1,36 m ou acima das sapopemas)

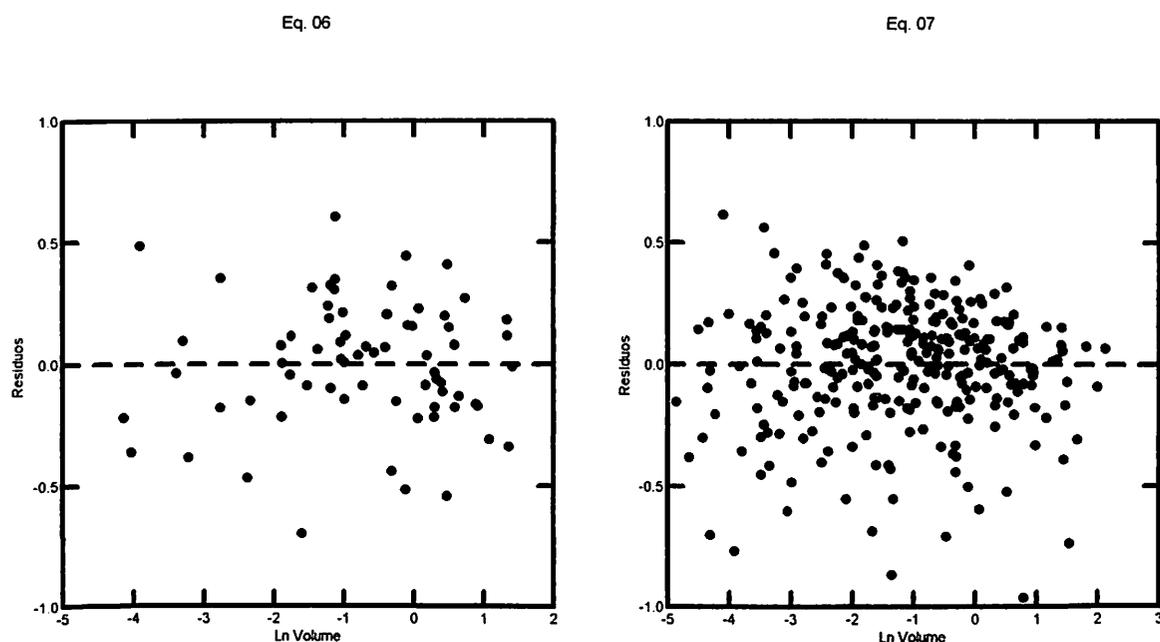


**Figura 4.** Ajuste dos modelos descritos nas equações 06 e 07, plotado com o volume do fuste para todas as árvores, incluindo árvores com  $\text{DAP} \geq 80\text{cm}$ . A árvore indicada pela seta é a espécie *Swartzia polyphylla* (paracutaca, carapanaúba), que apresenta fuste com acentuadas reentrâncias.

- × Volume obtido por meio de cubagem, corrigido para formas não circulares e oco - (a)
- △ Volume estimado pelo modelo desenvolvido neste estudo (n=294):  $\exp(2.524 \cdot \ln(\text{DAP}) - 8.867)$  - (b)
- ◆ Volume obtido pelo modelo de Higuchi et al., 1997:  $\ln V = -7.335 + 2.121 \cdot \ln \text{DAP}$  - (d)
- Volume obtido pela fórmula de Schumacher:  $V = 3.2917076 \cdot \text{DAP}^2 \cdot 1.5715791 \cdot H^{0.42020427}$  - (e)
- ✕ Modelo de Schumacher-Hall:  $\log V = 0.072 + 2.096 \cdot \ln D + 0.836 \cdot \ln H$  - (c)
- Modelo que descreve o volume pela cubagem (n=70):  $\ln V = \exp(2.394 \cdot \ln(\text{DAP}) - 8.428)$  - (a)



**Figura 5.** Volume do fuste comercial obtido por diferentes modelos empregados na Amazônia central (linhas c, d & e) e comparado com dois modelos baseados em volume corrigido para ocorrência de oco e forma não-circular das seções do fuste (linhas a & b). Linha (a): volume corrigido determinado a partir de quatro seções do fuste (70 árvores com DAP entre 5 e 60 cm); linha (b): volume corrigido determinado a partir de duas seções do fuste (294 árvores com DAP entre 5 e 80 cm). Três árvores maiores de 80 cm não foram consideradas.



**Figura 6.** Distribuição de resíduos em unidades de Ln(volume) para os modelos descritos nas equações 06 e 07.

Considerando as árvores amostradas com  $DAP \geq 5\text{cm}$  ( $n=297$ ), houve superestimativa média por árvore de 6,2 % no volume do fuste, e de 12,3% na soma de volume do fuste de todas as árvores, no caso de volume obtido através de medições convencionais de DAP, comparado com as medições que eliminem o efeito de forma não-circular do fuste e a ocorrência de oco. Para árvores com  $DAP \geq 50\text{cm}$  a superestimativa volumétrica foi de 21,9%, reduzindo em  $20 \text{ m}^3/\text{ha}$  as estimativas de volume comercial com casca. A fórmula de Smalian foi utilizada em ambos os casos. A diferença de estimativa volumétrica foi maior para árvores maiores (Figura 7). As espécies que apresentaram maior superestimativa volumétrica quando utilizadas medidas convencionais de diâmetro foram: *Minquartia guianensis* Aubl. (Aquariquara,  $DAP= 45,8 \text{ cm}$ ), 40%; *Eschweilera pseudodecolorans* S.A.Mori (Matamatá,  $DAP= 23,9 \text{ cm}$ ), 43%; *Cupania scrobiculata* L.C.Rich. (Espeturana,  $DAP=34,5 \text{ cm}$ ), 48%; *Aspidosperma discolon* A.D.C. (Carapanaúba,  $DAP=61,5 \text{ cm}$ ), 57% e *Swartzia polyphylla* DC. (Paracutaca,  $DAP=86,42 \text{ cm}$ ) com 76%.

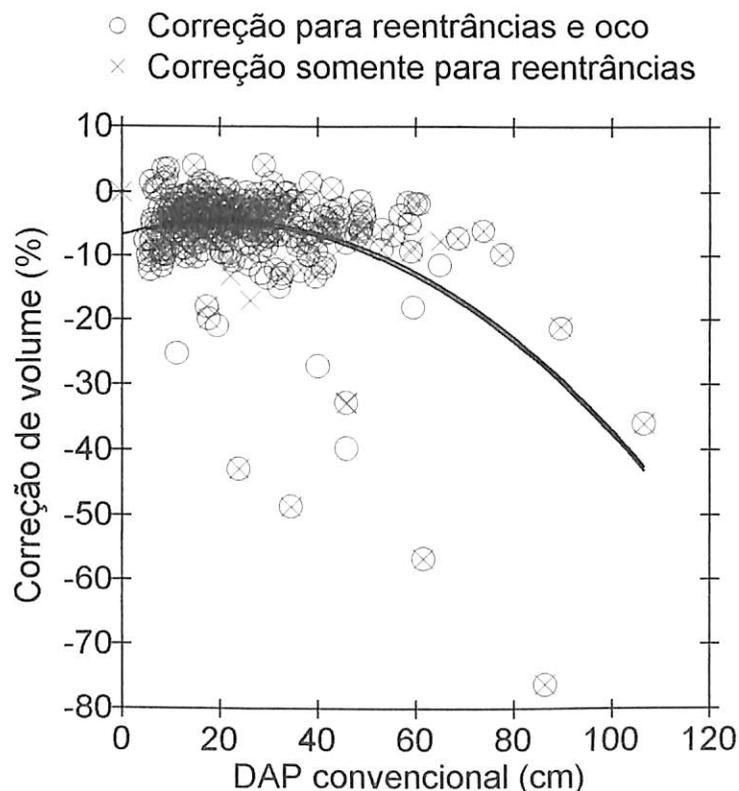
Quando comparada a estimativa volumétrica obtida pelo diâmetro corrigido e diâmetro convencional através da fórmula (eq. 08) utilizada pelo

RADAMBRASIL (folha 20A, volume 18, p. 17), verificamos que houve superestimativa média de 5,3% por árvore (n=297), quando consideradas todas as árvores acima de 5 cm de DAP. Avaliando árvores a partir do diâmetro mínimo utilizado pelo RADAMBRASIL (DAP≥31,8 cm), houve superestimativa de 17,4% (n=77) para o volume total de todas as árvores.

$$V = \pi/4 * dap * h * ff \quad (\text{eq. 08})$$

Onde:

V = volume com casca, dap = diâmetro na altura do peito, h = altura comercial (m), ff = fator de forma: 0,7.

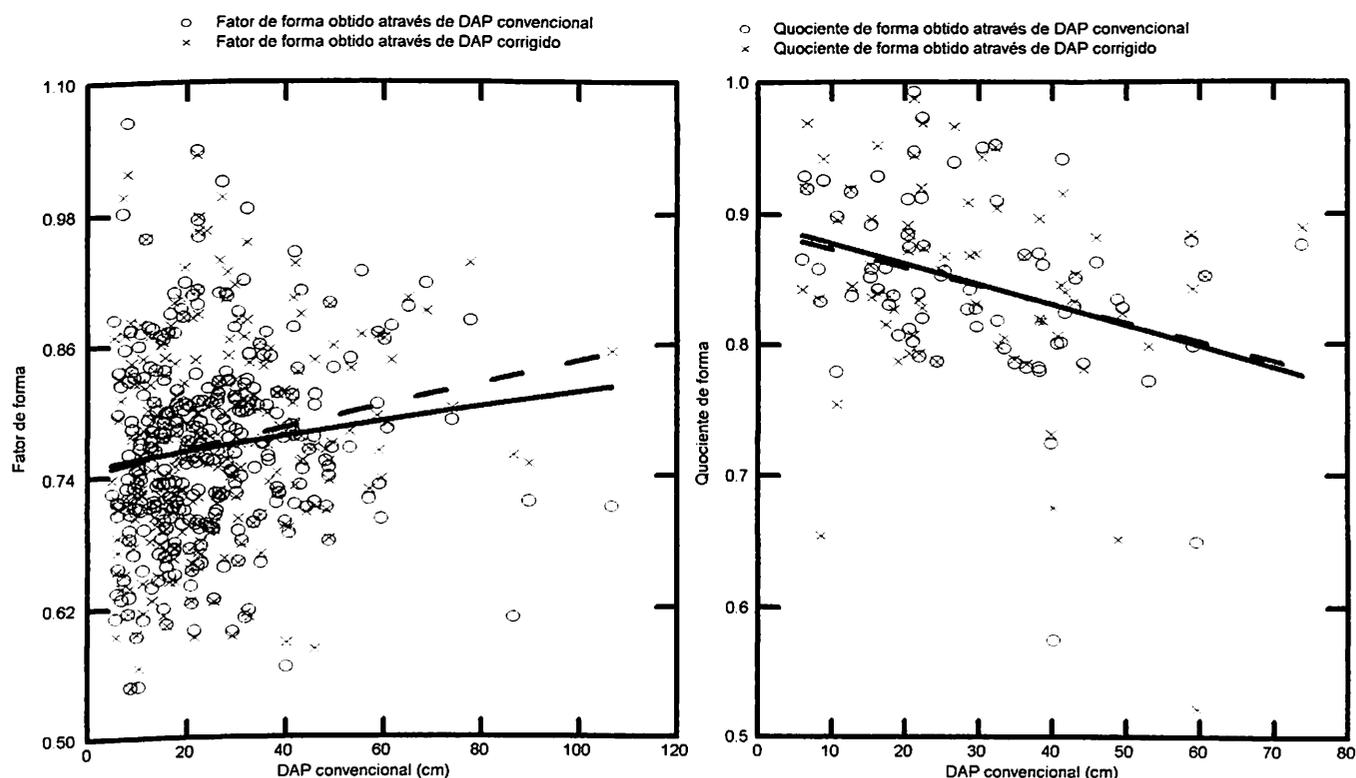


**Figura 7.** Estimativa do volume do fuste diminui quando utilizado o DAP corrigido, comparado com DAP convencional. A correção torna-se mais forte para árvores maiores. Ambos os volumes foram baseados no modelo de Smalian, (DAP≥5 cm, n=299). O efeito de oco é muito menor que o efeito da forma não-circular das seções.

### 3.3. Fator de forma e quociente de forma

O fator de forma calculado segundo Assmann (1970) para todas as árvores (DAP≥5cm) por meio de medições convencionais foi de  $0,766 \pm 0,087$  (média  $\pm$  1 desvio padrão; extremos 0,54-1,06; n=297), e quando corrigido

pele efeito de forma e oco, foi de  $0,772 \pm 0,105$  (extremos 0,54-1,81). O valores são efetivamente iguais, porque o DAP corrigido e o volume corrigido são ambos reduzidos, comparados com o DAP convencional e o volume convencional. O fator de forma (utilizando altura) obtido através de volume real do fuste e DAP convencional, foi de  $0,718 \pm 0,102$ . Para árvores com  $DAP \geq 31,8$  cm, diâmetro mínimo inventariado pelo RADAMBRASIL, o fator de forma a partir de volume corrigido e DAP convencional, foi de  $0,709 \pm 0,126$  ( $n=76$ ). O fator de forma médio para árvores com  $DAP \geq 45$  cm (exploração comercial), não foi estatisticamente diferente, sendo,  $0,788 \pm 0,079$  (0,61-0,92;  $n=30$ ) quando utilizado diâmetro convencional e  $0,794 \pm 0,077$  (0,58-0,93) utilizando diâmetro corrigido. O quociente de forma determinado com e sem correções de diâmetros foram, respectivamente:  $0,845 \pm 0,079$  (extremos 0,52-0,98;  $n=70$ ) e  $0,846 \pm 0,068$  (extremos 0,57-0,99;  $n=70$ ). Novamente, os valores com e sem correção não são diferentes, porque ambos os diâmetros foram reduzidos pela correção (Figura 8).



**Figura 8.** Fator de forma ( $n=296$ ) segundo Assumann (1970) e quociente de forma ( $n=70$ ) segundo Jonson (1910), obtidos por meio dos diâmetros e volumes convencionais (linha cheia) e corrigidos (linha pontilhada).

### 3.4. Ocorrência de árvores ocadas

Ocos de diferentes tamanhos foram encontrados em 30 (10,0%) das 300 árvores amostradas (Tabela 3). A maior ocorrência de oco foi evidenciada na posição inferior do fuste, cerca de 1,36 m do solo ou pouco acima das sapopemas.

