

**ESTRUTURA E MODELAGEM  
VOLUMÉTRICA DE UMA FLORESTA  
TROPICAL ÚMIDA DE TERRA FIRME, EM  
MANICORÉ, AMAZONAS**

**NORY DANIEL DE CARVALHO ERAZO**

**2009**

**NORY DANIEL DE CARVALHO ERAZO**

**ESTRUTURA E MODELAGEM VOLUMÉTRICA DE UMA  
FLORESTA TROPICAL ÚMIDA DE TERRA FIRME, EM  
MANICORÉ, AMAZONAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Ciências Florestais, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador  
Prof. Natalino Calegario

LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2009

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca Central da UFLA**

Erazo, Nory Daniel de Carvalho.

Estrutura e modelagem volumétrica de uma floresta tropical úmida de terra firme, em Manicoré, Amazonas / Nory Daniel de Carvalho Erazo. – Lavras: UFLA, 2009.

97 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2009.

Orientador: Natalino Calegario.

Bibliografia.

1. Estrutura diamétrica. 2. Heterogeneidade de variância. 3. Modelos não lineares generalizados. 4. Amazônia. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 634.92  
634.9285

**NORY DANIEL DE CARVALHO ERAZO**

**ESTRUTURA E MODELAGEM VOLUMÉTRICA DE UMA FLORESTA  
TROPICAL ÚMIDA DE TERRA FIRME, EM MANICORÉ, AMAZONAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Ciências Florestais, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 3 de agosto de 2009.

Prof. Paulo Fernando Trugilho

UFLA

Prof. Marco Aurélio Leite Fontes

UFLA

Prof. Natalino Calegario

UFLA

(Orientador)

LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL

“Se tivesse mais tempo, escreveria uma carta mais curta”.

BLAISE PASCAL (1623-1662)

“Escrever é o mais próximo que os homens chegam de ter um filho”.

NORMAN MAILER (1923-)

“Somos aprendizes de uma arte na qual ninguém se torna mestre”.

ERNEST HEMINGWAY (1898-1991)

A minha família.

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), pela liberação e incentivo à minha formação acadêmica.

À Universidade Federal de Lavras, em particular ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, pela oportunidade de fazer o mestrado.

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM), pela concessão de bolsa de estudos.

Ao amigo Calegario, na sua incessante visão de que é possível ensinar novas formas de compreender o comportamento da floresta.

A Dra. Maria das G. G. Vieira, quando Coordenadora da CPBO, por entender da necessidade de minha qualificação profissional e acadêmica e por liberar-me pelo tempo necessário.

Aos meus amigos José Eduardo Lahoz, Carlos Franciscan e Maria de Fátima, verdadeiro time de grandes pesquisadores na botânica, pelo apoio, incentivos e conselhos.

Aos amigos da coordenação de pesquisas em botânica, Marcinha, Rose, Ana, Gleison, Zé Ramos, Zé Guedes, Zé Lima, Lena, Bento, Olenka, Bitinha e Isac.

Aos meus “anjos” da guarda aqui no programa de pós-graduação: Roseane e Chiquinha, meu eterno agradecimento a vocês duas por tudo.

Aos amigos, companheiros, incentivadores, suportes emocionais nos momentos mais difíceis: Ricardo (clavícula), Faustin, Duda, Daniel Leão, Meire e D. Nevinha, Edy e família, Emílio, Alisson, Raiana, Tata, Iedo, Bel, Nerci e família, Bob, Alan, Juliano, Chicão, Dani, Gleyce, Adriano, Samuel, Ayuni, Micheli, Mariana, Totonho, Malcon Selma, Georgea, Erica e todos os companheiros (as) da pós-graduação.

Aos que faziam da República Guatambu o melhor local de descontração, Luiz Antônio (rato), Leonel, Bruna, André (Grilo), Camilinha, Gláucia, Claudinha, Gabi, Ijaci, Chicão e Dani.

A duas pessoas que talvez traduzam o melhor conceito de simplicidade, D. Fia e D. Regina (DCF). Se hoje consigo enxergar melhor o meu próximo, devo isso ao convívio com essas duas amadas senhoras.

Ao companheiro Clavícula, por proporcionar a chance de ver nascer o surgimento de uma grande, típica e verdadeira família mineira (Joãozinho e Fabi). A este amigo sou grato pelos meses de aprendizado e amadurecimento.

A Vânia, Mário Sérgio, Mário Henrique e Sérgio Rodrigo (Família de Poços de Caldas), verdadeiros culpados pela minha paixão mineira por esta terra mágica.

Aqueles que sempre trabalharam nos bastidores, garantido a mim e aos meus amigos conforto em nossos dia-a-dia, Sr. Edgar e D. Fátima, Jura (Choquito), Marquinhos, Bravos e Gilvan.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
RESUMO GERAL .....	i
ABSTRACT GENERAL .....	ii
CAPÍTULO 1: Floresta tropical amazônica: estrutura, manejo e modelagem .....	1
1 Introdução .....	1
2 Referencial teórico .....	3
2.1 Atividade madeireira .....	3
2.2 Fragilidade da estrutura florestal .....	5
2.3 Inventário florestal e parcelas permanentes .....	7
2.4 Modelos de simulação para a Amazônia .....	11
2.5 Crescimento e incremento de florestas tropicais úmidas .....	12
2.6 O problema na modelagem de variáveis dendrométricas .....	13
3 Objetivos .....	15
3.1 Objetivo geral .....	15
3.2 Objetivos específicos .....	15
4 Referências bibliográficas .....	16
CAPÍTULO 2: Análise estrutural e estimativas dendrométricas de uma floresta tropical úmida de terra firme no estado do Amazonas, Brasil .....	23
1 Resumo .....	23
2 Abstract .....	24
3 Introdução .....	25
4 Objetivos .....	30
5 Material e métodos .....	31
5.1 Caracterização da área de estudo .....	31
5.2 Coleta de dados dendrométricos .....	33
5.3 Método de cubagem de árvores: determinação do volume .....	36
5.4 Estimativas dos parâmetros da estrutura horizontal .....	37
5.5 Fator de forma .....	41
5.6 Organização, processamento e análise estatística .....	42
6 Resultados e discussão .....	43
6.1 Análise estrutural .....	46
6.2 Espécies comerciais .....	55
6.3 Participação de <i>Eperua oleifera</i> Ducke .....	61
7 Conclusões .....	65
8 Referências bibliográficas .....	66
CAPÍTULO 3: Modelos não lineares generalizados volumétricos para a Floresta Amazônica .....	73

1	Resumo .....	73
2	Abstract .....	74
3	Introdução .....	75
4	Objetivos .....	77
4.1	Objetivo geral .....	77
4.2	Objetivos específicos .....	77
5	Material e métodos .....	78
5.1	Dados: variáveis dendrométricas .....	78
5.2	Modelos utilizados .....	79
5.3	Obtenção das estimativas de mínimos quadrados .....	80
5.4	Inclusão de covariantes ao modelo .....	82
5.5	Função da heterogeneidade de variância .....	82
5.6	Medidas de acurácia do modelo .....	84
5.7	Método de ajuste e análise estatística .....	85
6	Resultados e discussão .....	87
6.1	Seleção do melhor modelo .....	87
6.2	Inclusão de covariantes ao modelo .....	88
6.3	Modelagem da heterogeneidade de variância .....	90
7	Conclusões .....	94
8	Referências bibliográficas .....	96

## RESUMO GERAL

ERAZO, Nory Daniel de Carvalho. **Estrutura e modelagem volumétrica de uma floresta tropical úmida de terra firme, em Manicoré, Amazonas**. 2009. 97 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.\*

Este trabalho foi realizado com o objetivo de analisar a estrutura dendrométrica de espécies comerciais de uma floresta tropical de terra-firme e indicar aquelas promissoras para a modelagem do volume comercial. As pesquisas foram desenvolvidas em uma área de 40 mil hectares, em uma localidade conhecida por Vila Democracia, no município de Manicoré, estado do Amazonas, na bacia hidrográfica do rio Madeira, afluente da margem direita do rio Amazonas. Foram incluídos indivíduos com o diâmetro à altura do peito (DAP)  $\geq 40$  cm, a aproximadamente 1,30 m acima do nível do solo, altura comercial e o volume. O volume foi obtido por meio de dados de cubagem (volume rigoroso). A espécie *Eperua oleifera* Ducke teve representantes em todas as classes diamétricas e foi a que melhor apresentou estimativas dendrométricas (DAP médio, área basal média e volume médio), concluindo ser esta espécie de grande valor potencial de mercado. No presente estudo, também foram utilizadas técnicas baseadas nos modelos não lineares generalizados para a estimativa do volume para árvores individuais. Com a técnica de decomposição de parâmetros utilizando-se covariantes e modelagem da heterogeneidade da variância, a distribuição dos resíduos foi sensivelmente melhorada e o valor do logaritmo da máxima verossimilhança foi elevado de -126,33 para -47,874, tendo tal diferença sido altamente significativa. Essa mudança afetou de forma determinante o uso do modelo para predição com fins de planejamento florestal.

**Palavras-chave:** estrutura florestal, espécies comerciais, Amazônia, modelos não lineares generalizados, heterogeneidade de variância.

---

\* Comitê Orientador: Natalino Calegario – UFLA (Orientador), Paulo Fernando Trugilho – UFLA e Marco Aurélio Leite Fontes – UFLA.

## ABSTRACT GENERAL

ERAZO, Nory Daniel de Carvalho. **Structure and volumetric modeling of a upland rain forest in Manicoré, Amazonas**. 2009. 97 p. Dissertation (Master of Science in Forestry) – Federal University of Lavras, Lavras, MG.\*

This work was developed with the objective of investigating the dendrometric structure of commercial species of an upland (terra firme) tropical forest and indicating those potentials for the modeling of commercial volume. The research works were developed in a 40-thousand hectare area, in a place known as Vila Democracia, in the town of Manicoré, state of Amazonas, in the Madeira River's water shed, affluent of the right bank of the Amazonan river. It was recorded the breast height diameter (DBH)  $\geq 40$  cm, at about 1.30 m above ground level, commercial height and volume. The volume was obtained through the upper stem diameter measurements. The species *Eperua oleifera* Ducke had individuals in all the diameter classes and had greater dendrometric estimates (medium DBH, medium basal area and medium volume), concluding that this species has a great potential market value. In the present study, techniques based on the generalized non-linear models for the estimate of the volume for individual trees were also used. Through the parameter decomposition approach, by utilizing covariants, and modeling of the variance heterogeneity, the distribution of the residues was sensibly improved and the value of the logarithm of the maximum likelihood was raised from -126.33 to -47.874, with high significance. That change affected in a decisive way the use of the model for prediction with purposes of forest planning.