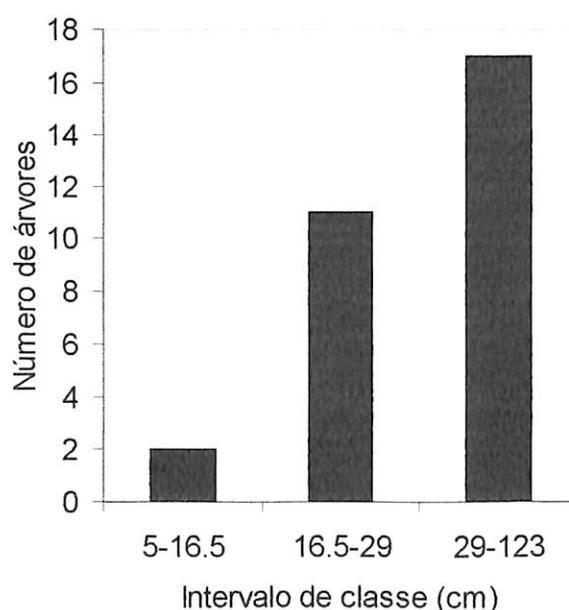
**Tabela 3.** Espécies de árvores que apresentaram fuste ocado.

Nome Científico	Nome Vulgar
<i>Aniba panurensis</i> (Meissn.) Mez.	
<i>Aniba williamsii</i> O.C.Schmidt	
<i>Astronium le-cointei</i> Ducke	Envira-alta, graviola-da-mata
<i>Bocoa viridiflora</i> (Ducke) R.S.Cowan	
<i>Botryarrhena pendula</i> Ducke	Muiraquatiara, aroeira
<i>Caryocar</i> sp.	
<i>Chimarrhis turbinata</i> DC.	Envira-preta, envira-surucucu, envira-surucucu-folha-miúda
<i>Chrysophyllum sanguinolentum</i> (Pierre) Baehni	Envira
ssp. <i>spurium</i> (Ducke) T. D. Penn.	
<i>Cupania scrobiculata</i> L.C.Rich.	Muirajibóia-preta
<i>Duguetia surinamensis</i> R.E.Fr.	
<i>Eschweilera grandiflora</i> (Aubl.) Sandwith	Pau-rainha-roxo
<i>Eschweilera rodriguesiana</i> Mori (3 árvores ocas)	Leiteira, muiratinga
<i>Eschweilera</i> sp.	Amapá, amapá-roxo, amaparana
<i>Licania sothersae</i> Prance	
<i>Licania</i> sp.	Castanha-vermelha
<i>Manilkara cavalcantei</i> Pires & W. A. Rodrigues	Matamatá
<i>Micropholis mensalis</i> (Baehni) Aubrév.	Abiurana-goiabinha, abiurana-roxa
<i>Minquartia guianensis</i> Aubl.	
<i>Ouratea discophora</i> Ducke	Ingá
<i>Pouteria anomala</i> (Pires) T. D. Penn.	Jarana-amarela
<i>Pouteria caimito</i> (Ruiz & Pav.) Radlk.	Castanha-jarana
<i>Pouteria</i> sp.	
<i>Protium grandifolium</i> Engl.	
<i>Salacia</i> sp.	Abiurana-goiabinha, abiurana-roxa
Sem identificação	
<i>Swartzia corrugata</i> Benth.	
<i>Tovomita</i> sp.	Abiurana-cascuda
<i>Virola</i> sp.	
<i>Zygia juruana</i> (Harms) L.Rico	

Ao nível do peito, apenas 7,7% das árvores apresentavam ocos e estes, quando presentes, ocupavam apenas 9% da transeção, em média. Em 3,2% das árvores foram encontrados ocos na altura final do fuste. Apenas uma das 310 árvores apresentava ocos na altura final do fuste e também na altura do peito, possivelmente tendo toda a extensão vertical do fuste ocado.

Somada a área basal individual de todas as árvores, os ocos na altura do peito ou logo acima das sapopemas ocupavam apenas 1,1%. Na altura

final do fuste, a área ocada foi de 0,8% da área total nesta mesma altura para todas as árvores. Não foi encontrado oco maior que 30% da área da seção do fuste em qualquer altura. Em relação a área total da seção transversal do fuste, em 24 árvores ocorreram ocos com tamanhos de até 10% da área da seção do disco, em 8 árvores ocorreram ocos de 10 a 20% da área da seção, e em 5 árvores a área ocada ocupou de 20 a 30% da área da seção transversal do fuste. A ocorrência de ocos foi maior em árvores com maior diâmetro (Figura 9). Quando desconsiderado a ocorrência de oco, houve superestimativa de apenas 0,5% no volume do fuste de todas a árvores comparado com o volume obtido por meio de DAP corrigido para efeitos de reentrâncias e oco (fórmula de Smalian).



**Figura 9.** Frequência de árvores ocadas por classe diamétrica.

#### 4. Discussão

##### 4.1. Efeito de forma não-circular e oco nas medidas de diâmetro

O efeito da forma não-circular de seções do fuste nas estimativas de diâmetro, volume e biomassa tem sido avaliado em florestas tropicais, sendo mencionado por alguns autores (Clark, 2002; Clark & Clark, 2000; Sheil, 1995). Clark (2002), avaliando a acuracidade de medições convencionais de área basal e diâmetro em 12 parcelas de 0,5 ha em florestas da Costa Rica, encontrou 25% dos caules ( $\geq 10$ cm DAP convencional) com formas

irregulares ao nível do peito em cada parcela, quando consideradas sapopemas, protuberâncias e outras irregularidades. Clark também constatou que a frequência de formas irregulares aumenta com o tamanho das árvores, encontrando para árvores com  $DAP \geq 50$  cm, irregularidades em 97% dos fustes ao nível do peito. Houve superestimativa de 52% na biomassa da comunidade ( $\geq 10$ cm DAP convencional), quando as medições foram tomadas no nível do peito. Clark & Clark (2000), avaliando somente árvores com sapopemas em plots na Costa Rica, verificaram que a média de incremento, por árvore, nas medições de área basal foi de 32%, quando comparadas medições acima das sapopemas e ao nível do peito. Desse modo, ao utilizar regressões desenvolvidas com medições de diâmetro mensuradas estritamente na altura do peito haverá, segundo estes autores, superestimativa de biomassa quando se avalia o incremento de diâmetro ao longo do tempo. Esse argumento é defendido por Clark (2002), ao considerar que muitas medições de diâmetros em parcelas permanentes incluem sapopemas e outras protuberâncias, conduzindo a conclusões equivocadas sobre aumento do carbono estocado em florestas neotropicais. Essa suspeita é uma das fragilidades que dificultam concluir se a Amazônia desempenha papel de fonte ou sumidouro de carbono (Houghton, 2003). Um viés pode ocorrer mesmo em estudos que procuram deslocar o ponto de medição para acima das sapopemas. Algumas sapopemas estendem mais de seis metros acima do chão (Clark, 2002), longe do alcance das escadas improvisadas em algumas parcelas permanentes na Amazônia. Ao longo dos anos, árvores aumentam de tamanho e transitam de classes diamétricas menores para diâmetros com maior ocorrência de sapopemas. Na fase inicial desta transição, pode ocorrer superestimativa, antes do ponto de medida ser deslocado para acima das sapopemas.

Clark (2002), Clark & Clark (2000) e Sheil (1995) não demonstram, separadamente, a influência de sapopemas, e das formas não-circulares -- que também ocorrem acima das sapopemas -- nas medições de diâmetro, área basal ou volume. Diferentemente desses autores, para este estudo, os diâmetros das árvores foram sempre mensurados na altura do peito (1,36 m) ou acima das sapopemas quando presentes, sendo considerado somente o efeito de irregularidades e ocos nesta altura. Para esses efeitos, conforme os

resultados deste estudo, as irregularidades morfológicas dos fustes de árvores na Amazônia promovem erros importantes, com superestimativa de 12% no volume total e 11% na área basal da comunidade amostrada.

A constatação de superestimativa de volume e área basal promovido por medições convencionais de circunferência (presunção de seção circular), indica que o padrão de altura para medição do DAP (1,30-1,4 m), utilizado para florestas temperadas e adotado para florestas tropicais, se traduz em forte viés na estimativa destes atributos biométricos para árvores grandes, mesmo quando eliminado o efeito das sapopemas.

#### 4.2. Estimativa volumétrica

As árvores grandes, para as quais houve influência de irregularidades e oco nas estimativas de volume, representam significativo percentual de biomassa estocada. Árvores com  $DAP \geq 50$  cm, na Amazônia central, representam 23% da biomassa total acima do solo (Nascimento, 2002). Para estudos de biomassa, os erros de estimativas de volume apontados aqui, são mais importantes que nas estimativas para inventários comerciais, que privilegiam espécies com fustes mais uniformes. Na Amazônia, são comuns espécies com fuste bastante irregulares, como a *Aspidosperma* spp. e *Swartia* spp (carapanaúba e paracutaca, respectivamente), que podem gerar resíduos importantes quando se estima a biomassa utilizando modelos volumétricos desenvolvidos para exploração comercial. Devido a forma do fuste, essas espécies são geralmente desconsideradas nos levantamentos comerciais. No entanto, nos inventários comerciais geralmente são amostradas árvores acima de 40-50cm de DAP, nas quais são mais importantes os erros de forma não-circular da seção do fuste e maior frequência de ocos. Os erros de diâmetro considerados aqui indicam que modelos alométricos desenvolvidos na Amazônia para estimativa de volume, possuem superestimativa na determinação da variável dependente, tratada freqüentemente como "volume real". A fórmula de Smalian, baseada nas medições convencionais de diâmetro ou circunferência, tem sido aplicada na obtenção do volume usado como referencial para desenvolver e validar modelos (Ribeiro, 1996, p. 23; Moura, 1994, p. 29; Higuchi & Ramm, 1985, p. 35; Fernandes *et al.*, 1983, p. 539), acumulando erros de superestimativa de

volume e biomassa para espécies com fustes muito irregulares. Outro tipo de erro está presente em modelos alométricos para determinação de volume, que foram desenvolvidos ou testados utilizando amostragens de árvores isentas de defeitos, sem ocós e tortuosidades, conforme assumido por Fernandes *et al.* (1983). Esses modelos seriam mais apropriados para estimativas de madeira comercial do que estimativas de biomassa ou carbono estocados.

As equações 06 e 07 apresentam a relação entre DAP convencional e volume corrigido, sendo possível obter volume utilizando medidas convencionais de diâmetro mensuradas na altura do peito ou acima das sapopemas (Figura 5). Entretanto, os modelos não foram desenvolvidos com cubagem rigorosa, mas utilizando apenas medições de altura e diâmetro corrigido na altura do peito e no final do fuste ( $n=294$ ;  $80 \geq \text{DAP} \geq 5\text{cm}$ ) no caso da equação 06, ou em quatro posições, no caso das 70 árvores que alimentaram a equação 07. Os outros modelos de volume utilizados nas comparações apresentadas na Figura 5 podem ter sido desenvolvidos objetivando estimativa de madeira comercial, não considerando portanto espécies com fuste muito irregular, conforme assumido por Fernandes *et al.* (1983). Para a soma de volume das 70 árvores que tiveram o fuste cubado com maior acuracidade, os modelos descritos nas equações 06 e 07, apresentam melhores estimativas (Tabela 2, Figura 5), o que seria esperado, pois as mesmas árvores utilizadas no teste foram utilizadas para ajustar os modelos. Os modelos obtidos de literatura superestimam o volume real das 70 árvores neste estudo. Contudo, quando comparado o volume total estimado para maior número de árvores e com apenas duas seções de área ( $n=294$ ), os modelos que apresentaram melhores resultados foram aqueles descritos nas equações 06 e 07 juntamente com o modelo de Schumacher (Tabela 2), o qual foi testado por Fernandes *et al.*, 1983. Portanto, não há consistência nas superestimativas dos modelos obtidos da literatura, o que dificulta avaliar sua acuracidade. Como a obtenção de medidas de diâmetros mais acuradas é também dificultada pela inviabilidade prática de alcance a alturas elevadas do fuste, modelos desenvolvidos visando corrigir esses efeitos assumem como alternativa na obtenção de volume mais preciso.

Para as estimativas volumétricas do RADAMBRASIL, baseadas em fórmulas geométricas, esses erros são mais significativos já que os inventários foram realizados para árvores com  $DAP \geq 31,8$  cm. Desse modo, as medições convencionais de DAP, para os inventários do RADAMBRASIL na Amazônia central (Folha SA.20), com base nos percentuais calculados neste estudo, podem conter superestimativa maior que  $15 \text{ m}^3/\text{ha}$  de madeira com casca (Projeto RADAMBRASIL, v.18, p.542). Isto admitindo madeiras com potencial para exploração e mesma distribuição diamétrica entre as amostragens do RADAMBRASIL e os *stands* deste estudo.

#### 4.3. Fator de forma e quociente de forma

Apesar de utilizar o mesmo princípio, o quociente de forma calculado aqui difere daqueles propostos na literatura, que geralmente utilizam relação do DAP com o diâmetro obtido na metade da altura do fuste ou, o ponto médio entre DAP e final do fuste, conforme Husch *et al.*, 1982; Jonson, 1910. O método utilizado aqui é similar ao utilizado na obtenção do quociente de forma absoluto, proposto por Jonson (1910). A diferença reside no fato de não ter sido medido um ponto mediano no fuste, mas estimado através da média de duas medições próximas e equidistantes deste ponto mediano, ou seja, posicionadas entre 33% e 66% da distância entre do DAP e o final do fuste. Para o cálculo do fator e quociente de forma, as irregularidades no fuste e a presença de oco se mostraram pouco influentes, pois tanto o DAP como o volume foram diminuídos com a correção. O valor do fator de forma encontrado aqui, a partir de DAP convencional ou corrigido, é próximo ao reportado por Moura (1994), de 0,75 para Amazônia central ( $n=752$ ), obtido com base em amostragens de árvores com  $DAP \geq 45\text{cm}$ . Entretanto, o fator de forma apresentado neste estudo (0,709), baseado na relação de volume real e DAP convencional, utilizando altura total, ao contrário do valor reportado por Moura (1994), concorda com o fator de forma utilizado nas estimativas do RADAMBRASIL, para floresta densa na Amazônia central. Não é possível entretanto, considerar que o valor encontrado aqui seja adequado para outras fitofisionomias na Amazônia, conforme aplicado pelo RADAMBRASIL.

#### 4.4. Árvores ocadas

A ocorrência de oco foi mais freqüente nas porções inferiores do fuste, sendo no entanto encontrado até na altura final do fuste. Foram observadas árvores em que o oco ocorreu de forma descontínua ao longo da altura do fuste. Árvores com oco na posição de 33% entre a altura do peito e altura final do fuste, não foi encontrado oco na posição de 66%, mas estando ocada na altura final do fuste. Em nenhuma árvore foi encontrado oco na posição de 66% do comprimento entre a altura do peito e altura final do fuste. Entretanto, em apenas 73 árvores foram amostrados discos em quatro posições do fuste. Como apenas 10% das árvores apresentam ocos em qualquer posição, o tamanho da amostra é insuficiente para determinar se ocos presentes na altura inicial (~1,36 m) e final do fuste, ocorriam ao longo de todo o fuste. Para as árvores ocadas apenas ao nível do peito, encontradas entre as 300 árvores neste estudo, a área total do oco equivale a um fuste de 25 cm de diâmetro. Avaliando de forma indireta, a ocorrência de oco influenciou em 0,6 % o volume total de madeira estimado, volume bem inferior ao reportado por Fearnside (2000, 1997b, 1992) em cálculos de biomassa a partir dos dados do RADAMBRASIL, de 6,6-9,2%, e mais próximo ao valor de reportado por Brown & Lugo (1992). As estimativas de Brown & Lugo (1992), pressupõem, com base nos dados do RADAMBRASIL, que o volume de árvores ocadas representariam 2% do volume total/ha, podendo chegar a 1,6% para estimativas de biomassa (Brown & Lugo, 1992; p.11). Brown & Lugo estimaram esse percentual assumindo que 20% dos fustes com DAP  $\geq$  40 cm são ocos até 2 m acima do solo.

Clark & Clark (2000), em parcelas de floresta tropical na Costa Rica, estimaram em 1,7% de oco para o volume total de fustes com diâmetro acima de 30 cm. Para florestas abertas em Rondônia, I. F. Brown *et al.* (1995) encontraram oco em menos de 20% dos fustes analisados (n=53), e estimaram que o volume total ocado corresponderia a menos de 4%. Neste trabalho, a estimativa de 0,5% de volume de oco (somente no volume do fuste) são indiretas porque não foram avaliadas as alturas de cada oco no comprimento do fuste. A estimativa de oco foi obtida através da diferença de volume de madeira quando considerado com e sem oco a área de seção para as árvores ocadas. Assim, árvores ocadas foram transformadas em árvores

mais finas, subtraindo a área do oco. Para o percentual de árvores ocadas reportado (10%), foi considerado a presença de oco em qualquer posição do fuste, considerando seções transversais do fuste na altura do peito e final do fuste (n=300) e quatro seções transversais ao longo do fuste (altura do peito, altura final do fuste e duas seções intermediárias; n = 71). Para árvores maiores (DAP≥40 cm), o percentual oco verificado neste estudo (13%) foi também menor que os valores reportados na literatura para a Amazônia central, como o percentual citado por Fearnside (1997b), baseado em Higuchi (comunicação pessoal), que estimou em 27%, para árvores com diâmetro acima de 40 cm. Percentual ainda maior é referido por Rodrigues & Valle (1964), que reportam a estimativa de 32% de árvores ocas para floresta de baixo na Amazônia central (DAP≥10 cm, n=145).

#### 4.5. Efeito de formas não-circulares e oco nas estimativas de biomassa

As estimativas de biomassa realizadas a partir de dados volumétricos se baseiam em inventários florestais, que são as únicas fontes disponíveis de dados com ampla representatividade espacial (Brown & Lugo, 1992; Brown *et al.*, 1989, 1991). Essas estimativas baseiam-se em informações sobre densidade de madeira; fator de expansão de volume (VEF, que adiciona o volume das classes diamétricas abaixo de um diâmetro mínimo inventariado); e fator de expansão de biomassa (BEF; que adiciona a biomassa das copas) (Houghton *et al.*, 2001b; Brown, 1997; Brown & Lugo, 1992), conforme o modelo:

$$\text{TAGB} = \text{Volume inventariado} \cdot \text{VEF} \cdot \text{WD} \cdot \text{BEF} \quad (\text{eq. 09a})$$

Onde:

TAGB = biomassa total acima do chão, das árvores em pé  $\geq 10$  cm DAP ( $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ),

Volume Inventariado = volume comercial dos fustes acima do DAP mínimo inventariado ( $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ),

VEF = Fator de expansão, para acrescentar o volume de fustes entre 10 cm e o DAP mínimo inventariado,

WD = Densidade da madeira;

BEF = Fator de expansão de biomassa (acrescenta a biomassa além do fuste, para todas as árvores  $\geq 10$  cm DAP).

As variáveis da equação 09 assumem os seguintes valores, conforme Houghton *et al.*, (2001b), Brown (1997), Brown & Lugo (1992) e Brown *et al.*, 1989:

VEF = 1,25 para florestas densas, ou 1,5 para outras florestas amazônicas;

WD = 0,69 g.cm<sup>-3</sup>;

BEF =  $\exp\{3,213 - 0,506 \ln SB\}$ , para  $SB < 190 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ;

BEF = 1,74, para  $SB > 190 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ;

SB = biomassa dos fustes  $\geq 10$  cm DAP = Volume inventariado  $\cdot$  VEF  $\cdot$  WD

Brown (1997, p. 6) apresenta outra equação que é resgatada aqui para fins de comparação com a abordagem de Houghton *et al.* (2001b):

$$\text{TAGB} = \text{VOB} \cdot \text{WD} \cdot \text{BEF} \quad (\text{eq. 09b})$$

Onde:

TAGB = biomassa total acima do chão, das árvores em pé  $\geq 10$  cm DAP (Mg  $\cdot$  ha<sup>-1</sup>)

WD = Densidade da madeira;

BEF = Fator de expansão de biomassa (acrescenta a biomassa além do fuste, para todas as árvores  $\geq 10$  cm DAP),

VOB = volume sobre casca dos fustes de todas as árvores  $\geq 10$  cm DAP.

A estimativa de "biomassa total acima do solo (TAGB)" baseado em Brown & Lugo (1992), nas equações acima (09a e 09b), refere-se apenas ao componente de árvores vivas  $\geq 10$  cm DAP, com posterior acréscimos de 9% para necromassa e 21% para biomassa abaixo do solo, conforme Houghton *et al.* (2001b). A biomassa das árvores  $< 10$  cm DAP, bem como outros componentes não arbóreos (cipós, palmeiras, ervas e epífitas) não estão incluídas. Para esses componentes, Fearnside (2000) ao realizar cálculos de emissão de carbono para Amazônia, acrescentou 16%, descontando 6,6%

para árvores ocadas e 0,9% para casca. Os componentes não arbóreos não foram incluídos por Brown devido a falta de dados disponíveis e por considerar que estes representam um pequeno percentual da biomassa total (Brown & Lugo, 1992; p. 10 e 11). Brown (1997) deixa claro que SB (que seria  $VOB \cdot WD$ , usando suas variáveis de 1997) é referente apenas aos fustes  $\geq 10$  cm DAP. Ela também estimou os valores de BEF com base neste conjunto de caules, utilizando inventários com este DAP mínimo. Assim, parte da diferença entre as estimativas de Fearnside e de Brown, nos mapas de biomassa da Amazônia apresentados em Houghton *et al.*, (2001b; Fig. 3), deve-se à consideração de apenas uma parte da biomassa, no caso do mapa de Brown.

Fearnside & Laurance (2003) questionam sobre possível viés nas estimativas de TAGB na Amazônia efetuados por Brown & Lugo (1992), ou Houghton *et al.* (2001b), usando o modelo da equação 09, decorrente de fator de forma errado ou árvores ocadas. Entretanto, em publicação recente, Fearnside & Laurance (2004) eliminam as correções oriundas de fator de forma e oco, por concluírem que as estimativas de volume derivadas por Brown *et al.* (1989) dispensam as correções. Os resultados demonstrados aqui evidenciam que a contribuição de ocos para os erros nas estimativas de TAGB, podem ser realmente pequenos, conforme consideraram Brown & Lugo (1992; p.11). Para o fator de forma é possível que haja erro ao considerar 0,7 como média para toda a Amazônia, conforme adotado nas estimativas do Projeto RADAMBRASIL (1973-1983). Entretanto, o fator de forma calculado aqui (0,708), indica que pelo menos para a Amazônia central, o valor utilizado nas estimativas do RADAMBRASIL é razoável. No entanto, conforme raciocínio desenvolvido a seguir, seria necessário superestimar o volume dos fustes no inventário do RADAMBRASIL para estimar corretamente a biomassa.

Outro raciocínio que leva à mesma conclusão segue abaixo. Pimeiramente, é necessário revisar a obtenção de três modelos:

$$BEF = \exp\{3,213 - 0,506 \ln SB\}, \text{ para } SB < 190 \text{ t ha}^{-1} \quad (\text{eq. 10})$$

$$BEF = 1,74, \text{ para } SB > 190 \text{ t ha}^{-1}; \quad (\text{eq. 11})$$

$$BEF = TAGB (SB)^{-1} \quad (\text{eq. 12})$$

O modelo da equação 12 foi a base para a obtenção dos coeficientes apresentados na equação 10 ou o valor constante de BEF, na equação 11. Foi baseado, em 1989, nos valores "conhecidos" de TAGB e SB para 32 parcelas de floresta úmida, quase todas na Venezuela (Brown *et al.*, 1989). Os valores conhecidos de TAGB foram, na verdade, estimados de forma indireta, utilizando modelos alométricos para árvores individuais, a partir de D, H e WD (diâmetro ao nível do peito, altura total e densidade da madeira, respectivamente), conforme a equação 13:

$$\text{Biomassa seca} = 0,0899 (D^2 \cdot H \cdot S)^{0,9522} \quad (\text{eq. 13})$$

Os valores de SB foram também estimados utilizando D (medido no campo), H comercial (estimado no campo), fator de forma de 0,7, e WD, este último obtido de tabelas para 65% a 85% das espécies dos 32 inventários, ou a média de WD das espécies conhecidas, no caso das espécies com WD desconhecida.

A questão levantada acima diz respeito a erros na estimativa de SB (volume de todos os fustes  $\geq 10\text{cm}$  DAP) a partir de TAGB e SB nos 32 inventários da Venezuela. TAGB deve ter sido estimado sem viés, mas o volume SB deve ter sido superestimado por considerar que o fuste é um volume de revolução perfeito. No entanto, é necessário considerar que não ocorrerá viés na estimativa de TAGB em outros locais (como os inventários do RADAMBRASIL na Amazônia), desde que a mesma superestimativa de volume ocorra nestes outros inventários. O BEF, baseado em TAGB correto e SB superestimado nas 32 parcelas da Venezuela, corrigirá os erros similares na estimativa de SB, nos inventários do RADAMBRASIL. Em outras palavras, qualquer viés consistente no valor de SB é compensado, no ajuste da regressão encontrada por Brown (equações 10 e 11) na sua determinação do BEF. No caso das 32 parcelas, Brown *et al.* (1989) obtiveram  $\text{BEF} = 1,74 \pm 0,08$  (CI de 95%), quando a biomassa das árvores individuais nas 32 parcelas foi estimada pela relação alométrica para árvores individuais descrita na equação 13.

Posteriormente, Brown e colaboradores consideraram parcelas de menor TAGB

e obtiveram a equação 10, para estimar BEF a partir de SB e TAGB. Portanto, não há porque se preocupar com viés na estimativa de volume comercial (ou SB) nas parcelas estudadas por Brown e colaboradores.

Caso o volume (e portanto SB) dos fustes inventariados fosse também superestimado pelo RADAMBRASIL, não haveria viés na estimativa final, de TAGB. No entanto, como vimos neste estudo, o fator de forma empregado pelo RADAMBRASIL estima corretamente o volume *corrigido* dos fustes na Amazônia central. Portanto, poderá haver *subestimativa* de biomassa total acima do solo, na aplicação da equação 09, usando os números de Houghton *et al.* (2001b) para BEF e WD.

Outras erros de estimativa podem surgir no procedimento destes autores, devido a:

(1) Subestimativa de VEF para floresta densa. Caso se considere Amazônia central representativa de floresta densa amazônica, Houghton *et al.*, (2001b) baseado em Brown & Lugo (1992), subestimaram o valor do VEF, que deveria ser maior. Isto porque, nas árvores  $\geq 25$  cm de DAP na Amazônia central, encontra-se apenas 74,5% da biomassa das árvores  $\geq 10$  cm DAP (Nascimento, 2002; 20 parcelas de 1 ha). Neste caso,  $VEF (100/74,5) = 1,34$ . Acima do DAP mínimo do RADAMBRASIL está apenas 60% da biomassa nos inventários da Amazônia central, o que corresponde a  $VEF = 1,66$  (Figura 10).

(2) Subestimativa de BEF. É provável que houve subestimativa da altura total das árvores no campo para as 32 parcelas da Venezuela. O topo da copa não é visualizado a partir do chão nas florestas densas. Neste caso, o TAGB das 32 parcelas e consequentemente o BEF, seriam subestimados (o BEF deveria ser maior que 1,74). Heinsdijk (1965) mediu a altura do fuste comercial das árvores subindo no fuste e comparou com os valores de altura estimados no chão através do uso de varas, e constatou erros muito pequenos, sem viés consistente. No entanto, a subestimativa é comuns quando se trata de altura total da árvore.

(3) Uma relação diferente, na Amazônia brasileira, entre TAGB, BEF e SB, comparado com as 32 parcelas, predominantemente da Venezuela. Por exemplo, a relação entre peso da copa e peso do fuste, pode ser diferente na Amazônia brasileira, comparado com os sítios na Venezuela.

(4) Relações alométricas diferentes na Amazônia para a estimativa de biomassa de árvores individuais a partir de D, H e S, comparado com aquelas de Brown *et al.*, 1989, especialmente equação 13, que deu origem ao BEF = 1,74, para floresta com SB  $\geq 190$  t ha<sup>-1</sup>. Por exemplo, para o mesmo diâmetro, é possível que as árvores de floresta densa na Amazônia tendem a ser mais altas (seriam mais pesadas) ou ter copas mais estreitas (seriam mais leves), comparado com as árvores nas parcelas na Venezuela.

Esta última possibilidade foi examinada por Chambers *et al.* (2001b), embora utilizando as equações alométricas de Brown (1997) para florestas úmidas e florestas chuvosas, e não a equação 13, de Brown *et al.* (1989) que deu origem ao BEF = 1,74.

Eles julgaram os dois modelos de Brown similares ao modelo adotado pelo grupo "SHRC" (Santos, 1996; Higuchi *et al.*, 1998; Ribeiro, 1996; Chambers *et al.*, 2001) na floresta densa da Amazônia central, exceto para árvores grandes - de 150 cm e 200 cm DAP - fora do intervalo de DAPs que alimentaram o modelo do grupo SHRC (Chambers *et al.*, 2001). O modelo de Brown *et al.* (1989) - que deu origem ao BEF = 1,74 - superestima o peso de árvores grandes na Amazônia central. Este é um argumento para considerar que o BEF deva ser menor que 1,74 na Amazônia central. No entanto, há apenas duas árvores com DAP maior que 75 cm nos dados que alimentaram o modelo de Chambers *et al.* (2001). Estes dois indivíduos alavancaram sua regressão para baixo nas árvores com DAP  $\geq 70$  cm e o modelo de ajuste escolhido (log-log cúbico) é curvilíneo para baixo, reduzindo ainda mais as estimativas de árvores muito grandes, fora do limite dos dados coletados (limite superior de 122 cm DAP).