**Key words:** forest structures, commercial species, Amazonan rainforest, generalized nonlinear models, heterogeneity of variance.

---

\* Guidance Comittee: Natalino Calegario – UFLA (Major Professor), Paulo Fernando Trugilho – UFLA and Marco Aurélio Leite Fontes – UFLA.

## **CAPÍTULO 1**

### **Floresta tropical Amazônica: estrutura, manejo e modelagem**

#### **1 INTRODUÇÃO**

A Floresta Amazônica tornou-se, no final da década de 1980, uma das regiões do mundo alvo de muito interesse por parte de vários países. Isso ocorreu em virtude de fatores como grande extensão territorial, riqueza da biodiversidade, grande biomassa lenhosa e complexidade dos ecossistemas, onde o equilíbrio pode ser rompido facilmente, com modificações irreversíveis após uma perturbação intensa (Umaña & Alencar, 1998).

A Amazônia brasileira abriga um terço das florestas tropicais do mundo, sendo detentora da maior reserva de madeira tropical, cujo volume é estimado em 60 bilhões de metros cúbicos de madeira em tora e o valor econômico potencial pode alcançar 4 trilhões de reais em madeira serrada. Além disso, abriga alguns milhares de espécies de árvores, das quais cerca de 350 já estão sendo extraídas para fins madeireiros.

A extração seletiva de madeira é apontada, segundo Azevedo (2006), como um dos maiores impactos sobre a Floresta Tropical, a qual altera, mas não destrói a floresta. A alteração da cobertura natural da floresta e a criação de clareiras, pela queda e remoção de árvores, assemelham-se à dinâmica natural das florestas. Sabe-se que é possível orientar a derrubada, controlando o tamanho de clareira e, com isso, garantir uma sucessão florestal similar à original (Higuchi et al., 1997).

Além do valor madeireiro, a floresta tem riquezas, como os produtos não madeireiros e diversas espécies de animais, plantas e microrganismos. Existem, também, os serviços que a floresta presta para o equilíbrio do clima regional e

global, especialmente pela manutenção dos ciclos hidrológicos e a retenção de carbono (Veríssimo & Amaral, 1996; Barros & Verissimo, 2002; Fearnside, 2006; Fonseca et al., 2008).

O crescimento significativo da atividade madeireira na Amazônia, como mostraram Nectoux & Kuroda (1989) e Higuchi (1994), é atribuído, em parte, à exaustão das florestas do sul e sudeste do Brasil. O esgotamento progressivo das florestas tropicais da Ásia, que até o final dos anos 1980 eram responsáveis por 70% do comércio internacional de madeiras, contribuiu para um aumento na procura de madeiras da Floresta Amazônica. De acordo com dados da International Tropical Timber Organization - ITTO (1999), a região amazônica se apresentava como a terceira maior produtora de madeira tropical dura.

Porém, Higuchi (1994) ressalta que, na Amazônia brasileira, além das pesquisas silviculturais e de manejo florestal, muitos estudos básicos têm sido realizados, sobretudo em áreas de conhecimento como ecofisiologia, fenologia, sistemas de reprodução, estrutura natural da floresta, balanço de água e nutrientes e fitossociologia das principais espécies arbóreas amazônicas.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

No tocante às potencialidades paisagísticas da região, as mesmas são bem relatadas:

A Amazônia destaca-se pela extraordinária continuidade de suas florestas, pela ordem de grandeza de sua principal rede hidrográfica e pelas sutis variações de seus ecossistemas, em nível regional e de altitude. Trata-se de um gigantesco domínio de terras baixas florestadas, disposto em anfiteatro, enclausurado entre a grande barreira imposta pelas terras cisandinas e pelas bordas dos planaltos Brasileiro e Guianense. De sua posição geográfica resultou uma fortíssima entrada de energia solar, acompanhada de um abastecimento quase permanente de massas de ar úmido, de grande estoque de nebulosidade, de baixa amplitude térmica anual e de ausência de estações secas pronunciadas em quase todos os seus subespaços regionais (Ab'Saber, 2003, p. 159).

A Amazônia brasileira legal cobre uma área de, aproximadamente, 5 milhões km<sup>2</sup>, correspondendo a 2/3 do território nacional. Desse total, mais de 375 milhões de hectares são classificados como florestas tropicais densas. Descontando-se os desmatamentos para as mais variadas formas de usos do solo, a área remanescente de floresta primária é de 250 milhões de hectares. O estoque de madeira em pé na Amazônia brasileira contribui com mais de 30% da reserva mundial de madeira dura tropical. Considerando apenas a madeira como mercadoria, isso representa um grande potencial para a economia da região e do Brasil (Lima et al., 2005). De acordo com esses autores, grande parte da matéria-prima que abastece o mercado é proveniente de terra-firme, com exceção do estado do Amazonas que também é abastecido de matéria-prima de várzeas.

### 2.1 Atividade madeireira

Nas últimas décadas, a atividade madeireira na Amazônia vem ocupando lugar de destaque na produção nacional. Até meados dos anos 1970, o volume extraído era modesto, constituindo 14% da produção do país (Veríssimo et al., 1992; Veríssimo & Amaral, 1996; Uhl et al., 1997). Higuchi (1994) ressalta que,

no ano de 1990, as indústrias exportadoras de madeira da Amazônia brasileira faturaram U\$\$ 170 milhões, dos quais o estado do Pará sozinho contribuiu com 80%. Apesar de representar menos de 10% das exportações da Ásia e África, este montante representa quase o dobro das exportações de produtos eletroeletrônicos da Zona Franca de Manaus, no mesmo período.

Durante os anos 1990, a região assumiu a liderança na produção de madeira no país, principalmente por causa da exaustão das florestas de outras regiões do Brasil e de países como a Malásia e a Tailândia, na Ásia (Lisboa et al., 1991; Higuchi, 1994; Prado, 1995). Até o final da década de 1990, a Amazônia produzia cerca de 28 milhões de metros cúbicos de madeira em tora por ano, o que equivale a 85% da produção do país (Smeraldi & Veríssimo, 1999).

No cenário mundial, a Amazônia Legal está em segundo lugar na produção anual (aproximadamente 25 milhões de metros cúbicos) de madeira em toras, sendo superada apenas pela Indonésia, que produziu 30 milhões de metros cúbicos em 2004 (Lentini et al., 2005). Considerando a produção brasileira de madeira serrada proveniente de florestas nativas e sua inserção no comércio internacional, tem-se que o volume produzido em 2003 foi de, aproximadamente, 15,3 milhões de m<sup>3</sup>, equivalente a 14,4% da produção mundial, ocupando a 2ª posição no ranking mundial (Perez & Bacha, 2007).

Com a diminuição dos estoques de madeiras duras de outras regiões tropicais, principalmente dos países do sudeste asiático, a atenção do mercado internacional se volta para a região amazônica (Instituto de Manejo e Certificação Florestal e Agrícola - IMAFLORA, 1999; ITTO, 1999), que detém 50% da reserva contínua de floresta tropical do mundo (Food and Agriculture Organization - FAO, 2000). Essa situação coincide com um novo paradigma do setor florestal, que é a busca pela produção sustentável de madeira.

## **2.2 Fragilidade da estrutura florestal**

Contudo, vale salientar que, para o sucesso de empreendimentos florestais na Amazônia, como bem ressaltado por Alves & Miranda (2008), é fundamental a manutenção da diversidade tanto de espécies como de habitats. Na elaboração e condução de planos de manejo das florestas naturais existe a necessidade de considerar a diversidade de habitats, as diferenças biogeográficas e o conhecimento dos processos ecológicos e seus agentes (Phillips et al., 2003; Schulman, 2003; Tuomisto et al., 2003; Lewis et al., 2004).

Entretanto, alguns dos mecanismos de sustentação dos ecossistemas manejados ainda não são adequadamente abordados pelos manejados e nem pela legislação florestal brasileira em vigor, visto que vários aspectos ecológicos fundamentais são desconsiderados nos planos de manejo. A Instrução Normativa nº 4, do Diário Oficial da União, nº45 - Seção 1, de 7 de março de 2002, estabelece critérios para a manutenção da capacidade produtiva das florestas em longo prazo, tais como o controle do volume de madeira extraído por hectare, o ciclo de corte e algumas medidas silviculturais baseadas nas áreas das unidades de produção anual (UPA) e não em áreas com condições ambientais uniformes, que corresponderiam a comunidades ecológicas, com suas propriedades coletivas e emergentes estabelecidas dentro dos padrões e processos ecológicos conhecidos para as florestas tropicais (Alves & Miranda, 2008). A atividade de manejo tem procurado estabelecer práticas silviculturais mais adequadas aos processos ecológicos (Uhl & Vieira, 1989; Buschbacher, 1990; Rodriguez, 1998), especialmente aqueles que podem afetar o crescimento ou a viabilidade das populações (Noris & McCulloch, 2003).

Após descrever suas estruturas e analisar as variações na densidade de algumas espécies de interesse comercial na Amazônia, Alves & Miranda (2008) concluíram que as espécies apresentaram raridades em determinados locais e abundância em outros, confirmando a necessidade de planejar, para o manejo

florestal, números diferentes de indivíduos a serem preservados para uma mesma espécie em diferentes locais. Os mesmos autores confirmam a importância de se considerar, nos planos de manejo, o conceito de comunidade florestal, especialmente para minimizar os impactos nas espécies mais especialistas em alguns habitats.

O entendimento da dinâmica de uma floresta depende de diversas informações fundamentais, podendo ser destacada a avaliação de crescimento por meio de observações dos incrementos em diâmetro, altura e área basal em um determinado intervalo de tempo. Outras informações, como o ingresso de indivíduos, que consiste no processo de entrada das árvores em uma nova etapa de medição e de mortalidade, que é o número de plantas que morrem durante um intervalo de tempo, também são de extrema importância, especialmente quando se considera o uso sustentável dos recursos florestais (Mello, 1999).

O conhecimento da estrutura diamétrica de formações florestais mutiâneas ou inequiâneas (diferentes idades) é importante, uma vez que a variável idade é de difícil obtenção e mostra um valor relativo em virtude da elevada biodiversidade das formações florestais neotropicais, da variação nas classes de diâmetro e das condições ecofisiológicas diversas das espécies (Souza & Jesus, 1994; Cunha et al., 2000).

Com o auxílio da análise estrutural pode-se definir a técnica de manejo mais adequada para uma determinada região, uma vez que ela mostra a composição da floresta, do ponto de vista qualitativo e quantitativo. Isso permite a intervenção no povoamento em uma intensidade que não provoque alterações irreversíveis e possibilitando que a floresta atinja seu máximo potencial produtivo (Amaro et al., 2008).

Importantes instrumentos que utilizam a distribuição diamétrica e que subsidiam o planejamento florestal são os modelos de produção que, embora impliquem em uma simplificação da realidade, permitem obter um diagnóstico

da distribuição diamétrica das árvores que compõem a floresta (Pulz et al., 1999). Conforme estes autores, esses modelos permitem variações diamétricas a partir da definição do ciclo de corte, da avaliação da viabilidade econômica de se praticar ou não o manejo da floresta e de quantos indivíduos de uma espécie poderão ser removidos, de tal forma a afetar o mínimo possível a diversidade florística.

### **2.3 Inventário florestal e parcelas permanentes**

O procedimento que tem ajudado na avaliação e no monitoramento do caráter da dinâmica da estrutura de uma floresta, bem como de uma série de variáveis indispensáveis para a definição do manejo a ser aplicado a uma comunidade, é o Inventário Florestal Contínuo (IFC), que corresponde a efetuar medições na floresta repetidas vezes no tempo, ou seja, medições em várias ocasiões (Péllico Netto & Brena, 1997; Queiroz, 1998).

O primeiro estudo quantitativo de uma floresta amazônica no Brasil foi publicado por Bastos (1948), citado por Oliveira (2000). Este autor utilizou uma amostragem de 1 hectare dividida em parcelas descontínuas de 20 m x 50 m, totalizando 891 árvores com mais de 15 cm de diâmetro à altura do peito (DAP). Para árvores com  $DAP \geq 30$  cm, identificou 46 espécies entre 124 indivíduos.

A missão FAO na Amazônia, junto à Superintendência do Plano de Valorização Econômica da Amazônia (SPVEA), produziu vários levantamentos florestais que foram apresentados em forma de relatório ao governo brasileiro (Oliveira, 2000). De acordo com este autor, muitos deles tiveram uma divulgação muito restrita, sendo reunidos posteriormente em uma única publicação da Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM, sucessora da SPVEA). A missão analisou pelo menos 1.362 ha, nos quais as árvores com  $DAP \geq 25$  cm ou, em alguns casos, com mais de 45 cm, foram medidas e identificadas por técnicos de campo especializados. Foram

computadas 400 espécies entre 47 famílias botânicas, sendo Leguminosae, Lecythidaceae, Sapotaceae, Burseraceae, Lauraceae e Chrysobalanaceae as mais representativas.

Os inventários na Amazônia têm demonstrado que as mata de terra firme “senso strictu”, ou seja, as florestas de platô ou encosta em solo argiloso, apresentam alta diversidade, grande porcentagem de espécies com baixa densidade e baixa similaridade florística entre parcelas próximas. Estes padrões foram estabelecidos muito cedo na história dos inventários florestais quantitativos (Oliveira, 2000) e muito pouco tem sido acrescentado desde então, no que se refere a padrões estruturais e florísticos.

Azevedo (2006) comenta que o procedimento de inventário florestal contínuo resulta na obtenção de uma série de informações fundamentais aos manejadores, como avaliação do crescimento, ingresso, mortalidade, ciclo de corte, sucessão e densidade de estoque, dentre outros.

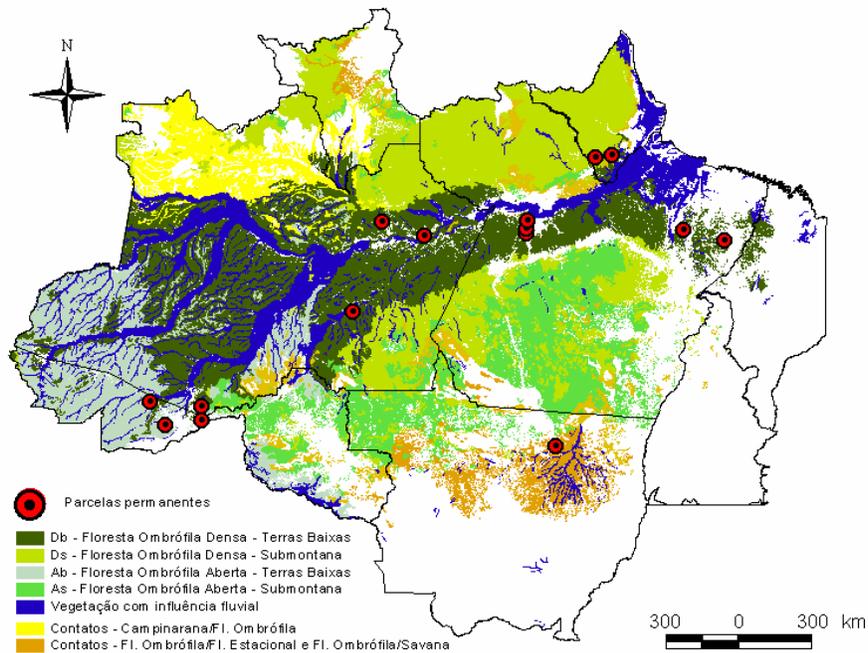
Os IFCs são, normalmente, sinônimos de parcelas permanentes. Portanto, parcelas permanentes – no âmbito do manejo florestal – são áreas permanentemente demarcadas na floresta, periodicamente remedidas com o objetivo de se obter informações sobre o crescimento e a dinâmica da floresta, ou seja, sobre as alterações relativas a número, composição e dimensões dos indivíduos arbóreos em determinado período de tempo (Alder & Synnott, 1992).

As parcelas permanentes surgiram como uma extensão das parcelas de inventário contínuo, com o objetivo de proporcionar dados de alta qualidade para auxiliar a construção de modelos de crescimento e produção (Vanclay, 1991). A ideia era a de que, observando o desenvolvimento de um povoamento, desde o seu estabelecimento até a idade adulta, se poderia prever o comportamento das futuras colheitas dos povoamentos com características semelhantes. Os modelos construídos poderiam projetar o crescimento do povoamento com base no conhecimento de sua história.

Nos anos 1990, diversos autores (Vanclay, 1991; Sheil, 1995) discutiram a qualidade e utilidade de dados provenientes de parcelas permanentes, assim como a análise dos mesmos. Entre os problemas identificados por estes autores, se destacam: descontinuidade e irregularidade das medições, troca dos objetivos das parcelas, substituição/troca dos métodos de medição, parcelas não são representativas do povoamento que se deseja simular, banco de dados inadequados e análise estatística deficiente e ineficiente. Além destes, identificou-se que as parcelas permanentes têm as mais variadas formas e tamanhos; o limite mínimo de DAP não é o mesmo; o método de cálculo para as taxas anuais difere; alguns estudos incluem palmeiras, lianas ou arbustos e outros, apenas espécies arbóreas; os tipos florestais são também variados, havendo florestas de várzea, de terra firme, de terras baixas, de encostas, de galerias, etc., cada uma submetida ainda a diferentes precipitações anuais, em diferentes altitudes, com diferentes históricos de perturbação, etc.

São muitas as descobertas produzidas pelo atual sistema de parcelas permanentes, dentre as quais se destacam: a dinâmica, ou seja, as taxas e as mudanças ocorridas na estrutura, na composição, no crescimento, na mortalidade e na regeneração; os fatores ecológicos que afetam essa dinâmica e a complexidade das interações entre os fatores envolvidos no processo (Higuchi, 1987; Swaine et al., 1987; Silva, 1989; Swaine, 1989; Carvalho, 1992; Phillips & Gentry, 1994; Silva et al., 1995).

Diversas instituições da Amazônia instalaram parcelas permanentes e estão monitorando o crescimento da floresta (Figura 1). Entre elas, destacam-se Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Embrapa Amazônia Oriental, Embrapa Amazônia Ocidental, Embrapa Acre, Instituto do Homem e do Meio Ambiente da Amazônia (Imazon) e Universidade Federal do Mato Grosso.



Fonte: Azevedo (2006)

FIGURA 1 Distribuição das parcelas permanentes da Amazônia de acordo com o tipo de vegetação.

Os dados coletados nestas parcelas foram a base para desenvolver modelos de predição de crescimento da floresta amazônica, como o CPATU Forest Growth Model - CAFOGROM (Alder & Silva, 2000, 2001) e, para parametrizar, o SYMFOR (SIMFLORA) para as condições amazônicas (Phillips et al., 2004). Essas experiências inspiraram, também, os dois sistemas silviculturais para a Amazônia brasileira (Higuchi et al., 1991; Silva et al., 1999).

## **2.4 Modelos de simulação para a Amazônia**

Um modelo é uma abstração de um sistema real, é uma simplificação na qual somente aqueles componentes que são significativos para o problema e disponíveis são representados no modelo. O melhor modelo é aquele que atinge o maior realismo com menor número de parâmetros e menor grau de complexidade (Wainwright & Mulligan, 2004).

Como bem exposto por Azevedo (2006), foram produzidos poucos modelos de simulação que descrevem a dinâmica da floresta primária ou manejada na Amazônia brasileira. Finegan (1992) e Kammesheidt et al. (2002) construíram modelos de crescimento de florestas secundárias em terra agrícola. Stone (1998) simulou a avaliação econômica da extração de madeira para um período de 10 anos, mas não incluiu modelos de crescimento de árvores. Dale et al. (1994) modelaram práticas de uso da terra, focalizando em desmatamento para agricultura.