Brown (2002) considera que as equações existentes são, de fato, baseadas em dados com número inadequado de árvores de grande diâmetro, tendo importante influência na forma da regressão e, ao mesmo tempo, englobando grande parte da biomassa total por hectare.

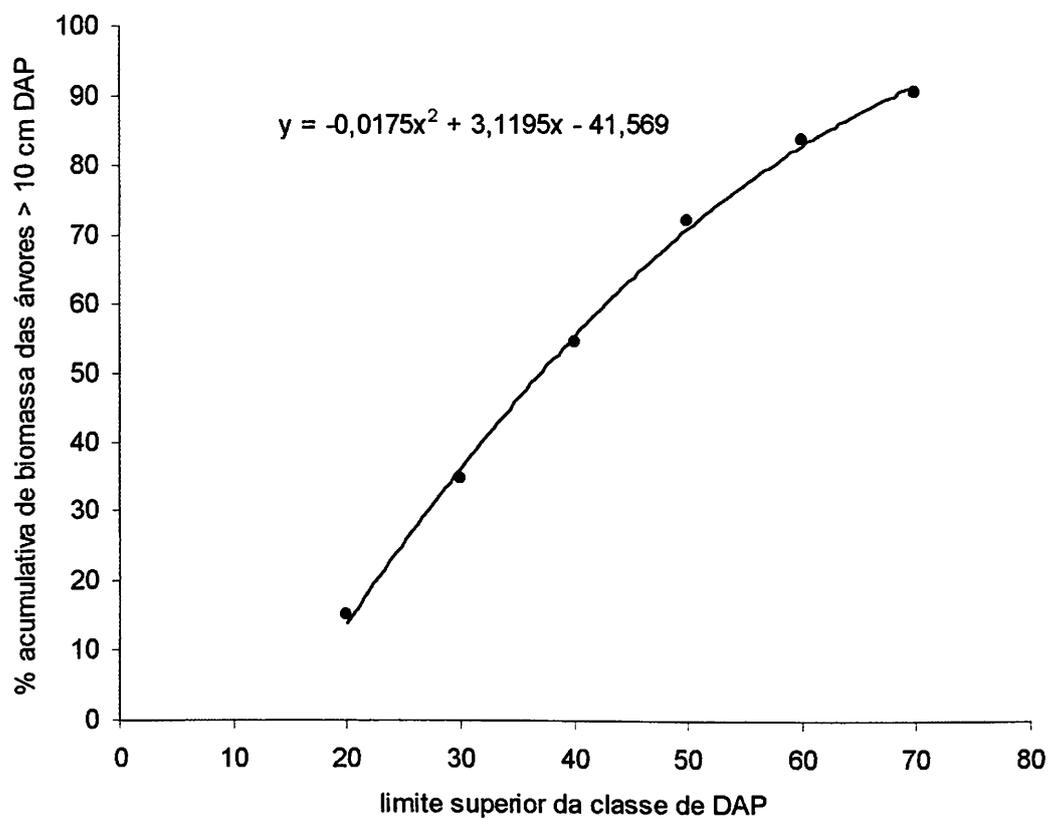
Segundo Brown & Lugo (1992) e Brown (1997), geralmente mais de 30% da biomassa acima do solo, das árvores  $\geq 10$  cm DAP, refere-se a árvores com diâmetro acima de 70 cm. No entanto, no seu estudo de 20 hectares de floresta densa na Amazônia central, Nascimento (2002; Tabela 4, Capítulo 01) determinou que as árvores com DAP  $\geq 70$  cm representam apenas 9,5% da

biomassa acima do solo contido nas árvores  $\geq 10$  cm DAP. A biomassa é concentrada na classe de tamanho de 20 a 50 cm de DAP, compreendendo 57% (Tabela 4, Figura 10).

**Tabela 4.** Porcentagem de biomassa por classes diamétricas em árvores da Amazônia central.

<i>Classe de DAP</i>	<i>Porcentagem de TAGB</i>	<i>Porcentagem da biomassa nas árvores <math>\geq 10</math>cm DAP</i>
10 a 20	12,2	14,9
20 a 30	16,2	19,8
30 a 40	16,2	19,8
40 a 50	14,3	17,5
50 a 60	9,5	11,6
60 a 70	5,6	6,8
>70	7,8	9,5
Somas	81,9	100,0

Fonte: Nascimento (2002)



**Figura 10.** O modelo de ajuste entre as duas variáveis plotadas permite estimar  $VEF = 1,66$  em floresta densa da Amazônia central, para o DAP mínimo adotado pelo RADAMBRASIL (fonte dos dados: Nascimento, 2002).

#### 4. Conclusões

##### **Densidade de madeira em floresta densa na Amazônia central brasileira**

- A densidade básica de madeira das árvores na Amazônia central, média de todo o fuste, é  $0,67 \text{ g.cm}^{-3}$ ; diminuindo no sentido base-topo: 0,70 na altura do peito e 0,64 na altura de inserção do primeiro galho grosso.
- No sentido radial, a densidade do cerne é 5,3% maior que a densidade de todo o disco.
- Quando determinada por meio de reidratação, a densidade é 2,5% maior que a densidade obtida por volume verde.

##### **Influência de irregularidades na morfologia do fuste e ocorrência de oco na estimativa volumétrica, cálculo do fator de forma e quociente de forma para árvores da floresta densa na Amazônia central**

- Cálculos convencionais de diâmetro, área basal e volume presumem que os perímetros dos fustes representem círculos e que o fuste seja um sólido de revolução, conduzindo aos seguintes erros, para as árvores desse estudo:
  - superestimativa de 30% na área basal total das árvores grandes ( $\text{DAP} \geq 50$ ) e 11,2% para todas as árvores acima de 5 cm DAP,
  - superestimativa de 12,3% no volume total dos fustes com  $\text{DAP} \geq 5 \text{ cm}$ , 17,4% para árvores com  $\text{DAP} \geq 31,8 \text{ cm}$  (diâmetro mínimo inventariado pelo Projeto RADAMBRASIL) e 21,9% para árvores com  $\text{DAP} \geq 50 \text{ cm}$ .
- A estimativa de volume ocoado foi de 0,6% do volume total de madeira
- Fator de forma, relacionando DAP convencional com volume corrigido, foi 0,718 para todas as árvores e 0,709 para árvores com  $\text{DAP} \geq 31,8 \text{ cm}$ .
- Estimativas de biomassa acima do solo, realizadas a partir dos inventários do RADAMBRASIL, podem estar subestimados devido a subestimativa dos índices que acrescentam a biomassa de classes diamétricas não inventariadas (VEF) e a biomassa das copas das árvores (BEF).

## 5. Referências Bibliográficas

- AdobePhotoshop. 1996. Software Adobe Systems, Inc. Versão 4.0
- Ahrens, S. Holbert, D. 1981. Uma função de forma de tronco e volume de *Pinus taeda* L. *Boletim de Pesquisa Florestal*, n.3, 37-68.
- Amelung, W., Martius, C., Bandeira, A. G., Garcia, M. V. B., Zech, W. 2002. Lignin characteristics and density fractions o termite nests in Amazonian rain forest – indicators of termite feeding guilds? *Soil Biology & Biochemistry* 34: 267-372.
- Amorim, L. C. 1991. *Variação da densidade básica no sentido radial em madeiras tropicais da Amazônia*. Relatório Final, Período abril-90/março-91. (Iniciação Científica/Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico). Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus-AM. 24p.
- Anuchin, N. P. 1970. *Forest mensuration*, (2º ed.). Keter Press: Jerusalém. 454p.
- Assmann, E. 1970. *The principles of forestry yield study*. Oxford, Pergamon Press. 506p.
- ASTM, 2002. Standard Test Methods for Specific Gravity of Wood and Wood-Based Materials. *Designation: D 2395-02*. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA. 8p.
- Baker, T. R., Phillips, O. L., Malhi, Y., Almeida, S., Arroyo, L., Di Fiore, A., Killeen, T. J., Laurance, S. G., Laurance, W. F., Lewis, S. L., Lloyd, J., Monteagudo, A., Neill, D. A., Patiño, S., Pitman, N. C. A., Silva, N., Martínez, R. V., 2004. Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian forest biomass. *Global Change Biology*, 10: 545-562.

- Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forest: A Primer. *Forestry Paper 134*, FAO, Rome, 55 p.
- Brown, S. 2002. Measuring carbon in forests: current status and future challenges. *Environmental Pollution*, 116: 363-372.
- Brown, S., Gillespie, A. J. R., Lugo, A. E. 1991. Biomass of tropical forests of South and Southeast Asia. *Canadian Journal of Forest Research*, 21:111-117.
- Brown, S., Gillespie, A. J. R., Lugo, A. E. 1989. Biomass estimation methods for tropical forest with applications to forest inventory data. *For. Sci.*, 35(4):881-902.
- Brown, S., Lugo, A. 1992. Aboveground biomass estimates for tropical moist forest of the Brazilian Amazon. *Interciencia* 17 (1): 8-18.
- Camargos, J. A. A., Coradin, V. T. R., Czarneski, C. M., Oliveira, D. de, Meguerditchian, I. 2001. *Catálogo de árvores do Brasil*. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis, Laboratório de Produtos Florestais. Brasília: Edições IBAMA. 896p.
- Campos, J. C. C., Leite, H. G., Oliveira, I. A. 1993. Variação da forma do tronco de clones de eucaliptos em duas regiões. In: *Congresso Florestal Panamericano e Congresso Florestal Brasileiro. Anais*, v.2. p. 559-564. Curitiba:SBB/SBEF.
- Carter, T., Hulme, M. 2000. Interim Characterizations of Regional Climate and Related Changes up to 2100. Associates with the Provisional SRES Marker Emissions Scenarios. *IPCC Secretariat, c/ o WMO*, Genebra, Suíça.

- Chambers, J. Q., Santos, J., Ribeiro, R. J., Higuchi, N. 2001. Tree damage, allometric relationships, and above-ground net primary production in central Amazon Forest. *Forest Ecology and Management*, 152:73-84.
- Chimelo, J. P. 1992. *Relacionamento da anatomia da madeira com suas propriedades físicas e mecânicas*. ESALQ/USP (Apostila) 25p.
- Chudnoff, M. 1976. Density of tropical timbers as influenced by climatic life zones. *Commonw. For. Rev.* 55(3):203-217.
- Clark, D. B., Clark, D. A. 2000. Landscape-scale variation in forest structure and biomass in a tropical rain forest. *Forest Ecology and Management*, 137:185-198.
- Clark, D. 2002. Are tropical forests an important carbon sink? Reanalysis of the long-term plot data. *Ecological Applications*, 12: 3-7.
- Comision Panamericana de Normas Técnicas, 1973. *Descrição macroscópica, microscópica e geral da madeira; esquema de recomendação*. 30:1-019. COPANT.
- Cox, P. M., Betts, R. A., Jones, C. D., Spall, S. A., Totterdell, I. J. 2000. Acceleration of global warming due to carbo-cycle feedbacks in a coupled climate model. *Nature* 408:184-187.
- De Castro, F., Williamson, G. B., Jesus, R. M. 1993. Radial variation in wood specific gravity of *Joannesia princeps*: the roles of age and diameter. *Biotropica*, 25(2): 176-182.
- De Macedo, C. S. M. 1991. *Variação longitudinal da densidade básica e da composição química de madeiras e sua avaliação energética*. Relatório Final, abril/1990-março/1991. Iniciação Científica/Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico). Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus/AM, Brasil, 18p.

- Demattê, J. L. I. 1988. Manejo de solos ácidos dos trópicos úmidos da região amazônica. *Fundação Cargill*, Campinas, 215p.
- Denslow, J. S. 1980. Gap partitioning among tropical rain forest trees. *Biotropica*, 12(Suppl.): 23-30.
- DeZeeuw, C. 1965. Variability in wood, . *In*: Côté, W. A. (Ed). *Cellular ultrastructure of woody plants*. Syracuse University Press, Syracuse, NY. p.457-471
- DNPM, 1983. Projeto RADAMBRASIL, 1973-1983. *Levantamento de Recursos Naturais*, Vols. 1-23. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. Rio de Janeiro, Brasil.
- Favrichon, V. 1994. Classification des espèces arborées en groupes fonctionnels en vue de la réalisation d'un modèle de dynamique de peuplement en forêt Guyanaise. *Revue d'Ecologie Terre et Vie*, 49: 379-402.
- Fearnside, P. M. 1992. Forest biomass in Brazilian Amazônia: Comments on the estimate by Brown and Lugo. *Interciência*, 17(1): 19-27.
- Fearnside, P. H. 1995. Potential impacts of climatic change on natural forests and forestry in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management*, 78:51-70.
- Fearnside, P. M. 1997a. Greenhouse gases from deforestation in Brazilian Amazonia: net committed emissions. *Clim. Change*, 35: 321-360.
- Fearnside, P. M. 1997b. Wood density for estimating forest biomass in Brazilian Amazonia: *Forest Ecology and Management*, 90:59-87.

- Fearnside, P. M. 2000. Global warming and tropical land-use change: greenhouse gas emissions from biomass burning, decomposition and soils in forest conversion, shifting cultivation and secondary vegetation. *Climatic Change*, 46: 115-158.
- Fearnside, P. M. 2001. As florestas no acordo do clima. *Revista Ciência Hoje*, v. 29, n. 171. p. 60-62.
- Fearnside, P. M., Laurance, W. 2003. Comment on "Determination of deforestation rates of the world's humid tropical forests". *Science*, 229. 1015a.
- Fearnside, P. M., Laurance, W. 2004. Commentary: Tropical deforestation and greenhouse-gas emissions. *Ecological Applications*, 14(4):982-986.
- Fearnside, P. M., Leal, N., Fernandes, F. M. 1993. Rainforest burning and the global carbon budget: Biomass, combustion efficiency, and charcoal formation in the Brazilian Amazon. *Journal of Geophysical Research* 98 (D9), 16733-16743.
- Fedalto, L. C., Mendes, I. C. A., Coradin, V. T. R. 1989. *Madeiras da Amazônia: descrição do lenho de 40 espécies ocorrentes na Floresta Nacional do Tapajós*. Brasília: IBAMA.156p.
- Fernandes, N. P., Jardim, F. C. S., Higuchi, N. 1983. Tabelas de volume para floresta tropical de terra-firme da Estação Experimental de Silvicultura Tropical do INPA. *Acta Amazonica*, 13 (3-4): 537-545.
- Ferreira, S. J. F., Crestana, S., Luizão, F. J., Miranda, S. A. F. 2001. Nutrientes no Solo em Floresta de Terra Firme Cortada Seletivamente na Amazônia central. *Acta Amazonica*, 31(3) 381-396.

- Figueiredo Filho, A. 1983. Estudos de modelos matemáticos para estimar o volume por unidade de área em uma floresta tropical úmida na Amazônia brasileira. Tese de Mestrado, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR. 150 p.
- 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.
- França, M. B. 2002. *Modelagem de Biomassa Através do Padrão Espectral no Sudoeste da Amazônia*. Tese de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia-Fundação Universidade Federal do Amazonas. Manaus, AM. 106p.
- Girard, J. W. 1933. Volumes tables for Mississippi bottom land hard woods and southern pines. *Journal Forestry*, 31:34-41.
- Hacke, U. G., Sperry, J. S., Pockman, W. T., Davis, S. D., McCulloh, K. A. 2001. Trends in wood density and structure are linked to prevention of xylem implosion by negative pressure. *Oecologia*, 126: 457-461.
- Heinsdijk, D. 1958. *Report to the Government of Brazil on a forest inventory in the Amazon Valley*. Part 3: Region between Rio Tapajós and Rio Madeira. FAO Report nº 969 and Part 4: Region between Rio Tocantins and Rios Guama and Capim, FAO Report nº 992. Expanded Technical Assistance Program (FAO/58/10/8131), Food and Agriculture Organization, Rome.
- Heinsdijk, D. 1965. O Diâmetro dos troncos e o estrato superior das florestas tropicais (Capítulos II e III do Relatório FAO nº 601, entre os Rios Tapajós e Xingu - 1957). 56p.

- Heinsdijk, D., Bastos, A. M. 1963. Inventários Florestais na Amazônia. Ministério da Agricultura e Serviço Florestal, *Boletim nº 6*. Rio de Janeiro, Brasil.
- Higuchi, N., Ramm, W. 1985. Developing bole wood volume equations for a group of tree species of central Amazon (Brazil). *Commonw. For. Rev.*, 64 (1):33-41.
- Higuchi, N., Santos, J., Ribeiro, R. J., Freitas, J. V., Vieira, G., Cöic, A., Minette, L. J. 1997. Crescimento e incremento de uma floresta amazônica de terra-firme manejada experimentalmente. In: *Relatório Final do Projeto BIONTE – Biomassa e nutrientes florestais*. DFID, MCT-INPA. 87-132.
- Higuchi, N., Carvalho Jr., J. A. 1994. Fitomassa e Conteúdo de Carbono de Espécies Arbóreas da Amazônia: *Anais do seminário "Emissão x Sequestro de CO<sub>2</sub> - Uma Nova Oportunidade para o Brasil"*. 127-153.
- Higuchi, N., Santos, J., Ribeiro, R. J., Minette, L., Biot, Y. 1998. Biomassa da Parte Aérea da Vegetação da Floresta Tropical Úmida de Terra-Firme da Amazônia Brasileira. *Acta Amazonica* 28(2):153-166.
- Hohenadl, W. 1924. Der Aufbau der Baumschfte. Fw. Cbl.
- Houghton, J. T., Ding, Y., Griggs, D. G., Noguer, M., Van der Linder, R. J., Xisusu, D. (eds.) 2001a. *Climate Change 2001: the scientific basis*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. 944 p.
- Houghton, R. A. 2003. Why are estimates of the terrestrial carbon balance so different? *Global Change Biology*, 9: 500-509.
- Houghton, R. A., Lawrence, K. T., Hackler, J. L., Brown, S. 2001b. The spatial distribution of forest biomass in the Brazilian Amazon: a comparison of estimates. *Global Change Biology*, 7 (7): 731-746.

- Houghton, R. A., Skole, D. L., Nobre, C. A., Hackler, J. L., Lawrence, K. T., Chomentowski, W. H. 2000. Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon. *Nature*, 403:301-304.
- Husch, B., Miller, C. I., Beers, T. W. 1982. *Forest mensuration*. New York, 3<sup>o</sup> ed.: John Wiley & Sons. 402p.
- IBDF, 1988. *Madeiras da Amazônia, características e utilização; Estação experimental de Curuá-Una / Amazonian Timbers, characteristics and utilization; Curuá-Una Experimental Forest Station*, vol. 2. Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal. Brasília, Brasil, 236p.
- Ilic, J., Boland, D., McDonald, M., Downes, G., Blakemore, P. 2000. *Woody Density Phase 1 - State of Knowledge technical report nº 18*. National Carbon Accounting System, Australia. 228p.
- INMET, 2003. *Instituto Nacional de Meteorologia*. [www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br). Acessado em 12/08/2003.
- INPA/CPPF, 1991. *Catálogo de madeiras da Amazônia*. Coordenação de Pesquisa de Produtos Florestais, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Manaus, Brasil. 153p.
- INPA/CPPF, 1993. *Catálogo de madeiras do Amapá: características tecnológicas*. Coordenação de Pesquisas em Produtos Florestais, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Manaus, Brasil. 58p.
- IPCC, 2001. *Climate Change: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Summary for Policymakers and Technical Summary of the Working Group II. Report Cambridge University Press*. London, 2001.

- 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: 411-508.
- Jonson, T. 1910. Taxatoriska Undersökningar orm Skogsträdens form I. Granens Stamform. *Skogsvardst. Tidskr.* 8:285-328.
- Jorge, L. A. B. 1982. Equações de volume comercial com casca em floresta tropical pluvial no norte do Espírito Santo. *In: Congresso Nacional sobre Essências Nativas. Anais*, v. 16 n. 1. São Paulo, Campos do Jordão. p.456-467.
- Kates, R. W., Turner II, B. L., Clark, W. C. 1990. The great transformation. *In: Turner II, B. L., Clark, W. C., Kates, R. W., Richards, J. F., Mathews, J. T. and Meyer, W. B. (eds). The Earth as Transformed by Human Action: Global and Regional Changes in the Biosphere over the past 300 years*, 1-17. New York: Cambridge University Press.
- Keeling, R. F., Piper, S. C., Heimann, M. 1996. Global and hemispheric CO<sub>2</sub> sinks deduced from changes in atmospheric O<sub>2</sub> concentration. *Nature* 381, 218 –221.
- Kollmann, F. F. P., Côté, W. A. Jr. 1968. *Principles of wood science and technology solid wood*. Berlim, Heildeberg, New York. Vol. 1, Springer-Verlag. 592p.
- Larsen, D. R. 2000. Tree volume estimation. *Natural Resource Biometrics*, september 6: 1-6. [www.snr.missouri.edu/natr211](http://www.snr.missouri.edu/natr211).
- Magnago, H., Barreto, R. A. A., Pastore, U. 1978. Projeto RADAMBRASIL, Folha SA.20, Parte IV-Vegetação. Rio de Janeiro, Brasil, p.413-530.
- Mata, J. L. e 26 outros. 2001. Latin America. p. 693-734. *In: McCarthy, J.J., Canziani, O. F., Leary, N. A., Dokken, D. J., White, K. S. (Eds.) Climate*

Change 2001: Impacts, adaptation and vulnerability. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. 1032p.

Meiggs, R. 1982. *Trees and Timber in the Ancient Mediterranean World*. Cambridge: Cambridge University Press.

Melo, J. E., Coradin, V. T. R.; Mendes, J. C. 1990. Classes de densidade de madeira para a Amazônia Brasileira. *In: Anais do Congresso Florestal Brasileiro*, 6. Campos do Jordão, São Paulo. Vol. 3. Sociedade Brasileira de Silvicultura, p.695-699.

Mitscherlich, G. 1942. Untersuchungen über die Derbholzformzahl und neue Wege zu ihrer Ermittlung. M. F. F.

Moura, J. B. 1994. *Estudo da forma do fuste e comparação de métodos de estimativa volumétrica de espécies florestais da Amazônia brasileira*. Tese de Mestrado, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR. 114p.

Muller-Landau, H.C. (2004) Interspecific and inter-site variation in wood specific gravity of tropical trees. *Biotropica*, 36(1): 20-32.

Nascimento, H. E. M. 2002. *Biomassa Total Acima do Solo e a Fragmentação de Floresta de Terra-firme na Amazônia central*. Tese de Doutorado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Fundação Universidade Federal do Amazonas. Manaus, Amazonas. 98p.

Nelson, B.W., Mesquita, R. C. G., Pereira, J. L. G., Souza, S. G. A., 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.

Nijssen, B., O'Donnell, G. M., Hamlet, A. F., Lettenmaier, D. P. 2001. Hydrologic sensitivity of global rivers to climate change. *Climatic Change*, 59(1-2): 143-175.

- Nobre, C. A., Nobre, A. D. 2002. O balanço de carbono da Amazônia brasileira. *Estudos Avançados*, 16 (45):81-90.
- Nogueira, E. M., Nelson, B. W. 2003. Ocorrência de árvores ocadas em floresta densa na Amazônia central. *54º Congresso Nacional de Botânica, Belém - Ananindeua - Pará*. Resumo, CD-ROM.
- Oliveira, A. C. A. 2000. *Efeitos do Bambu Guadua weberbaueri Pilger sobre a Fisionomia e Estrutura de uma Floresta no sudoeste da Amazônia*. Tese de Mestrado, Universidade Federal do Amazonas. Manaus, Amazonas. 103p.
- Pinto, A. C. M., Higuchi, N., Iida, S., Santos, J. dos, Ribeiro, R. J., Rocha, R. M., Silva, R. P. da. 2003. Padrão de distribuição espacial de espécies florestais que ocorrem na região de Manaus-AM. *In: Higuchi, N.; Santos, J. dos, Sampaio, P. T. B., Marengo, R. A., Ferraz, J., Sales, P. C. de, Saito, M., Matsumoto, S. (Eds). Projeto Jacaranda, Fase II: Pesquisas florestais na Amazônia central*. Manaus: CPST/INPA. 252p.
- Pires, J. M. 1978. The forest ecosystems of the Brazilian Amazon: Description, functioning and research needs. *In: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO)/United Nations Environmental Programme (UNEP)/Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Tropical Forest Ecosystems: A State of Knowledge Report*. UNESCO, Paris, p. 607-627.
- Pitt, J. 1961. Application of silvicultural methods to some of the forests of the Amazon. FAO, Expanded Technical Assistance Program, *Report to the Government of Brazil, nº 1337*. Rome. p. 94.
- Prance, G. T., Rodrigues, W. A., Da Silva, M. F. 1976. Inventário florestal de um hectare de mata de terra-firme, Km 30 da Estrada Manaus-Itacoatiara. *Acta Amazonica*, 6(1): 9-35.

- Prentice, I. C., Farquar, G. D., Fasham, M. J. R., Goulden, M. L., Heiman, M., Jaramillo, V. J., Khashgi, H. S., Le Quéré, C., Scholes, R. J., Wallace, D. W. R. *et al.* "The Carbon Cycle and the Atmospheric Carbon Dioxide" *In*: Houghton, J. T., Ding, Y., Griggs, D. J., Noguer, M., Van der Linden, P. J., Dai, X., Maskell, K., Johnson, C. A. (eds.) *Climate Change 2001: the scientific basis, contribution of working group I to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge: University Press. 881p.
- Putz, F. E., Coley, P. D., Lu, K., Montalvo, A., Aiello, A. 1983. Uprooting and snapping of trees: structural determinants and ecological consequences. *Canad. J. For. Res.* 13: 1011-1020.
- RADAMBRASIL, 1978. Folha SA.20, Levantamento de Recursos Naturais. Manaus. *Departamento Nacional de Produção Mineral/Brasil*. Rio de Janeiro, vol.18. 747p.
- Reyes, G., Brown, S., Chapman, J. C., Lugo, A. E. 1992. *Wood densities of tropical tree species*. USDA Forest Service, General Technical Report S0-88, Southern Forest Experiment Station, New Orleans, Louisiana. 15p.
- Ribeiro, J. E. L. da S., Hopckins, M. J. C., 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. C., Silva, C. 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/DFID. 816p.
- Ribeiro, R. J. 1996. *Estudos de função de forma para espécies florestais de terra-firme da Amazônia*. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Fundação Universidade do Amazonas. Manaus, Amazonas. 76p.

- Richards, J. L. 1990. Land Transformation. Turner II, B. L., Clark, W. C., Kates, R. W., Richards, J. F., Mathews, J. T. and Meyer, W. B. (eds.) *In: The Earth as Transformed by Human Action: Global and Regional Changes in the Biosphere over the past 300 years*, 163-178. New York: Cambridge University Press.
- Rocha, J. S. 1994. *A segurança de estruturas de madeira determinada a partir da variabilidade da densidade básica e de propriedades mecânicas de madeiras amazônicas*. Dissertação de Mestrado, ESALQ/USP, São Paulo. 141p.
- Rodrigues, W. A., Valle, R. C. 1964. Ocorrência de troncos ocos em mata de baixo da região de Manaus, Amazonas. *Pub 16, Botânica*, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, AM, Brasil. 8p.
- Rueda, R., Williamson, G. B. 1992. Radial and vertical wood specific gravity in *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb. (Bombacaceae). *Biotropica*, 24(4): 512-518.
- SAEG, 1993. *Sistema para Análise Estatística, Versão 5.0*, Fundação Arthur Bernardes. UFV - Universidade Federal de Viçosa-MG.
- Sanches, P. A. 1976. *Properties and management of soils in the tropics*. New York, Wiley. 619p.
- Sauer, C. O. 1956. The agency of man on the earth. In *Man's Role in Changing the Face of the Earth*, ed. W. L. Thomas, Jr., 49-69. Chicago: University of Chicago Press.
- Schnitzer, S., Dalling, J., Carson, W. P. 2000. The impact of lianas on tree regeneration in tropical forest canopy gaps: Evidence for an alternative pathway of gap-phase regeneration. *J. Ecol.*, 88:655-666.

- Schumacher, F. X., Hall, F. S. 1933. Logarithmic expression of tree volume. *Jour. Agric. Res.*, 47(9): 719-734.
- Sharma, M., Overwald, R. O., Amateis, R. L. 2002. A consistent system of equations for tree and stand volume. *Forest Ecology and Management*, 165: 183-191.
- Sheil, D. 1995. A critique of permanent plot methods and analysis with examples from Budongo Forest, Uganda. *Forest Ecology and Management*, 77:11-34.
- Silva, J. C. 1984. *Parâmetros da densidade na qualidade da madeira*. ESALQ, Piracicaba. 82p.
- Silva, M. F. da. 1977. *Nomes vulgares de plantas amazônicas*. Belém, INPA, Brazil, 222p.
- Simpson, W., TenWolde, A. 1999. Physical Properties and Moisture Relations of Wood. Chapter, 3. *In: Forest Products Laboratory. Wood-Handbook-wood as an engineering material. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-113*. Madison, WI: U.S. Department of agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 463p.
- Souza, M. H. de, Magliano, M. M., Camargos, J. A. A., Souza, M. R. de. 2002. *Madeiras tropicais brasileiras/Brazilian tropical woods*. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 2. ed. Brasília, edições IBAMA. 152p.
- Suzuki, E. 1999. Diversity in specific gravity and water content of wood among Bornean tropical rainforest trees. *Ecol. Res.*, 14: 211-224.
- Ter Steege, H., Hammond, D. S. 1996. Forest management in the Guianas: Ecological and evolutionary constraints on timber production. *BOS NiEuwsletter*, 15: 62-69.