Somente o modelo CAFOGROM tenta simular crescimento de árvores para o manejo florestal na Amazônia Oriental. Esses modelos não são espacialmente explícitos e não consideram as mudanças de crescimento causadas pela intervenção do manejo. Eles podem fazer previsões da produção, mas terão pouca sensibilidade aos detalhes de alternativas silviculturais ou estratégias de manejo, particularmente em termos de níveis de danos da colheita, estruturas espaciais criadas na floresta e mudanças na composição de espécies (Azevedo, 2006).

Vanclay (1994) introduziu vários tipos de modelos produzidos para florestas tropicais. Phillips et al. (2003) mostram outros modelos que foram utilizados para descrever crescimento, ecologia e produção em florestas tropicais.

## 2.5 Crescimento e incremento de florestas tropicais úmidas

Johnson, apud Azevedo (2006), após extensa revisão bibliográfica, resumiu da seguinte maneira: entre 1 e 3 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, como intervalo médio para o sudeste asiático; 2 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para as florestas da Nigéria e de 2,9 a 4,3 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> nas florestas de dipterocarpaceas das Filipinas.

No estado do Pará, na região de Santarém, Silva et al. (1996) observaram o crescimento e a produção numa floresta de terra-firme em quatro áreas distintas: floresta primária (testemunha), duas áreas exploradas seletivamente 7 e 13 anos antes da avaliação e uma floresta secundária de 50 anos de idade. De acordo com Azevedo (2006), nessas áreas, os incrementos periódicos anuais, em volume de madeira, variaram de 1,6 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, em floresta primária não explorada a até 4,8 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, em floresta manejada. Considerando apenas as espécies comerciais manejadas (incluindo apenas espécies comercializadas local e nacionalmente, e com Dap $\geq$ 50 cm), o incremento foi de 1 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, em áreas manejadas.

Em 1982, foi instalado um experimento de manejo florestal na região do Jari, que incluiu testemunha (sem intervenção, área de 80 ha), diferentes intensidades de corte e corte raso. Gomide (1997), analisando a dinâmica de crescimento da testemunha e da parcela submetida ao corte raso, concluiu que, na floresta primária, o incremento periódico em volume de todas as espécies com DAP $\geq$ 5 cm, durante o período 1985-1996, foi de -0,39 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>; enquanto na floresta secundária o incremento periódico anual (IPA) foi de 3,53 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>.

Em pesquisas realizadas por Higuchi et al. (1997), na região de Manaus (ZF-2), estado do Amazonas, foram descritos o crescimento e o incremento de uma floresta manejada experimentalmente numa área de 72 hectares, 10 anos após a exploração seletiva de madeira. Os resultados demonstraram que os IPAs, em volume comercial com casca, foram: 5,57 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para T1 (exploração

de leve intensidade;  $DAP \geq 55$  cm);  $4,45 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$  para T2 (exploração média;  $DAP \geq 50$  cm) e  $5,75 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$  para T3 (exploração pesada;  $DAP \geq 40$  cm). Na parcela testemunha, o IPA foi de  $2,82 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ . Para as espécies comerciais (incluindo apenas espécies comercializadas local e nacionalmente e com  $DAP \geq 50$  cm), o incremento foi igual ao de Santarém ( $1 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ ).

Alder & Silva (2000) desenvolveram um modelo de crescimento (CAFOGROM) para duas regiões da Amazônia, Jari e Flona Tapajós, em Santarém. Considerando indivíduos de valor comercial com DAP acima de 45 cm, foi encontrada taxa de crescimento variando de  $0,39 \text{ m}^3$  a  $1,0 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ , para um período de 12-17 anos. Com base nas informações desses dois experimentos, os autores concluíram que o segundo corte deve ser em torno de 30 a 35 anos.

Uma pesquisa recente de Alder & Silva (2001), na qual foram retirados  $2 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$  de área basal ou cerca de  $27$  a  $28 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ , o modelo de crescimento CAFOGROM mostrou que o ciclo de corte pode ser sustentável por um período de 200 anos, considerando um ciclo de corte de 30 anos.

O modelo de crescimento é uma abstração da dinâmica natural da floresta e pode abranger crescimento, mortalidade e outras mudanças na composição e estrutura do povoamento. O domínio da modelagem do crescimento é extremamente importante para os pesquisadores da área florestal que estejam interessados em um melhor entendimento das relações existentes na produção florestal durante a vida de um determinado povoamento (Vanclay, 1994).

## **2.6 O problema na modelagem de variáveis dendrométricas**

O processo de se avaliar uma possível relação entre uma variável dependente e uma ou mais variáveis independentes tem se tornado uma das tarefas mais comuns em análise estatística. Desse modo, pode-se atingir este

objetivo por meio dos modelos de regressão, que, de acordo com Mazucheli & Achcar (2002), se dividem em duas classes distintas: modelos lineares e os não lineares.

A maior parte dos estudos que modelam a relação entre as variáveis de interesse florestal (volume comercial, diâmetro à altura do peito, altura comercial, área basal e etc.) de um dado fenômeno é fundamentada na utilização de modelos lineares simples, com a transformação logarítmica nas variáveis do modelo. O problema com o uso do modelo linear simples, com transformação logarítmica na variável resposta, está na falta de precisão das estimativas quando ocorre a retransformação para a unidade original. Isso pode ser resolvido utilizando-se o modelo não linear clássico, por meio do método de Gauss-Newton, por exemplo, em que os valores da variável de interesse são estimados sem a necessidade de transformação. Outro inconveniente de uma transformação, de acordo com Currie (1982) e Khure & Cornell (1987), é que, além de o parâmetro perder sua interpretação intrínseca, pode-se alterar a estrutura e a distribuição do erro, ou seja, se os erros do modelo original satisfizerem as suposições usuais de normalidade, independência e homogeneidade da variância, os erros do novo modelo, em geral, não satisfarão tais suposições porque tais transformações podem mudar a forma da distribuição dos erros ou fazer com que a variância desta distribuição deixe de ser constante. Isso pode ser resolvido utilizando-se o modelo não linear clássico, por meio do método de Gauss-Newton, por exemplo, em que o volume é estimado sem a necessidade de transformação (Rangel et al., 2006).

Em bases de dados biométricos, a presença de heterogeneidade da variância, assim como da autocorrelação, é quase que na sua totalidade comum. A heterogeneidade da variância ocorre devido à variação na dispersão de uma variável com a variação de outra, ao passo que a autocorrelação deve-se ao fato de medições em um indivíduo serem repetidas no tempo e ou no espaço.

A maior dificuldade na modelagem de tais bases de dados é que tanto a heteroscedasticidade quanto a autocorrelação violam as pressuposições básicas da teoria dos modelos lineares e não lineares ordinários. Essas pressuposições consideram que a variável dependente, ou resposta, em um modelo, tenha distribuição normal, com observações independentes e identicamente distribuídas. Quando essas pressuposições são violadas, os erros não são independentes.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo geral**

Este trabalho foi realizado com o objetivo geral de identificar, descrever e analisar a estrutura dendrométrica de uma floresta tropical de terra firme no estado do Amazonas.

#### **3.2 Objetivos específicos**

Especificamente, buscou-se:

- . analisar o comportamento estrutural e diamétrico de espécies comerciais com diâmetro à altura do peito (DAP) igual ou maior que 40 cm;
- . apresentar estimativas dendrométricas por espécies comerciais exploradas sob manejo florestal;
- . aplicar o método dos mínimos quadrados não lineares generalizados na modelagem do volume comercial individual e por grupos de espécies de uma floresta tropical úmida de terra firme.

#### 4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A. N. **Os domínios da natureza no Brasil**: potencialidades paisagísticas. São Paulo: Ateliê, 2003. 159 p.

ALDER, D.; SILVA, J. N. M. An empirical cohort model for management of Terra Firme forest in the Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 130, n. 1/3, p. 141-157, May 2000.

ALDER, D.; SILVA, J. N. M. Sustentabilidade da produção volumétrica: um estudo de caso na Floresta Nacional do Tapajós com auxílio do modelo de crescimento Cafogrom. In: SILVA, J. N. M.; CARVALHO, J. O. P.; YARED, J. G. **A silvicultura na Amazônia Oriental**: contribuições do projeto Embrapa/DFID. Belém: EMBRAPA Amazônia Oriental/DFID, 2001. p. 325-337.

ALDER, D.; SYNNOTT, T. J. **Permanent sample plots techniques for mixed tropical forests**. Oxford: Oxford Forestry Institute, 1992. 124 p. (Tropical Forestry Paper, 25).

ALVES, J. C. Z. O.; MIRANDA, I. de S. Análise da estrutura de comunidades arbóreas de uma floresta amazônica de Terra-Firme aplicada ao manejo florestal. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 39, n. 4, p. 657-666, out./dez. 2008.

AMARO, M. A.; MARTINS, F. B.; FERNANDES, T. J. G. Volume, biomassa e carbono nas florestas às margens da rodovia BR 364 no Acre (AC). In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 4., 2008, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 2008. p. 165-171.

AZEVEDO, C. P. de. **Dinâmica de florestas submetidas a manejo na Amazônia oriental**: experimentação e simulação. 2006. 254 p. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

BARROS, A. C.; VERÍSSIMO, A. **A expansão madeireira na Amazônia**: impactos e perspectivas para o desenvolvimento sustentável no Pará. Belém: Imazon, 2002. 166 p.

BUSCHBACHER, R. J. Natural forest management in the humid tropic: ecological, social, and economic considerations. **Ambio**, Stockholm, v. 19, n. 5, p. 253-258, Sept./Oct. 1990.

CARVALHO, J. O. P. **Structure and dynamics of a logged over Brazilian Amazonian rainforest**. 1992. 215 f. Thesis (Ph.D.) - University of Oxford, Oxford.

CUNHA, U. S.; MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; BARROS, P. L. C. Análise da distribuição diamétrica de espécies comerciais nativas oriundas de uma floresta de terra firme da Amazônia. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE ECOSSISTEMAS FLORESTAIS, 8., 2000, Porto Seguro. **Anais...** Porto Seguro: SEF, 2000. 1 CD-ROM.

CURRIE, D. J. Estimating michaelis-menten parameters: bias, variance e o experimental design. **Biometrics**, Washington, v. 38, n. 4, p. 907-919, July/Aug. 1982.

DALE, V. H.; ONEILL, R. V.; SOUTHWORTH, F.; PEDLOWSKI, M. Modelling effects of land management in the Brazilian Amazonian settlement of Rondonia. **Conservation Biology**, Essex, v. 8, n. 1, p. 196-206, Mar. 1994.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 36, n. 3, p. 395-400, jul./set. 2006.

FINEGAN, B. The management potential of neotropical secondary lowland rain forest. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 47, n. 2, p. 295-321, Apr. 1992.

FONSECA, M. G.; VIDAL, E.; SANTOS, F. A. M. dos. Efeito da exploração madeireira sobre o número de indivíduos férteis de três espécies arbóreas comerciais na Amazônia oriental. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 38, n. 4, p. 681-686, out./dez. 2008.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Forestry**. Washington: FAOSTAT, 2000. Disponível em: <<http://www.fao.org/forestry/>>. Acesso em: 15 maio 2008.

GOMIDE, G. L. A. **Estrutura e dinâmica de crescimento de florestas tropicais primária e secundária no Estado do Amapá**. 1997. 179 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

HIGUCHI, N. **Short-term growth of an undisturbed tropical moist forest in the Brazilian Amazon**. 1987. 129 f. Thesis (Ph.D.) - Michigan State University, Michigan.

HIGUCHI, N. Utilização e manejo dos recursos madeireiros das florestas tropicais úmidas. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 24, n. 3/4, p. 275-288, jul./dez. 1994.

HIGUCHI, N.; SANTOS, J. dos; RIBEIRO, R. J.; FREITAS, J. V.; VIEIRA, G.; COIC, A. R.; MINETTE, L. J. Crescimento e incremento de uma floresta Amazônica de terra-firme manejada experimentalmente. In: WORKSHOP BIONTE: ASPECTOS SILVICULTURAIS E ECOLÓGICOS DO MANEJO FLORESTAL INPA, 1., 1997, Manaus. **Anais...** Manaus: UFAM, 1997. 1 CD-ROM.

HIGUCHI, N.; VIEIRA, G.; MINETTE, L. J.; FREITAS, J. V.; JARDIM, F. C. S. Sistema SEL (Seleção de Espécies Listadas) para manejar a floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia. In: VAL, A. L.; FRIGLIOULO, R.; FELDBERG, E. (Ed.). **Bases científicas para estratégias de preservação e desenvolvimento**: fatos e perspectivas. Manaus: INTA, 1991. v. 1, p. 197-206.

INSTITUTO DE MANEJO E CERTIFICAÇÃO FLORESTAL E AGRÍCOLA. **Acertando o alvo**: consumo de madeira no mercado interno brasileiro e promoção da certificação florestal. Piracicaba, 1997. Disponível em: <<http://www.imaflora.org/Programas/pac/alvo/>>. Acesso em: 10 maio 2009.

INTERNATIONAL TROPICAL TIMBER ORGANIZATION. **Production and consumption**: annual review and assessment of the world tropical timber situation 1998. Lima, 1999. Disponível em: <[www.itto.or.ip/timbersituation/timber1998/prodution.html](http://www.itto.or.ip/timbersituation/timber1998/prodution.html)>. Acesso em: 10 abr. 2009.

KAMMESHEIDT, L.; LEZAMA, A. T.; FRANCO, W.; PLONCZAK, M. History of logging and silvicultural treatments in the western Venezuelan plain forests and the prospect for sustainable forest management. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 148, p. 1-20, July 2002.

KHURI, A. I.; CORNELL, J. A. **Response surface**: designs and analyses. New York: M. Dekker, 1987. No page.

LENTINI, M.; VERÍSSIMO, A.; PEREIRA, D. **A expansão madeireira na Amazônia**. Manaus: Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia, 2005. 4 p.

- LEWIS, S. L.; MALHI, Y.; PHILLIPS, O. L. Fingerprinting the impacts of global change on tropical forests. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, London, v. 359, p. 437-462, 2004.
- LIMA, J. R. A.; SANTOS, J. dos; HIGUCHI, N. Situação das indústrias madeireiras do Estado do Amazonas em 2000. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 35, n. 2, p. 125-132, abr./jun. 2005.
- LISBOA, P. L. B.; TEREZO, E. F. M.; SILVA, J. C. A. Madeiras amazônicas: considerações sobre exploração, extinção de espécies e conservação. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi: Série Botânica**, Belém, v. 7, n. 2, p. 521-542, 1991.
- MAZUCHELI, J.; ACHCAR, J. A. Algumas considerações em regressão não linear. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 6, p. 1761-1770, nov./dez. 2002.
- MELLO, A. A. de. **Estudo silvicultural e da viabilidade econômica do manejo da vegetação do cerrado**. 1999. 99 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- NECTOUX, F.; KURODA, Y. **Timber from the south seas: an analysis of Japan's tropical timber trade and environmental impact**. Gland: World Wildlife International, 1989. No page.
- NORIS, K.; MCCULLOCH, N. Demographic models and the management of endangered species: a case study of the critically endangered Seychelles magpie robin. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v. 40, n. 5, p. 890-899, Oct. 2003.
- OLIVEIRA, A. A. de. Inventários quantitativos de árvores em matas de terra firme: histórico com enfoque na Amazônia brasileira. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 30, n. 4, p. 543-567, out./dez. 2000.
- PELLICO NETO, S.; BRENA, D. A. **Inventário florestal**. Curitiba: UFPR: 1997. 316 p.
- PEREZ, P. L.; BACHA, C. J. C. Comercialização e comportamento dos preços da madeira serrada nos Estados de São Paulo e Pará. **Revista de Economia Agrícola**, São Paulo, v. 54, n. 2, p. 103-119, jul./dez. 2007.
- PHILLIPS, O. L.; GENTRY, A. H. Increasing turnover through time in tropical forests. **Science**, New York, v. 263, p. 954-958, 1994.

PHILLIPS, O. L.; VARGAS, N. P.; MONTEAGUDO, L. A.; CRUZ, P. A.; ZANS, C. M. E.; SÁNCHEZ, G. W. Habitat association among Amazonian tree species: a landscape-scale approach. **Journal of Ecology**, Oxford, v. 91, n. 5, p. 757-775, Sept. 2003.

PHILLIPS, P. D.; AZEVEDO, C. P. de; DEGEN, B.; THOMPSON, I. S.; SILVA, J. N. M.; GARDINGEN, P. R. van. An individual-based spatially explicit simulation model for strategic forest management planning in the eastern Amazon. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 173, n. 4, p. 335-354, Apr. 2004.

PRADO, A. C. **Diretrizes para uma política florestal no Brasil**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 1995. 171 p.

PULZ, F. A.; SCOLFORO, J. R.; OLIVEIRA, A. D. de; MELLO, J. M. de; OLIVEIRA FILHO, T. de. Acuracidade da predição da distribuição diamétrica de uma floresta inequiânea com a matriz de transição. **Cerne**, Lavras, v. 5, n. 1, p. 1-14, jan./jun. 1999.

QUEIROZ, W. T. **Técnicas de amostragem em inventário florestal nos trópicos**. Belém: FCAP, 1998. 147 p.

RANGEL, M. S.; CALEGARIO, N.; MELLO, A. de; LEMOS, P. C. Melhoria na precisão da prescrição de manejo para floresta natural. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 2, p. 145-156, abr./jun. 2006.

RODRIGUEZ, L. C. E. Monitoramento florestal: iniciativas, definições e recomendações. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, Piracicaba, v. 12, n. 31, p. 9-21, 1998.

SCHULMAN, L. Nature conservation in Amazonia: the role of biological theory in reserve Delimitation. **Lyonia**, Honolulu, v. 5, n. 1, p. 91-100, 2003.

SHEIL, D. A critique of permanent sample methods and analysis with examples from Budongo Forest Uganda. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 77, n. 1/3, p. 11-34, Sept. 1995.

SILVA, J. N. M. **The behaviour of the tropical rain forest of the Brazilian Amazon after logging**. 1989. 303 f. Thesis (Ph.D.) - University of Oxford, Oxford.

SILVA, J. N. M.; CARVALHO, J. O. P.; LOPES, J. C. A. Um sistema silvicultural policíclico para produção sustentada de madeira na Amazônia brasileira. In: SIMPÓSIO SILVICULTURAL NA AMAZÔNIA ORIENTAL: CONTRIBUIÇÕES DO PROJETO EMBRAPA/DFID, 1., 1999, Belém. **Resumos expandidos...** Belém: CPATU, 1999. p. 304. (EMBRAPA-CPATU. Documentos, 123).

SILVA, J. N. M.; CARVALHO, J. O. P. de; LOPES, J. C. A.; OLIVEIRA, R. P.; OLIVEIRA, L. C. de. Growth and yield studies in the Tapajós region, Central Brazilian Amazon. **Commonwealth Forestry Review**, Oxford, v. 75, n. 4, p. 325-329, 1996.

SMERALDI, R.; VERÍSSIMO, A. **Acertando o alvo**: consumo de madeira no mercado interno brasileiro e promoção da certificação florestal. Belém: Amigos da Terra; Imazon; Imaflora, 1999. 42 p.

SOUZA, A. L.; JESUS, R. M. Equações de volume comercial e fator de forma para espécies da Mata Atlântica ocorrentes na Reserva Florestal da Companhia Vale do Rio Doce, Linhares, ES. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 15, n. 3, p. 257-273, maio/jun. 1991.

STONE, S. W. Using a geographic information system for applied policy analysis: the case of logging in the Eastern Amazon. **Ecological Economics**, New York, v. 27, p. 43-61, 1988.

SWAINE, M. D. Population dynamics of tree species in tropical forests. In: HOLMNIELSEN, L. B.; BALSLEV, H. **Tropical forests**: botanical, dynamics, speciation and diversity. London: Academic, 1989. p. 47-64, 380 p.

SWAINE, M. D.; HALL, J. B.; ALEXANDER, I. J. Tree populations dynamics at Kade, Ghana (1968-1982). **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 3, n. 4, p. 331-345, Nov. 1987.

TUOMISTO, H.; RUOOLAINEN, K.; YLI-HALLA, M. Dispersal, environment, and floristic variation of western Amazonian forests. **Science**, New York, v. 299, p. 241-244, 2003.