- Ter Steege, H., Hammond, D. S. 2001. Character convergence, diversity, and disturbance in tropical rain forest in Guyana. *Ecology*, 82: 3197-3212.
- Trugilho, P. F., Silva, D. A., Frazão, F. J. L., Matos, J. L. M. 1990. Comparação de métodos de determinação de densidade básica em madeira. *Acta Amazonica*, 20: 307-319.
- Vital, B. R. 1984. Métodos de determinação da densidade da madeira. *Boletim Técnico*, 2. Viçosa: SIF, 1984. 21p.
- Wiemann, M. C., Williamson, G. B. 1988. Extreme radial changes in wood specific gravity in some tropical pioneers. *Wood and Fiber Science*, 20(3): 344-349.
- Wiemann, M. C., Williamson, G. B. 1989. Radial gradients in the specific gravity of wood in some tropical and temperate trees. *Forest Science*, 35 (1): 197-210.
- Wiemann, M. C., Williamson, G. B. 2002. Geographic variation in wood specific gravity: Effects of latitude, temperature, and precipitation. *Wood and Fiber Science*, 34: 96-107.
- Wilkinson, L. 1998. *Systat Version 8.0*, SPSS Inc. Chicago
- Woodcock, D. W. 2000. Wood specific gravity of trees and forest types in the southern peruvian Amazon. *Acta Amazonica*, 30: 589-599.
- Yamazaki, D. R., Costa, A. M. R., Azevedo, W. P. 1978. *Projeto RADAMBRASIL*, Folha SA.20, Parte III-Pedologia. Rio de Janeiro, Brasil, p.247-410.

## 6. Anexos

### Anexo 1. Densidade básica de madeira com casca de espécies de árvores (DAP≥5 cm) da Amazônia central (Floresta densa de terra-firme)

Família	Nome Científico	N	Densidade básica na altura do peito ~1,36 m, média (desvio padrão)	Densidade básica na altura final do fuste, média (desvio padrão)	Média aritmética do fuste (altura do peito e altura final do fuste)
Anacardiaceae	<i>Anacardium parvifolium</i> Ducke	1	0,508	0,554	0,531
Fabaceae	<i>Andira</i> sp.	1	0,813	0,727	0,770
Fabaceae	<i>Andira unifoliolata</i> Ducke	1	0,760	0,663	0,711
Lauraceae	<i>Aniba cylindriflora</i> Kosterm.	1	0,629	0,569	0,599
Lauraceae	<i>Aniba hostmanniana</i> (Nees) Mez.	1	0,766	0,671	0,718
Lauraceae	<i>Aniba panurensis</i> (Meissn.) Mez.	1	0,747	0,713	0,730
Lauraceae	<i>Aniba williamsii</i> O.C.Schmidt	1	0,741	0,678	0,709
Annonaceae	<i>Annona foetida</i> Mart.	1	0,572	0,517	0,544
Apocynaceae	<i>Aspidosperma discolor</i> A.D.C.	2	0,758 (0,016)	0,689 (0,034)	0,724 (0,025)
Anacardiaceae	<i>Astronium le-cointei</i> Ducke	1	0,812	0,614	0,713
Myrtaceae	<i>Blepharocalyx eggersii</i> (Klaersk.) Landrum	1	0,726	0,693	0,710
Annonaceae	<i>Bocageopsis multiflora</i> (Mart.) R.E.Fr.	1	0,674	0,585	0,629
Annonaceae	<i>Bocageopsis</i> sp.	1	0,696	0,632	0,664
Papilionoideae	<i>Bocoa viridiflora</i> (Ducke) R.S.Cowan	1	0,835	0,745	0,790
Rubiaceae	<i>Botryarrhena pendula</i> Ducke	1	0,734	0,678	0,706
Moraceae	<i>Brosimum guianense</i> (Aubl.) Huber	1	0,780	0,736	0,758
Moraceae	<i>Brosimum lactescens</i> (S.Moore) C.C.Berg.	2	0,703 (0,001)	0,715 (0,006)	0,709 (0,003)
Moraceae	<i>Brosimum parinarioides</i> Ducke	2	0,610 (0,042)	0,522 (0,002)	0,566 (0,022)
Moraceae	<i>Brosimum rubescens</i> Taub.	1	0,776	0,684	0,730
Moraceae	<i>Brosimum utile</i> (H.B.K.) Pittier ssp. ovatifolium (Ducke) C.C.Berg.	1	0,540	0,510	0,525
Malpighiaceae	<i>Byrsonima</i> sp.	1	0,601	0,594	0,598
Lecythidaceae	<i>Cariniana decandra</i> Ducke	1	0,559	0,554	0,557
Lecythidaceae	<i>Cariniana micrantha</i> Ducke	1	0,563	0,536	0,550
Caryocaraceae	<i>Caryocar</i> sp.	1	0,712	0,712	0,712
Olacaceae	<i>Chaunochiton kappleri</i> (Sagot ex Engl.) Ducke	1	0,529	0,519	0,524
Rubiaceae	<i>Chimarrhis turbinata</i> DC.	1	0,650	0,000	0,325
Sapotaceae	<i>Chrysophyllum amazonicum</i> T.D.Penn.	1	0,826	0,784	0,805

## Anexo 1. Continuação

Família	Nome Científico	N	Densidade básica na altura do peito ~1,36 m, média (desvio padrão)	Densidade básica na altura final do fuste, média (desvio padrão)	Média aritmética do fuste (altura do peito e altura final do fuste)
Sapotaceae	<i>Chrysophyllum lucentifolium</i> Cronquist ssp. <i>pachycarpum</i> Pires & T.D.Penn.	1	0,787	0,712	0,749
Sapotaceae	<i>Chrysophyllum sanguinolentum</i> (Pierre) Baehni ssp. <i>sanguinolentum</i>	1	0,624	0,618	0,621
Sapotaceae	<i>Chrysophyllum sanguinolentum</i> (Pierre) Baehni ssp. <i>spurium</i> (Ducke) T. D. Penn.	4	0,660 (0,094)	0,625 (0,075)	0,642 (0,084)
Sapotaceae	<i>Chrysophyllum ucuquirana-branca</i> (Aubrév. & Pellegrín) T. D. Penn.	1	0,733	0,636	0,684
Clusiaceae	<i>Clusia</i> sp.	1	0,821	0,760	0,791
Lecythidaceae	<i>Corythophora alta</i> Kunth	3	0,724 (0,026)	0,680 (0,019)	0,702 (0,019)
Lecythidaceae	<i>Corythophora rimosa</i> W. A. Rodrigues ssp. <i>rimosa</i>	1	0,683	0,630	0,656
Lecythidaceae	<i>Corythophora rimosa</i> W.A. Rodrigues	1	0,712	0,638	0,675
Chrysobalanaceae	<i>Couepia</i> sp.	1	0,720	0,632	0,676
Chrysobalanaceae	<i>Couepia ulei</i> Pilg.	2	0,816 (0,007)	0,714 (0,038)	0,765 (0,022)
Rubiaceae	<i>Coussarea ampla</i> Mull.Arg.	1	0,476	0,472	0,474
Rubiaceae	<i>Coussarea hirticalix</i> Standl.	1	0,645	0,646	0,646
Sapindaceae	<i>Cupania scrobiculata</i> L.C.Rich.	3	0,506 (0,066)	0,567 (0,083)	0,537 (0,074)
Caesalpiniaceae	<i>Dipterix</i> sp.	1	0,917	0,772	0,845
Annonaceae	<i>Duguetia chysea</i> Maas	1	0,845	0,700	0,773
Annonaceae	<i>Duguetia megalocarpa</i> Maas	1	0,910	0,825	0,867
Annonaceae	<i>Duguetia stelechantha</i> (Diels) R.E.Fr.	1	0,849	0,687	0,768
Annonaceae	<i>Duguetia surinamensis</i> R.E.Fr.	1	0,780	0,654	0,717
Sapotaceae	<i>Ecclinusa guianensis</i> Eyma	1	0,549	0,529	0,539
Humiriaceae	<i>Endopleura uchi</i> (Huber) Cuatrec.	2	0,786 (0,002)	0,706 (0,033)	0,746 (0,018)
Caesalpiniaceae	<i>Eperua duckeana</i> R. S. Cowan	3	0,791 (0,050)	0,737 (0,024)	0,764 (0,037)
Caesalpiniaceae	<i>Eperua glabriflora</i> (Ducke) R. S. Cowan	1	0,759	0,727	0,743
Annonaceae	<i>Ephedrantus amazonicus</i> R.E.Fr.	1	0,816	0,771	0,794
Lecythidaceae	<i>Eschweilera amazoniciformis</i> S.A. Mori	3	0,823 (0,018)	0,718 (0,017)	0,770 (0,016)
Lecythidaceae	<i>Eschweilera atropetiolata</i> S.A.Mori	3	0,753 (0,022)	0,636 (0,010)	0,694 (0,014)
Lecythidaceae	<i>Eschweilera carinata</i> S.A.Mori	2	0,782 (0,013)	0,705 (0,062)	0,744 (0,038)
Lecythidaceae	<i>Eschweilera collina</i> Eyma	3	0,735 (0,025)	0,623 (0,026)	0,679 (0,012)
Lecythidaceae	<i>Eschweilera coriaceae</i> (DC.) Mart. ex Berg.	6	0,699 (0,156)	0,642 (0,126)	0,671 (0,140)

## Anexo 1. Continuação

Família	Nome Científico	N	Densidade básica na altura do peito ~1,36 m, média (desvio padrão)	Densidade básica na altura final do fuste, média (desvio padrão)	Média aritmética do fuste (altura do peito e altura final do fuste)
Lecythidaceae	<i>Eschweilera grandiflora</i> (Aubl.) Sandwith	2	0,752 (0,018)	0,674 (0,016)	0,713 (0,001)
Lecythidaceae	<i>Eschweilera rodriguesiana</i> Mori	12	0,762 (0,053)	0,688 (0,041)	0,725 (0,041)
Lecythidaceae	<i>Eschweilera</i> sp.	7	0,734 (0,079)	0,687 (0,027)	0,710 (0,049)
Lecythidaceae	<i>Eschweilera tessmannii</i> Knuth	3	0,789 (0,023)	0,713 (0,040)	0,751 (0,029)
Lecythidaceae	<i>Eschweilera wachenheimii</i> (Benoist) Sandwith	9	0,750 (0,027)	-	-
Myrtaceae	<i>Eugenia</i> aff. <i>citrifolia</i> Poir.	1	0,664	0,663	0,663
Myrtaceae	<i>Eugenia</i> cf. <i>illepida</i> McVaugh	1	0,690	0,658	0,674
Myrtaceae	<i>Eugenia diplocampta</i> Diels	1	0,789	0,744	0,766
Arecaceae	<i>Euterpe precatoria</i> Mart.	1	0,273	0,269	0,271
Rubiaceae	<i>Ferdinandusa elliptica</i> Pohl.	1	0,650	0,590	0,620
Annonaceae	<i>Fusaea longifolia</i> (Aubl.) Saff.	1	0,653	0,615	0,634
Celastraceae	<i>Goupia glabra</i> Aubl.	1	0,747	0,677	0,712
Meliaceae	<i>Guarea scabra</i> A. Juss.	1	0,740	0,672	0,706
Meliaceae	<i>Guarea</i> sp.	1	0,691	0,605	0,648
Lecythidaceae	<i>Gustavia elliptica</i> S.A. Mori	13	0,669 (0,026)	0,627 (0,028)	0,648 (0,026)
Moraceae	<i>Helianthostylis sprucei</i> Baill.	3	0,585 (0,045)	0,597 (0,027)	0,591 (0,036)
Moraceae	<i>Helicostylis</i> sp.	2	0,709 (0,036)	0,713 (0,035)	0,711 (0,035)
Euphorbiaceae	<i>Hevea brasiliensis</i> (Willd ex Adr. Juss.) Muell. Arg.	1	0,533	0,522	0,528
Euphorbiaceae	<i>Hevea guianensis</i> Aubl.	1	0,514	0,556	0,535
Apocynaceae	<i>Himatanthus</i> cf. <i>sucuuba</i> (Spruce) Woodson.	1	0,404	0,438	0,421
Chrysobalanaceae	<i>Hirtella</i> cf. <i>pimichina</i> Lass. & Mag.	1	0,824	0,759	0,791
Chrysobalanaceae	<i>Hirtella</i> sp.	1	0,828	0,765	0,797
Humiriaceae	<i>Humiriastrum cuspidatum</i> (Benth.) Cuatr.	1	0,721	0,666	0,693
Mimosaceae	<i>Inga</i> sp.	1	0,503	0,530	0,517
Myristicaceae	<i>Iryanthera juruensis</i> Warb.	3	0,672 (0,059)	0,556 (0,013)	0,614 (0,033)
Myristicaceae	<i>Iryanthera ulei</i> Warb.	1	0,587	0,549	0,568
Bignoniaceae	<i>Jacaranda</i> sp.	1	0,457	0,543	0,500
Quiinaceae	<i>Lacunaria crenata</i> (Tul.) A. C. Sm.	1	0,773	0,725	0,749