UHL, C.; BARRETO, P.; VERÍSSIMO, A.; BARROS, A. C.; AMARAL, P.; VIDAL, E.; SOUZA JUNIOR, C. Natural resource management in the Brazilian Amazon: an integrated research approach. **BioScience**, Washington, v. 47, n. 3, p. 160-199, Mar. 1997.

UHL, C.; VIEIRA, I. C. G. Ecological impacts of selective logging in the Brazilian Amazon: a case study from the Paragominas region in the state of Para. **Biotropica**, Washington, v. 21, p. 98-106, 1989.

UMAÑA, L. A.; ALENCAR, J. da C. Distribuição diamétrica da floresta tropical úmida em uma área no município de Itacoatiara-AM. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 28, n. 2, p. 167-190, abr./jun. 1998.

VANCLAY, J. K. Data requirements for developing growth models for tropical moist forests. **Commonwealth Forestry Review**, Oxford, v. 70, p. 248-271, 1991.

VANCLAY, J. K. **Modelling forest growth and yield**: applications to mixed tropical forests. London: CAB International, 1994. 312 p.

VERÍSSIMO, A.; AMARAL, P. Exploração madeireira na Amazônia: situação atual e perspectivas. **Imazon**, Manaus, ano 3, n. 4, p. 9-16, 1996.

VERÍSSIMO, A.; BARRETO, P.; MATTOS, M.; TARIFA, R.; UHL, C. Logging impacts and prospects for sustainable forest management in an old Amazon Frontier: the case of Paragominas. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 55, n.1/4, p. 169-199, Dec. 1992.

WAINWRIGHT, J.; MULLIGAN, M. Modelling and model building. In: WAINWRIGHT, J. (Ed.). **Environmental modelling**: finding simplicity in complexity. London: Wiley, 2004. p. 7-68.

## CAPÍTULO 2

### **Análise estrutural e estimativas dendrométricas de uma floresta tropical úmida de terra firme no estado do Amazonas, Brasil**

#### **1 RESUMO**

O presente estudo foi realizado com o objetivo de analisar o comportamento estrutural e diamétrico de espécies comerciais com  $DAP \geq 40$  cm de uma floresta primária de terra firme no estado do Amazonas e apresentar algumas estimativas dendrométricas. Foi verificado um maior estoque de madeira comercial concentrado nas primeiras classes diamétricas, o que caracteriza e ajuda a entender o padrão em florestas tropicais e com composição de espécies variadas. Algumas irregularidades e formas distintas na estrutura diamétrica foram apresentadas por algumas espécies, de maneira que acredita-se que nem todas podem ser consideradas de mesmo potencial silvicultural e econômico. As espécies *Eperua oloifera* Ducke, *Scleronema micranthum* Ducke, *Brosimum utile* (H.B.K.) e *Clarisia racemosa* Ruiz & Pav. foram as que demonstraram ampla variação na estrutura diamétrica e os mais altos valores de parâmetros estruturais e estimativas dendrométricas, de modo a compor o “rol” das espécies comerciais mais importantes na área estudada.

**Palavras-chave:** estrutura florestal, variáveis dendrométricas, floresta tropical, Amazônia.

## 2 ABSTRACT

The present study was accomplished with the objective of analyzing the structural behavior and diameter of commercial species with diameter at breast height (DBH)  $\geq 40$  cm of an upland (terra firme) primary forest in the state of Amazonas and presenting some dendrometric estimates. An increased stock of commercial wood concentrated in the first classes of diameter was found, which characterizes and helps to understand the standard in tropical forests and with composition of different species. Some irregularities and distinct forms in the diameter structure were presented by some species, so that it is believed that not all can be considered of same silvicultural and economical potential. The species *Eperua oloifera* Ducke, *Scleronema micranthum* Ducke, *Brosimum utile* (H.B.K.) and *Clarisia racemosa* Ruiz & Pav. were the ones which demonstrated a wide variation in the diameter structure and the highest values of structural parameters and dendrometric estimates so as to compose the " list " of the most important commercial species in the investigated area.

**Key words:** Forest structure, dendrometric variables, forest tropical, Amazon rainforest.

### 3 INTRODUÇÃO

Com a escassez de madeira em alguns locais, espécies que antes eram totalmente desconhecidas pelas indústrias, hoje, são utilizadas em grande escala, o que poderá, mais tarde, ocasionar o rápido desaparecimento destas, se não for levado em consideração o desempenho das mesmas na floresta (Barros et al., 2000).

Na Amazônia, por força da política e legislação florestal vigente em nosso país, tornou-se exigência que a matéria-prima destinada às indústrias madeireiras seja proveniente de áreas submetidas ao manejo florestal sustentado (Brasil, 2002).

O manejo florestal com base no rendimento sustentado exige o domínio de conhecimentos básicos sobre a dinâmica da regeneração, do crescimento, da produção e da mortalidade dessas florestas, para que esses conhecimentos possam ser empregados com sucesso, sem implicar em riscos de exaurir o recurso florestal. Portanto, informações confiáveis sobre crescimento e produção para diferentes regimes de manejo e opções silviculturais são pré-requisitos para o manejo sustentável. Porém, poucas informações (documentado) sobre crescimento e produção para as florestas da região amazônica estão hoje disponíveis na literatura, o que é reforçado por Silva et al. (1999). Estes autores afirmam que o manejo da floresta para a produção de madeira, com base em dados de estudos de crescimento e produção, foi pouco praticado na região, o que leva a crer que a sustentabilidade da produção madeireira ainda é um desafio.

Conhecer a estrutura diamétrica das florestas tropicais é requisito essencial ao planejamento e à execução de projetos de manejo. Para Umaña & Alencar (1998), a distribuição diamétrica é um ótimo indicador do estoque em crescimento das florestas, com o diâmetro obtido por medição direta das árvores

e o volume estimado de forma aproximada, por meio de modelos de regressão. É o que reforçam Cunha et al. (2000), os quais mencionam que, por ser a variável idade o parâmetro mais importante na descrição do desenvolvimento de uma floresta e de difícil obtenção em uma floresta tropical, pressupõe-se que essa limitação deva ser compensada também com análise sobre a estrutura diamétrica. Além disso, com alguma experiência, podem-se tirar conclusões sobre estrutura silvicultural de uma floresta, o que também, segundo Higuchi et al. (2000), auxilia no entendimento da dinâmica da floresta primária, ajudando na prescrição de tratamentos silviculturais ao manejo, sendo igualmente importante para estabelecer estratégias de conservação do ecossistema.

Porém, Barros (1980) menciona que apenas os estudos descritivos das distribuições diamétricas são insuficientes como subsídios para projetos de manejo em regime de rendimento sustentado, sendo necessário o estudo de casos envolvendo diferentes formas de distribuições que melhor se adaptem aos seus objetivos.

Parte da estrutura de uma floresta pode ser explicada pela avaliação de sua distribuição diamétrica, como bem ressaltado por Pires-O'Brien & O'Brien, (1995), a qual é definida pela caracterização do número de árvores por unidade de área e por intervalo de classe de diâmetro.

Cunha et al. (2000) citam que o conceito de distribuição diamétrica em florestas multiantares foi estabelecido historicamente pelo Francês Liocourt, quando, em 1898, aplicou a distribuição exponencial para dados de diâmetro de floresta nativa, lançando, assim, a teoria de que a distribuição diamétrica de florestas heterogêneas comportava-se como distribuição em forma de “J invertido”.

A terminologia “distribuição balanceada”, definida por Meyer & Stevenson (1943), citados por Cunha et al. (2000), refere-se ao tipo de distribuição diamétrica cujo número de árvores nas classes diamétricas

sucessivas decresce numa progressão constante. Esta distribuição é frequentemente chamada de distribuição “J” porque, quando vista graficamente, assemelha-se a uma função de frequência que decresce suavemente no sentido do menor ao maior diâmetro.

Liocourt (1898), citado por Meyer (1952) definiu floresta multiânea de estrutura balanceada como aquela em que o crescimento corrente pode ser removido periodicamente, enquanto se mantém a distribuição de diâmetros e o volume inicial da floresta. De acordo com Meyer (1952), a distribuição de diâmetro da floresta multiânea pode ser expressa pelo modelo exponencial:

$$y = e^{\beta_0 + \beta_1 * X}$$

em que  $y$  é o número de árvores por hectare,  $X$  é o centro da classe de diâmetro,  $\beta_1$  representa a taxa de decréscimo da frequência com o aumento do diâmetro e  $\beta_0$  representa a densidade relativa do povoamento, estando correlacionados positivamente.

A distribuição diamétrica em formações florestais pode ser, muitas vezes, descontínua, não seguindo realmente a forma de “J invertido” e muito menos sendo balanceada. Porém, do ponto de vista ecológico, a distribuição diamétrica deveria ser balanceada e o estoque em crescimento deveria conservar a biodiversidade da floresta inequiânea, decrescendo segundo uma progressão geométrica constante (Meyer et al., 1961).

A avaliação da distribuição de diâmetros pode ser feita com base na razão ou quociente “q” de Liocourt (Meyer, 1952), o qual é obtido pela divisão do número de indivíduos de uma classe de diâmetro pelo número de indivíduos da classe anterior. Em populações que apresentam distribuição balanceada de diâmetros, a redução do número de indivíduos de uma classe diamétrica para outra seria uma razão constante; ao contrário, quando a distribuição fosse não balanceada, essa redução seria diretamente proporcional (Leak, 1964). Alguns

estudos utilizando modelos de prognose de crescimento e produção em florestas nativas foram realizados na Floresta Nacional de Tapajós (Silva, 1989), baseados no tempo de passagem e no coeficiente “ $q$ ” para analisar o movimento das árvores por meio de classes diamétricas (Vaccaro et al., 2003).

As diferentes formações florestais apresentam distribuições diamétricas também diferentes, tanto na amplitude como na forma. Por isso, a distribuição de diâmetro é característica importante para a avaliação de estoque em crescimento (Ferreira et al., 1998). É, atualmente, uma ferramenta muito importante, simples e prática e tem sido utilizada frequentemente em trabalhos de manejo florestal aplicados a povoamentos inequiâneos (Gül et al., 2005). Segundo Siminski et al. (2004), a distribuição diamétrica busca permitir a avaliação prévia de condições dinâmicas da floresta, possibilitando previsões futuras quanto ao desenvolvimento da comunidade vegetal. A distribuição diamétrica pode ser entendida como mais um elemento do componente “estrutural horizontal” do povoamento. Dependendo da região fitoecológica, do estágio de sucessão e do estado de conservação, a estrutura florestal pode ser agrupada em diferentes tipos de estratos de altura. Este tipo de estratificação influencia a riqueza, a diversidade, o crescimento e a produção de biomassa, sendo um importante indicador de sustentabilidade ambiental de uma floresta (Souza et al., 2003).