## Anexo 1. Continuação

Família	Nome Científico	N	Densidade básica na altura do peito ~1,36 m, média (desvio padrão)	Densidade básica na altura final do fuste, média (desvio padrão)	Média aritmética do fuste (altura do peito e altura final do fuste)
Lecythidaceae	<i>Lecythis parvifructa</i> S.A.Mori	2	0,741 (0,023)	0,710 (0,046)	0,726 (0,034)
Lecythidaceae	<i>Lecythis poiteaui</i> Berg.	1	0,763	0,632	0,697
Lecythidaceae	<i>Lecythis prancei</i> S.A.Mori	2	0,875 (0,015)	0,791 (0,025)	0,833 (0,020)
Lecythidaceae	<i>Lecythis</i> sp.	2	0,705 (0,175)	0,668 (0,114)	0,686 (0,145)
Chrysobalanaceae	<i>Licania</i> cf. <i>rodriguesii</i> Prance	1	0,844	0,757	0,800
Chrysobalanaceae	<i>Licania impressa</i> Prance	2	0,921 (0,030)	0,403 (0,570)	0,662 (0,270)
Chrysobalanaceae	<i>Licania micrantha</i> Miq.	1	0,811	0,746	0,779
Chrysobalanaceae	<i>Licania prismatocarpa</i> Spruce ex Hook.f.	1	0,857	0,744	0,801
Chrysobalanaceae	<i>Licania sothersae</i> Prance	1	0,839	0,736	0,788
Chrysobalanaceae	<i>Licania</i> spp.	5	0,817 (0,062)	0,763 (0,053)	0,790 (0,057)
Lauraceae	<i>Licaria guianensis</i> Aubl.	1	0,749	0,677	0,713
Euphorbiaceae	<i>Mabea caudata</i> Pax & K. Hoffm	1	0,670	0,573	0,621
Euphorbiaceae	<i>Mabea piriri</i> Aubl.	1	0,644	0,801	0,723
Sapotaceae	<i>Manilkara bidentata</i> (A.DC.) A.Chev.	1	0,813	0,702	0,758
Sapotaceae	<i>Manilkara cavalcantei</i> Pires & W. A. Rodrigues	1	0,834	0,759	0,797
Moraceae	<i>Maquira sclerophylla</i> (Ducke) C. C. Berg.	2	0,504 (0,020)	0,509 (0,011)	0,506 (0,016)
Sapidaceae	<i>Matayba</i> sp.	1	0,823	0,677	0,750
Lauraceae	<i>Mezilaurus duckei</i> van der Werff	1	0,716	0,685	0,700
Lauraceae	<i>Mezilaurus itauba</i> (Meissn.) Taubert ex Mez	1	0,659	0,654	0,657
Euphorbiaceae	<i>Micrandra rossiana</i> R.E.Schult	1	0,678	0,596	0,637
Euphorbiaceae	<i>Micrandra siphonioides</i> Benth.	1	0,584	0,570	0,577
Sapotaceae	<i>Micropholis guyanensis</i> (A. DC.) Pierre ssp. <i>duckeana</i> (Baehni) T.D. Penn.	2	0,719 (0,015)	0,641 (0,003)	0,680 (0,009)
Sapotaceae	<i>Micropholis guyanensis</i> (A. DC.) Pierre ssp. <i>guyanensis</i>	1	0,663	0,588	0,626
Sapotaceae	<i>Micropholis mensalis</i> (Baehni) Aubrév.	2	0,717 (0,180)	0,639 (0,155)	0,678 (0,168)
Sapotaceae	<i>Micropholis venulosa</i> (Mart. & Eichler) Pierre	2	0,608 (0,044)	0,565 (0,009)	0,587 (0,027)
Sapotaceae	<i>Micropholis williamii</i> Aubrév. & Pellegrin	1	0,718	0,650	0,684
Olcaceae	<i>Minquartia guianensis</i> Aubl.	1	0,777	0,756	0,766
Memecylaceae	<i>Mouriri brevipes</i> Hook	1	0,775	0,714	0,744

## Anexo 1. Continuação

Família	Nome Científico	N	Densidade básica na altura do peito ~1,36 m, média (desvio padrão)	Densidade básica na altura final do fuste, média (desvio padrão)	Média aritmética do fuste (altura do peito e altura final do fuste)
Nyctaginaceae	<i>Neea</i> sp.	2	0,571 (0,017)	0,594 (0,058)	0,582 (0,037)
Lauraceae	<i>Ocotea amazonica</i> (Meissn.) Mez.	1	0,443	0,473	0,458
Lauraceae	<i>Ocotea canaliculata</i> (Rich) Mez.	1	0,455	0,503	0,479
Lauraceae	<i>Ocotea fragantissima</i> Ducke	2	0,582 (0,021)	0,568 (0,006)	0,575 (0,014)
Lauraceae	<i>Ocotea myriantha</i> (Meissn.) Mez.	1	0,611	0,599	0,605
Lauraceae	<i>Ocotea percurrans</i> Vicentini	1	0,519	0,531	0,525
Arecaceae	<i>Oenocarpus</i> sp.	1	0,789	0,337	0,563
Papilionoideae	<i>Ormosia smithii</i> Rudd.	1	0,714	0,725	0,720
Myristicaceae	<i>Osteophloeum platyspermum</i> (A. DC.) Warb.	1	0,469	0,505	0,487
Ochnaceae	<i>Ouratea discophora</i> Ducke	1	0,791	0,778	0,785
Mimosoideae	<i>Parkia pendula</i> (Willd.) Walp.	1	0,544	0,507	0,525
Mimosaceae	<i>Parkia</i> sp.	1	0,617	0,589	0,603
Violaceae	<i>Paypayrola grandiflora</i> Tul.	1	0,630	0,611	0,620
Caesalpinjiaceae	<i>Peltogyne</i> sp.	1	0,944	0,807	0,876
Icacinaceae	<i>Poraqueiba guianensis</i> Aubl.	1	0,751	0,688	0,719
Sapotaceae	<i>Pouteria anomala</i> (Pires) T. D. Penn.	4	0,760 (0,031)	0,691 (0,039)	0,726 (0,034)
Sapotaceae	<i>Pouteria caimito</i> (Ruiz & Pav.) Radlk.	2	0,897 (0,051)	0,800 (0,010)	0,849 (0,020)
Sapotaceae	<i>Pouteria</i> cf. <i>stipulifera</i> T.D.Penn	1	0,741	0,640	0,690
Sapotaceae	<i>Pouteria cladantha</i> Sandwith	1	0,894	0,842	0,868
Sapotaceae	<i>Pouteria flavilata</i> T. D. Penn	1	0,665	0,588	0,627
Sapotaceae	<i>Pouteria macrophylla</i> (Lam.) Eyma	2	0,858 (0,026)	0,727 (0,056)	0,792 (0,041)
Sapotaceae	<i>Pouteria reticulata</i> (Engl.) Eyma	1	0,930	0,755	0,842
Sapotaceae	<i>Pouteria</i> spp.	9	0,695 (0,128)	0,618 (0,059)	0,656 (0,092)
Sapotaceae	<i>Pouteria vernicosa</i> T. D. Penn.	1	0,737	0,693	0,715
Burseraceae	<i>Protium altsonii</i> Sandwith	2	0,684 (0,272)	0,636 (0,177)	0,660 (0,224)
Burseraceae	<i>Protium fimbriatum</i> Swart.	1	0,599	0,554	0,577
Burseraceae	<i>Protium grandifolium</i> Engl.	1	0,638	0,594	0,616
Burseraceae	<i>Protium guianense</i> (Aubl.) March. ssp. <i>guianense</i>	1	0,711	0,701	0,706

## Anexo 1. Continuação

Família	Nome Científico	N	Densidade básica na altura do peito ~1,36 m, média (desvio padrão)	Densidade básica na altura final do fuste, média (desvio padrão)	Média aritmética do fuste (altura do peito e altura final do fuste)
Burseraceae	<i>Protium</i> spp.	6	0,567 (0,058)	0,520 (0,088)	0,543 (0,073)
Burseraceae	<i>Protium tenuifolium</i> (Engl.) Engl.	2	0,556 (0,008)	0,581 (0,013)	0,568 (0,002)
Burseraceae	<i>Protium trifoliolatum</i> Engl.	1	0,640	0,624	0,632
Moraceae	<i>Pseudolmedia laevis</i> (Ruiz & Pavan) Macbr.	1	0,598	0,552	0,575
Moraceae	<i>Pseudolmedia murure</i> standl.	1	0,756	0,693	0,725
Papilionoideae	<i>Pterocarpus amazonicus</i> Hub.	1	0,528	0,527	0,527
Quiinaceae	<i>Quiina obovata</i> Tul.	1	0,851	0,760	0,805
Violaceae	<i>Rinorea guianensis</i> Aubl. var. <i>subintegrifolia</i>	1	0,780	0,700	0,740
Violaceae	<i>Rinorea racemosa</i> (Mart.) Kuntze	2	0,682 (0,053)	0,647 (0,079)	0,664 (0,066)
Hippograteaceae	<i>Salacia</i> sp.	1	0,713	0,679	0,696
Sapotaceae	<i>Sarcaulus brasiliensis</i> ssp. <i>brasiliensis</i> (A. DC.) Eyma	1	0,615	0,543	0,579
Caesalpinioideae	<i>Sclerobium</i> cf. <i>micropetalum</i> Ducke	1	0,690	0,603	0,647
Caesalpinioideae	<i>Sclerobium melanocarpum</i> Ducke	2	0,524 (0,134)	0,572 (0,211)	0,548 (0,172)
Caesalpinioideae	<i>Sclerobium paraense</i> Hub.	1	0,802	0,723	0,763
Bombacaceae	<i>Scleronema micranthum</i> Ducke	4	0,552 (0,032)	0,563 (0,007)	0,558 (0,014)
Sem amostra	Sem amostra	2	0,773 (0,095)	0,656 (0,058)	0,714 (0,077)
Combretaceae	Sem identificação	1	0,848	0,800	0,824
Simaroubaceae	<i>Simaba</i> sp.	1	0,617	0,646	0,632
Siparunaceae	<i>Siparuna argyrochyseae</i> Pert.	1	0,617	0,620	0,618
Siparunaceae	<i>Siparuna cuspidata</i> (Tul.) A. DC.	1	0,632	0,605	0,618
Siparunaceae	<i>Siparuna decipiens</i> (Tul.) A. DC.	1	0,591	0,519	0,555
Elaeocarpaceae	<i>Sloanea guianensis</i> (Aubl.) Benth.	1	0,856	0,801	0,828
Elaeocarpaceae	<i>Sloanea schomburgkii</i> Benth.	1	0,870	0,808	0,839
Elaeocarpaceae	<i>Sloanea synandra</i> Spruce ex Benth.	1	0,653	0,581	0,617
Mimosaceae	<i>Stryphnodendron racemiferum</i> (Duke) Rodr.	1	0,752	0,679	0,715
Rubiaceae	<i>Duroia fusifera</i> Hook. Fex. K.Schum.	1	0,672	0,529	0,600
Papilionoideae	<i>Swartzia corrugata</i> Benth.	1	0,913	0,703	0,808
Papilionoideae	<i>Swartzia cuspidata</i> Spruce ex Benth.	1	0,678	0,640	0,659

## Anexo 1. Continuação

Família	Nome Científico	N	Densidade básica na altura do peito ~1,36 m, média (desvio padrão)	Densidade básica na altura final do fuste, média (desvio padrão)	Média aritmética do fuste (altura do peito e altura final do fuste)
Papilionoideae	<i>Swartzia ingifolia</i> Ducke	2	0,815 (0,002)	0,721 (0,047)	0,768 (0,025)
Papilionoideae	<i>Swartzia polyphylla</i> DC.	1	0,643	0,573	0,608
Sapindaceae	<i>Talisia cf. microphylla</i> Uitt.	2	0,773 (0,017)	0,681 (0,016)	0,727 (0,001)
Burseraceae	<i>Tetragastris panamensis</i> (Engl.) Kuntze	1	0,783	0,726	0,754
Sterculiaceae	<i>Theobroma sylvestre</i> Mart.	3	0,668 (0,031)	0,473 (0,090)	0,571 (0,060)
Leguminosaeae	Tintarana	1	0,638	0,692	0,665
Clusiaceae	<i>Tovomita</i> sp.	1	0,764	0,693	0,729
Burseraceae	<i>Trattinnickia peruviana</i> Loes.	2	0,560 (0,054)	0,561 (0,016)	0,561 (0,019)
Moraceae	<i>Trymatococcus amazonicus</i> Poepp. & Endl.	1	0,548	0,555	0,552
Annonaceae	<i>Unonopsis</i> sp.	1	0,727	0,651	0,689
Annonaceae	<i>Unonopsis stipitata</i> Diels	1	0,686	0,627	0,656
Humiriaceae	<i>Vantanea macrocarpa</i> Ducke	2	0,953 (0,007)	0,831 (0,058)	0,892 (0,032)
Myristicaceae	<i>Virola caducifolia</i> W.A.Rodrigues	1	0,461	0,515	0,488
Myristicaceae	<i>Virola michelli</i> Heck	1	0,586	0,492	0,539
Myristicaceae	<i>Virola</i> sp.	2	0,511 (0,017)	0,483 (0,007)	0,497 (0,012)
Myristicaceae	<i>Virola venosa</i> (Benth.) Warb.	1	0,622	0,559	0,590
Vochysiaceae	<i>Vochysia cf. melinonii</i> Bechmann	1	0,591	0,634	0,612
Annonaceae	<i>Xylopia amazonica</i> R.E.Fr.	1	0,787	0,657	0,722
Mimosoideae	<i>Zygia juruana</i> (Harms) L.Rico	1	0,851	0,740	0,796
Mimosaceae	<i>Zygia racemosa</i> (Ducke) Barneby & J. W. Grimes	3	0,748 (0,022)	0,701 (0,032)	0,725 (0,026)

**Anexo 2.** Nomes comuns para as espécies que foram determinadas a densidade da madeira, segundo Pinto *et al.* (2003), Camargos *et al.* (2001), Ribeiro *et al.* (1999) e Silva *et al.* (1977).

Nome Científico	Nomes comuns
<i>Anacardium parvifolium</i> Ducke	Cajui, cajui-folha-miúda
<i>Andira</i> sp.	Sucupira
<i>Andira unifoliolata</i> Ducke	Acapurana
<i>Aniba cylindriflora</i> Kosterm.	
<i>Aniba hostmanniana</i> (Nees) Mez.	Louro-amarelo, louro-capitium
<i>Aniba panurensis</i> (Meissn.) Mez.	
<i>Aniba williamsii</i> O.C.Schmidt	Louro-amarelo
<i>Annona foetida</i> Mart.	Envira-alta, graviola-da-mata
<i>Aspidosperma discolor</i> A.D.C.	Araruába, cabo-de-machado, canela-de-veado
<i>Astronium le-cointei</i> Ducke	Muiraquatiara, aroeira
<i>Blepharocalyx eggersii</i> (Kiaersk.) Landrum	
<i>Bocageopsis multiflora</i> (Mart.) R.E.Fr.	Envira-preta, envira-surucucu, envira-surucucu-folha-miúda
<i>Bocageopsis</i> sp.	Envira
<i>Bocoa viridiflora</i> (Ducke) R.S.Cowan	Muirajibóia-preta
<i>Botryarthena pendula</i> Ducke	
<i>Brosimum guianense</i> (Aubl.) Huber	Pau-rainha-roxo
<i>Brosimum lactescens</i> (S.Moore) C.C.Berg.	Leiteira, muiratinga
<i>Brosimum parinarioides</i> Ducke	Amapá, amapá-roxo, amaparana
<i>Brosimum rubescens</i> Taub.	Garrote, pau-rainha, muirapiranga, pau-brasil, rainha
<i>Brosimum utile</i> (H.B.K.) Pittier ssp. <i>ovatifolium</i> (Ducke) C.C.Berg.	Garrote, leiteira
<i>Byrsonima</i> sp.	Murici, murixi
<i>Cariniana decandra</i> Ducke	Tauri, castanha-de-macaco
<i>Cariniana micrantha</i> Ducke	Tauri, castanha-de-macaco
<i>Caryocar</i> sp.	Piquiarana
<i>Chaunochiton kappleri</i> (Sagot ex Engl.) Ducke	Capoteiro, pau-branco
<i>Chimarrhis turbinata</i> DC.	Pau-de-remo
<i>Chrysophyllum amazonicum</i> T.D.Penn.	Abiurana
<i>Chrysophyllum lucentifolium</i> Cronquist ssp. <i>pachycarpum</i> Pires & T.D.Penn.	Vaca
<i>Chrysophyllum prieurii</i> A. DC.	Massaranduba, castanha-vermelha, abiurana vermelha, abiurana maçaranduba, maçarandubarana
<i>Chrysophyllum sanguinolentum</i> (Pierre) Baehni ssp. <i>sanguinolentum</i>	Coquirana, pau-de-porco, ucuquirana
<i>Chrysophyllum sanguinolentum</i> (Pierre) Baehni ssp. <i>spurium</i> (Ducke) T. D. Penn.	Balata-brava, ucuquirana
<i>Chrysophyllum ucuquirana-branca</i> (Aubrév. & Pellegrin) T. D. Penn.	Coquirana-branca
<i>Clusia</i> sp.	Bacupari, criúva, clúsia, guanandi-de-areia, pororoca
<i>Corythophora alta</i> Kunth	Ripeiro, ripeiro-vermelho
<i>Corythophora rimosa</i> W. A. Rodrigues ssp. <i>rimosa</i>	Castanha-jacaré, casca-jacaré
<i>Corythophora rimosa</i> W.A. Rodrigues	Castanha-jacaré, casca-jacaré
<i>Couepia</i> sp.	Amescla, bom-nome-preto, cabatã-cega-machado, carrapeta, carrapeta-tataburá
<i>Couepia ulei</i> Pilg.	
<i>Coussarea ampla</i> Mull.Arg.	
<i>Coussarea hirticalix</i> Standl.	