A interpretação das medidas de diâmetro das espécies em histogramas de frequência de classes pode mostrar a situação atual da vegetação e indicar possíveis perturbações passadas, como explorações madeireiras, abates seletivos, incêndios e desmatamentos. De acordo com Felfili & Silva Júnior (1988), estes eventos podem aparecer como interrupções nesses histogramas, indicando que o ciclo de vida das espécies não estaria se completando.

Em florestas nativas, quando a razão do coeficiente “ $q$ ” é constante, significa que existe equilíbrio entre mortalidade e crescimento, ou seja, um

balanceamento. Quando isso ocorre por um longo período, pode-se dizer que a estrutura da floresta está balanceada ou estabilizada e, nesse caso, ocorre um número proporcional de árvores em cada classe diamétrica (Osmaston, 1968). Entretanto, Harper (1977) atenta que, na prática, a maioria das florestas irregulares não apresenta distribuição balanceada, mas tem uma tendência a convergir para esse padrão.

Um indicador de que a maioria das populações pode estar em fase inicial de estabelecimento, segundo Carvalho (1982), é o fato de que as menores classes diamétricas apresentadas nos histogramas de distribuição geralmente apresentam as maiores frequências de indivíduos e que também pode caracterizar, segundo Scolforo et al. (1998), uma comunidade estoque, o que é um padrão em florestas tropicais estáveis com idade e composição de espécies variadas.

O modelo de distribuição “J invertido”, ou exponencial negativa, sugere que as populações que compõem uma comunidade são estáveis e autorregenerativas e que existe um balanço entre a mortalidade e o recrutamento dos indivíduos. Esse tipo de modelo seria ideal em situações de exploração de populações arbóreas que têm sua distribuição diamétrica ajustada de acordo com esse modelo.

Alguns estudos, de acordo com Mori et al. (1989), apontam que a composição e a diversidade da floresta Amazônica, rica em espécies, modificam-se drasticamente de um lugar para outro e muitas são representadas por um ou poucos indivíduos por hectare. Isso se soma a outras dificuldades no manejo de florestas tropicais, como: i) estrutura e biologia complexas; ii) pouco conhecimento da ecologia e silvicultura das espécies; iii) regeneração natural difícil; iv) baixas taxas de incrementos e v) rotações longas.

Uhl et al. (1997) analisaram cerca de 350 espécies arbóreas extraídas na Amazônia brasileira para uso madeireiro. Conhecendo as características ecológicas dessas espécies, esses autores puderam distinguir entre as espécies

que poderiam estar ameaçadas pela exploração madeireira, assim como aquelas que também poderiam estar sendo favorecidas por essa atividade. Eles citam, por exemplo, que as espécies madeireiras que estão limitadas geograficamente à Amazônia Oriental, as que são fracamente representadas na regeneração da floresta, as que não se regeneram bem em clareiras, as que não brotam e as que têm casca fina (sensíveis ao fogo) podem estar sendo ameaçadas pela atividade madeireira. Por outro lado, as espécies que ocorrem por toda a Amazônia, que estão bem representadas na regeneração da floresta, que crescem rapidamente, brotam bem após o corte e que têm casca grossa (são resistentes ao fogo) provavelmente podem resistir à pressão da exploração madeireira, podendo até ocorrer um aumento de suas populações em resposta a essa atividade.

Estimativas dendrométricas, como bem mencionam Tonini et al. (2005), em geral, são relacionadas com espécies de rápido crescimento, principalmente os gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*. De acordo com esses autores, as espécies nativas, muitas vezes, deixam de ser estudadas, por não conseguirem despertar interesse equivalente, na maioria das vezes, pela inexistência de informações relativas à sua ecologia, silvicultura e biometria.

#### **4 OBJETIVOS**

O presente estudo foi realizado com o principal objetivo de identificar, descrever e analisar o comportamento estrutural e diamétrico de uma floresta primária de terra-firme da Amazônia. Além disso, buscou-se apresentar estimativas dendrométricas obtidas de árvores individuais cubadas de espécies comerciais exploradas sob manejo florestal sustentado no estado do Amazonas, Brasil.

## **5 MATERIAL E MÉTODOS**

### **5.1 Caracterização da área de estudo**

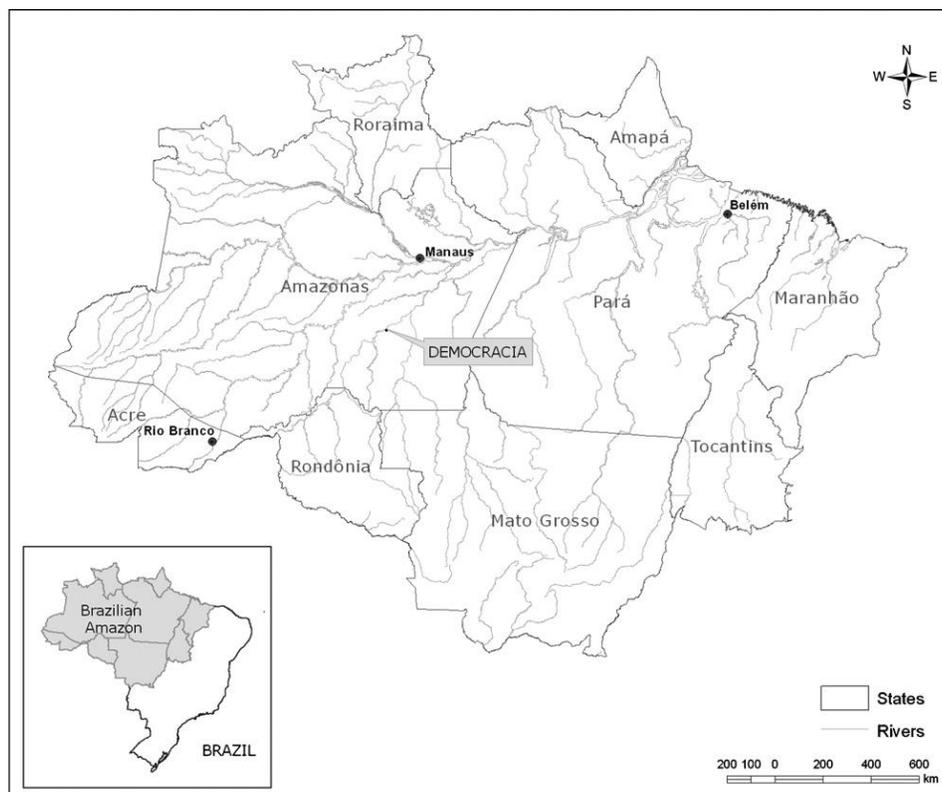
As pesquisas foram desenvolvidas em uma área de 13.460,0 mil hectares na localidade conhecida por Vila Democracia, no município de Manicoré, estado do Amazonas, que faz parte da bacia hidrográfica do rio Madeira, afluente da margem direita do rio Amazonas, a 333 km de Manaus em linha reta, ou cerca de 427 km via fluvial, entre as coordenadas geográficas 61°03'00"W e 61°01'18"W e 5°49'00"S e 5°30'00"S (Figura 2).

### **Vegetação**

Na área do projeto, a formação vegetal se caracteriza como típica da região da Floresta Tropical Densa de Terra-Firme, denominada de terras baixas de platô (Pires & Prance, 1985), com média de altura de 27 m e árvores emergentes atingindo até 50 m acima do solo.

A formação vegetal caracteriza-se por apresentar grupamentos de árvores emergentes e presença de palmeiras que competem em luz no estrato arbóreo superior.

As principais famílias botânicas que ocorrem na área, sem distinção de ordem de importância, são: Leguminosae, Lecythydaceae, Sapotaceae e Moraceae.



Fonte: Freitas & Pinard (2008)

FIGURA 2 Mapa da Amazônia brasileira, indicando o local de estudo. Projeto Democracia de Manejo Florestal, localizado no rio Madeira, próximo de Manicoré.

### Clima

O clima dominante nessa área pertence ao grupo A (clima tropical chuvoso), segundo o sistema de classificação de Köppen, abrangendo os tipos climáticos Am e Af. O tipo climático Am (chuvas do tipo monção) apresenta um período seco de pequena duração, não tendo, no entanto, nenhuma influência significativa no comportamento da vegetação, devido aos elevados índices de precipitação pluviométrica, com média anual de 2.250 mm (Freitas & Pinard,

2008), o que permite uma distribuição uniforme e suficiente da umidade necessária ao desenvolvimento e à manutenção das florestas tropicais.

O tipo climático Af (constantemente úmido) corresponde ao clima de florestas tropicais. Tanto a temperatura como as chuvas sofrem um mínimo de variação anual e mantêm-se em níveis relativamente elevados.

As temperaturas médias anuais encontram-se delimitadas pelas isotermas de 24° a 26°C, tendo apresentado temperatura máxima mensal de 38°C e a mínima de 14°C.

A umidade relativa é bastante elevada e tem como limites, mínimo e máximo, as isso-higras de 85% e 90%.

## **5.2 Coleta de dados dendrométricos**

A base de dados utilizada para este estudo foi obtida do inventário florestal a 100%, realizado em 2000. As informações foram coletadas de árvores de espécies comerciais selecionadas para o corte, no módulo Democracia (Tabela 1).

Foram coletadas informações de 536 árvores-amostras provenientes da safra de 2002, de 14 parcelas (unidades amostrais) localizadas no talhão nº 7, de 1.560 ha. As parcelas possuíam formato quadrado, medindo 250 m x 250 m (62.500 m<sup>2</sup> ou 6,25 ha), perfazendo uma área total de 87,5 ha. Cada parcela foi subdividida em quadras de 50 m x 50 m, a fim de facilitar a localização dos indivíduos. As árvores-amostradas foram abatidas para aproveitamento comercial.