## Anexo 2. Continuação

Nome Científico	Nomes comuns
<i>Cupania scrobiculata</i> L.C.Rich.	Espeturana
<i>Dipterix</i> sp.	
<i>Duguetia chysea</i> Maas	
<i>Duguetia megalocarpa</i> Maas	Envira-cajú
<i>Duguetia stelechantha</i> (Diels) R.E.Fr.	
<i>Duguetia surinamensis</i> R.E.Fr.	Envira-amargosa
<i>Ecclinusa guianensis</i> Eyma	Abiurana-caju, abiurana-bacuri, cauchorana
<i>Endopleura uchi</i> (Huber) Cuatrec.	Uchi, uxi-amarelo, uxi-liso, uxi-pucu
<i>Eperua duckeana</i> R. S. Cowan	Muirapiranga-folha-grande
<i>Eperua glabriflora</i> (Ducke) R. S. Cowan	Muirapiranga-folha-miúda
<i>Ephedrantus amazonicus</i> R.E.Fr.	Envira-dura, envira-taia, envira-dura
<i>Eschweilera amazoniciformis</i> S.A. Mori	Matamatá
<i>Eschweilera atropetiolata</i> S.A.Mori	Castanha-vermelha
<i>Eschweilera carinata</i> S.A.Mori	
<i>Eschweilera collina</i> Eyma	Ripeiro-branco
<i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) Mart. ex Berg.	Matamatá-verdadeira
<i>Eschweilera grandiflora</i> (Aubl.) Sandwith	Matamatá-rósea
<i>Eschweilera pseudodecolorans</i> S.A.Mori	Matamatá
<i>Eschweilera rodriguesiana</i> Mori	
<i>Eschweilera</i> sp.	Burangica, cuia-de-macaco, embiribaçu, jatereu, mangue, quiriba, macaco-de-cuia, tiriba
<i>Eschweilera tessmannii</i> Knuth	Ripeiro-vermelho
<i>Eschweilera wachenheimii</i> (Benoist) Sandwith	Matamatá-mirim
<i>Eugenia</i> aff. <i>citrifolia</i> Poir.	
<i>Eugenia</i> cf. <i>illepida</i> McVaugh	
<i>Eugenia diplocampa</i> Diels	
<i>Euterpe precatória</i> Mart.	Açai-da-mata
<i>Ferdinandusa elliptica</i> Pohl.	Café-bravo
<i>Fusaea longifolia</i> (Aubl.) Saff.	Envira-preta, envira-surucucu
<i>Goupia glabra</i> Aubl.	Cupiúba
<i>Guarea scabra</i> A. Juss.	
<i>Guarea</i> sp.	Gito-vermelho, café-branco, cajarana, cedro-baio
<i>Gustavia elliptica</i> S.A. Mori	Mucurão
<i>Helianthostylis sprucei</i> Baill.	Falsa-rainha
<i>Helicostylis</i> sp.	Inharé
<i>Hevea brasiliensis</i> (Willd ex Adr. Juss.) Muell. Arg.	Seringueira, seringa-verdadeira
<i>Hevea guianensis</i> Aubl.	Seringueira, seringa-itaúba, seringa-vermelha
<i>Himatanthus</i> cf. <i>sucuuba</i> (Spruce) Woodson.	Sucuúba, sucuba, janaguba
<i>Hirtella</i> cf. <i>pimichina</i> Lass. & Mag.	
<i>Hirtella</i> sp.	Amescla-seca, carrapeta-amarela, casca-dura, cega-machado, estalador, oitizinho
<i>Humiriastrum cuspidatum</i> (Benth.) Cuatr.	
<i>Inga</i> sp.	Ingá, alho-bravo, cedro-amarelo, cega-machado, favinha
<i>Iryanthera juruensis</i> Warb.	Lacre-da-mata
<i>Iryanthera ulei</i> Warb.	Ucuuba-branca
<i>Jacaranda</i> sp.	Tamanqueira, falsa-caroba
<i>Lacunaria crenata</i> (Tul.) A. C. Sm.	
<i>Lecythis parvifructa</i> S.A.Mori	Jarana-de-folha-pequena
<i>Lecythis poiteaui</i> Berg.	Jarana-amarela
<i>Lecythis prancei</i> S.A.Mori	Castanha-jarana

## Anexo 2. Continuação

Nome Científico	Nomes comuns
<i>Lecythis</i> sp.	Embiratã, pininga, sapucaia-de-pilão, sapucarana, Sapucarana-verdadeira
<i>Licania</i> cf. <i>rodriguesii</i> Prance	
<i>Licania impressa</i> Prance	Macucu
<i>Licania micrantha</i> Miq.	Pintadinha
<i>Licania prismatocarpa</i> Spruce ex Hook.f.	
<i>Licania sothersae</i> Prance	
<i>Licania</i> sp.	Caraipé, caripé, cariperana, uxi-do-igapó, uchirana
<i>Licaria guianensis</i> Aubl.	Louro-mangarataia
<i>Mabea caudata</i> Pax & K. Hoffm	Taquari, seringai
<i>Mabea piriri</i> Aubl.	
<i>Manilkara bidentata</i> (A.DC.) A.Chev.	Massaranduba
<i>Manilkara cavalcantei</i> Pires & W. A. Rodrigues	Massaranduba-de-folha-miúda
<i>Maquira sclerophylla</i> (Ducke) C. C. Berg.	Muiratinga, pau-tanino
<i>Matayba</i> sp.	Breu-pitomba
<i>Mezilaurus duckei</i> van der Werff	Itaúba-abacate
<i>Mezilaurus itauba</i> (Meissn.) Taubert ex Mez	Itaúba, louro-itaúba
<i>Micrandra rossiana</i> R.E.Schult	Cauchorana
<i>Micrandra siphonioides</i> Benth.	Seringarana, cauchorana
<i>Micropholis guyanensis</i> (A. DC.) Pierre ssp. <i>duckeana</i> (Baehni) T.D. Penn.	Balata-rosadinha, chile-bravo, abiurana-bacuri, cauchorana
<i>Micropholis guyanensis</i> (A. DC.) Pierre ssp. <i>guyanensis</i>	Balata-brava, maparajuba, abiurana-bacuri, cauchorana
<i>Micropholis mensalis</i> (Baehni) Aubrév.	Abiurana-goiabinha, abiurana-roxa
<i>Micropholis venulosa</i> (Mart. & Eichler) Pierre	Abiurana-branca, Mulungu, rosada-verde
<i>Micropholis williamii</i> Aubrév. & Pellegrin	Abiurana, balata-brava
<i>Minuartia guianensis</i> Aubl.	Acariquara, aquariquara-roxa, acariúba
<i>Mouriri brevipes</i> Hook	Muiráuba
<i>Neea</i> sp.	João-mole
<i>Ocotea amazonica</i> (Meissn.) Mez.	Canela-mamelada
<i>Ocotea canaliculata</i> (Rich) Mez.	Louro-branco, louro-pimenta
<i>Ocotea fragantissima</i> Ducke	Louro-preto
<i>Ocotea myriantha</i> (Meissn.) Mez.	Louro-abacate
<i>Ocotea percurrens</i> Vicentini	
<i>Oenocarpus</i> sp.	
<i>Ormosia smithii</i> Rudd.	
<i>Osteophloeum platyspermum</i> (A. DC.) Warb.	Ucuuba-chico-de-assis, lacre-da-mata, ucuúba-amarela, ucuúba-branca, ucuubarana
<i>Ouratea discophora</i> Ducke	Uxi-de-morcego
<i>Parkia pendula</i> (Willd.) Walp.	Visgueiro, arara-tucupi, faveira-arara-tucupi, faveira-parquia
<i>Parkia</i> sp.	Faveira
<i>Paypayrola grandiflora</i> Tul.	Manacarana, paparola
<i>Peltogyne</i> sp.	
<i>Poraqueiba guianensis</i> Aubl.	Marirana, umari-amarelo, umari-bravo, umarirana
<i>Pouteria anomala</i> (Pires) T. D. Penn.	Abiurana-balatinha, abiurana-rosadinha, mangabarana, rosadinha, rosadinho
<i>Pouteria caimito</i> (Ruiz & Pav.) Radlk.	Abiurana-aquariquara
<i>Pouteria</i> cf. <i>stipulifera</i> T.D.Penn	
<i>Pouteria cladantha</i> Sandwith	Abiurana-seca
<i>Pouteria flavilata</i> T. D. Penn	
<i>Pouteria macrophylla</i> (Lam.) Eyma	Acará-uba

## Anexo 2. Continuação

Nome Científico	Nomes comuns
<i>Pouteria reticulata</i> (Engl.) Eyma	Abiurana-cascuda
<i>Pouteria</i> sp.	Abiurana
<i>Pouteria verrucosa</i> T. D. Penn.	Abiurana
<i>Protium altsonii</i> Sandwith	
<i>Protium fimbriatum</i> Swart.	
<i>Protium grandifolium</i> Engl.	
<i>Protium guianense</i> (Aubl.) March. ssp. <i>guianense</i>	Pau-de-incenso
<i>Protium</i> sp.	Breu
<i>Protium tenuifolium</i> (Engl.) Engl.	Breu, breu-preto
<i>Protium trifoliolatum</i> Engl.	Breu-branco
<i>Pseudolmedia laevis</i> (Ruiz & Pavan) Macbr.	Inharé-folha-miúda, muiratinga
<i>Pseudolmedia murure</i> standl.	
<i>Pterocarpus amazonicus</i> Hub.	Mututi, mututi-da-várzea, pau-sangue
<i>Quiina obovata</i> Tul.	
<i>Rinorea guianensis</i> Aubl. var. <i>subintegrifolia</i>	Falsa-cupiúba
<i>Rinorea paniculata</i> (Mart.) Kuntze	
<i>Salacia</i> sp.	Chichuasca
<i>Sarcaulus brasiliensis</i> ssp. <i>brasiliensis</i> (A. DC.) Eyma	Guajará
<i>Sclerolobium</i> cf. <i>micropetalum</i> Ducke	
<i>Sclerolobium melanocarpum</i> Ducke	Taxi-vermelho
<i>Sclerolobium paraense</i> Hub.	Pau-de-formiga, pau-ponga, taxi-branco, taxi-preto, taxirana
<i>Scleronema micranthum</i> Ducke	Cardeiro, cedro-bravo, cedrorana
Sem amostra	Envireira (anonaceae)
Sem amostra	Pajurá
Sem identificação	Tanibuca
<i>Simaba</i> sp.	Calunga
<i>Siparuna argyrochrysea</i> Pert.	
<i>Siparuna cuspidata</i> (Tul.) A. DC.	
<i>Siparuna decipiens</i> (Tul.) A. DC.	Limão-do-mato, louro-capitiú
<i>Sloanea guianensis</i> (Aubl.) Benth.	Urucurana
<i>Sloanea schomburgkii</i> Benth.	
<i>Sloanea synandra</i> Spruce ex Benth.	
<i>Stryphnodendron racemiferum</i> (Duke) Rodr.	Ingarana
<i>Suroia fusifera</i> Hook. Fex. K.Schum.	
<i>Swartzia corrugata</i> Benth.	Coração-de-negro
<i>Swartzia cuspidata</i> Spruce ex Benth.	Muirapiranga-folha-miúda
<i>Swartzia ingifolia</i> Ducke	Acapú-amarelo, carrapatinho
<i>Swartzia polyphylla</i> DC.	Paracutaca, jabelona
<i>Talisia</i> cf. <i>microphylla</i> Uitt.	
<i>Tetragastris panamensis</i> (Engl.) Kuntze	Barrote, breu-areu-areu, breu-preto
<i>Theobroma sylvestre</i> Mart.	Cacau-do-mato, cacauí, cacau-azul
Tintarana	Tintarana
<i>Tovomita</i> sp.	Mangue, mangue-branco, mangue-preto, mangue-vermelho
<i>Trattinnickia peruviana</i> Loes.	
<i>Trymatococcus amazonicus</i> Poepp. & Endl.	Páima
<i>Unonopsis</i> sp.	
<i>Unonopsis stipitata</i> Diels	Envira, envireira, envira-preta, envira-surucucu
<i>Vantanea macrocarpa</i> Ducke	Uchirana, quebra-machado, macucu-murici, uxi-quebra-machado
<i>Virola caducifolia</i> W.A. Rodrigues	Ucuba-peluda

## Anexo 2. Continuação

Nome Científico	Nomes comuns
<i>Virola michelli</i> Heck	Ucuuba-preta
<i>Virola</i> sp.	
<i>Virola venosa</i> (Benth.) Warb.	Ucuuba-branca, ucuúba-da-mata
<i>Vochysia</i> cf. <i>melinonii</i> Bechmann	Quaruba, quaruba-branca, quarubatinga
<i>Xylopia amazonica</i> R.E.Fr.	Louro-bosta, envira-sarassará, envireira-vermelha, envirataia-vermelha, envirataia-sarassará
<i>Zygia juruana</i> (Harms) L.Rico	Inga-cauliflora
<i>Zygia racemosa</i> (Ducke) Barneby & J. W. Grimes	Angelim-rajado