O DAP mínimo das árvores utilizadas para este estudo foi maior ou igual a 40 cm. As informações sobre as espécies foram armazenadas em uma ficha de campo com as seguintes informações: número da árvore, nome vulgar, DAP, direção de queda da árvore (com auxílio de bússola), comprimento do fuste comercial, divisão do fuste comercial em igual comprimento de 2 m, mensuração dos diâmetros mínimos e máximos nas extremidades das seções dos troncos, coleta de material botânico com flores e/ou frutos (quando possível) para posterior

e correta identificação no Herbário/INPA (Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia), seguindo a classificação do sistema de Cronquist (1981).

TABELA 1 Espécies comerciais listadas com DAP $\geq$ 40 cm, no inventário florestal, ocorrentes na área do Projeto Democracia e utilizadas para o presente estudo.

Nº	Nome científico	Família botânica	Nome vulgar
1	<i>Anacardium giganteum</i> W. Hancock ex Engl.	Anacardiaceae	Caju-açu
2	<i>Anacardium tenuifolium</i> Ducke	Anacardiaceae	Cajuí
3	<i>Astronium le-cointei</i> Ducke	Anacardiaceae	Muiracatiara
4	<i>Couma utilis</i> (Mart.) Müll. Arg.	Apocynaceae	Sorva
5	<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D. Don	Bignoniaceae	Parapará
6	<i>Tabebuia</i> sp.	Bignoniaceae	Ipê
7	<i>Scleronema micranthum</i> Ducke	Bombacaceae	Envira-de-cutia
8	<i>Scleronema praecox</i> (Ducke) Ducke	Bombacaceae	Cedrinho-vermelho
9	<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) March.	Burseraceae	Breu-branco
10	<i>Protium puncticulatum</i> J.F. Macbr.	Burseraceae	Breu-vermelho
11	<i>Protium</i> sp.	Burseraceae	Breu
12	<i>Trattinnickia burserifolia</i> Mart.	Burseraceae	Breu-sucuruba
13	<i>Copaifera duckei</i> Ducke	Caesalpiniaceae	Copaíba-angelim
14	<i>Copaifera multijuga</i> Hayne	Caesalpiniaceae	Copaíba-cuiarana
15	<i>Copaifera reticulata</i> Ducke	Caesalpiniaceae	Copaíba-mari-mari
16	<i>Dialium guianense</i> Steud.	Caesalpiniaceae	Pororoca
17	<i>Eperua oleifera</i> Ducke	Caesalpiniaceae	Copaíba-jacaré
18	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	Caesalpiniaceae	Jatobá
19	<i>Peltogyne paniculata</i> Benth.	Caesalpiniaceae	Roxinho
20	<i>Schizolobium amazonicum</i> Huber ex Ducke	Caesalpiniaceae	Paricá
21	<i>Caryocar glabrum</i> (Aubl.) Pers.	Caryocaraceae	Piquiá
22	<i>Caryocar villosum</i> (Aubl.) Pers.	Caryocaraceae	Piquiarana
23	<i>Goupia glabra</i> Aubl.	Celastraceae	Cupiúba
24	<i>Andira parviflora</i> Ducke	Fabaceae	Angelim-vermelho
25	<i>Andira surinamensis</i> (Bondt) Splitq. Ex Pulle	Fabaceae	Angelim-ferro
26	<i>Bowdichia nitida</i> Spruce ex Benth.	Fabaceae	Sucupira-amarela
27	<i>Brosimum paraense</i> Huber	Fabaceae	Muirapiranga
28	<i>Dinizia excelsa</i> Ducke	Mimosaceae	Angelim-pedra
29	<i>Diplopteryx purpurea</i> (Rich.) Amshoff	Fabaceae	Sucupira-preta
30	<i>Dipteryx magnifica</i> Ducke	Fabaceae	Cumarurana
31	<i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Willd.	Fabaceae	Cumaru
32	<i>Hymenolobium excelsum</i> Ducke	Fabaceae	Angelim-fava
33	<i>Vatairea guianensis</i> Aubl.	Fabaceae	Sucupira

“...continua...”

“TABELA 1, Cont.”

34	<i>Vatairea sericea</i> Ducke	Fabaceae	Fava-amargosa
35	<i>Vataireopsis iglesiasii</i> Ducke	Fabaceae	Fava-amarela
36	<i>Vataireopsis</i> sp.	Fabaceae	Fava/faveira
37	<i>Symphonia globulifera</i> L.	Clusiaceae	Anani
38	<i>Saccoglottis</i> sp.	Humiraceae	Uxi-torrado
39	<i>Aniba</i> sp.	Lauraceae	Louro-amarelo
40	<i>Mezilaurus itauba</i> (Meissn.) Taubert ex Mez	Lauraceae	Itaúba
41	<i>Nectandra rubra</i> (Mez) C.K. Allen	Lauraceae	Louro-gamela
42	<i>Ocotea</i> sp.	Lauraceae	Louro
43	<i>Allantoma lineata</i> (Mart. Ex Berg) Miers	Lecythidaceae	Xuru
44	<i>Couratari tauari</i> Berg	Lecythidaceae	Tauari-branco
45	<i>Cedrelinga cataeniformis</i> Ducke	Mimosaceae	Cedro-mara
46	<i>Enterolobium schomburgkii</i> Benth.	Mimosaceae	Fava-bolacha
47	<i>Marmaroxylon racemosum</i> (Ducke) Killip ex Record	Mimosaceae	Angelim-rajado
48	<i>Parkia oppositifolia</i> Spruce ex Benth.	Mimosaceae	Fava-benguê
49	<i>Parkia paraensis</i> Ducke	Mimosaceae	Paricarana
50	<i>Parkia pendula</i> (Willd.) Walp.	Mimosaceae	Arara-tucupi
51	<i>Piptadenia suaveolens</i> Miq.	Mimosaceae	Fava-folha-miúda
52	<i>Stryphnodendron pulcherrimum</i> Hochr.	Mimosaceae	Fava-branca
53	<i>Brosimum acutifolium</i> Huber	Moraceae	Mururé
54	<i>Brosimum obovatum</i> Ducke	Moraceae	Mururé-vermelho
55	<i>Brosimum parinarioides</i> Ducke	Moraceae	Amapá
56	<i>Brosimum utile</i> (H. B. K.)	Moraceae	Garrote
57	<i>Castilloa ulei</i> Warb.	Moraceae	Caucho
58	<i>Clarisia racemosa</i> Ruiz & Pav.	Moraceae	Guariúba
59	<i>Virola duckei</i> A. C. Sm.	Myristicaceae	Virola-terra-firme
60	<i>Virola melinoni</i> (Benoist) A. C. Sm.	Myristicaceae	Ucuuba
61	<i>Minquartia guianensis</i> Aubl.	Olaaceae	Aquariquara
62	<i>Manilkara huberi</i> (Ducke) A. Chev.	Sapotaceae	Massaranduba
63	<i>Manilkara paraensis</i> (Huber) Standl.	Sapotaceae	Maparajuba
64	<i>Simarouba amara</i> Aubl.	Simaroubaceae	Marupá
65	<i>Erismia uncinatum</i> Warm.	Vochysiaceae	Cedrinho
66	<i>Vochysia</i> sp.	Vochysiaceae	Cedrinho-casca-roxa

Fonte: Gethal Amazonas Indústria de Madeira Compensada (2001)

Espécies de 1 a 40 são de uso na fabricação de compensado (laminação e compensado).  
Espécies de 41 a 66 são de uso em serrarias e sem processamento (estacas - aquariquara).

### 5.3 Método de cubagem de árvores: determinação do volume

Determinou-se o número de árvores por classes de diâmetro, com um intervalo de 10 cm, previamente definido, no intuito de fornecer uma ideia da frequência ao longo das classes. Após observar a frequência, foram calculadas as estimativas das variáveis dendrométricas (DAP médio, altura comercial média, área basal, volume comercial e o fator de forma) para cada classe diamétrica.

A área basal ( $G$ ), como comentam Machado & Figueiredo Filho (2003), é um importante parâmetro da densidade do povoamento. Ela fornece o grau de ocupação de uma determinada área por uma espécie e foi calculada com base na área seccional ( $g$ ) de cada árvore, a partir da medição de seu DAP. Assumindo-se que a seção seccional do fuste se aproxima a da forma circular, sua área foi calculada pela expressão 1:

$$g_i = \frac{\pi}{40000} DAP_i^2 \quad (1)$$

em que

$g_i$  = área seccional, em m<sup>2</sup>, da  $i$ -ésima árvore;

$DAP_i$  = diâmetro à altura do peito, em cm, da  $i$ -ésima árvore;

$\pi$  = constante (letra grega  $\pi$  = 3,1415927).

Pelo somatório das áreas seccionadas de todas as árvores, determinou-se a área basal ( $G$ ), em m<sup>2</sup>, de acordo com a expressão 2:

$$G = \sum_{i=1}^n g_i \quad (2)$$

em que

$G$  = área basal, em m<sup>2</sup>;

$g_i$  = área seccional, em m<sup>2</sup>, da  $i$ -ésima árvore.

Os dados de cubagem rigorosa foram coletados de modo que o volume comercial pudesse ser calculado pela fórmula de Smalian, com seções de 2 m de comprimento. Os diâmetros nas pontas grossas (base da tora) e finas (final da tora) foram medidos com o auxílio de uma trena (média de duas medidas perpendiculares) e os diâmetros ao longo do fuste foram medidos com a suta. A expressão 3 ilustra a fórmula de Smalian:

$$v = \sum_{i=1}^n \left( \frac{g_i + g_{i+1}}{2} \right) l \quad (3)$$

em que

$v$  = volume da tora;

$g_i$  = área da seção transversal de maior diâmetro;

$g_{i+1}$  = área da seção transversal de menor diâmetro;

$l$  = comprimento da seção;

$i$  = cada uma das seções.

#### 5.4 Estimativas dos parâmetros da estrutura horizontal

Os seguintes parâmetros foram estimados, a fim de se conhecer a estrutura horizontal da floresta em estudo:

##### Frequência

$$FA_i = \left( \frac{u_i}{u_t} \right) \times 100 \quad (4)$$

$$FR_i = \left( \frac{FA_i}{\sum_{i=1}^P FA_i} \right) \times 100 \quad (4.1)$$

em que

$FA_i$  = frequência absoluta da  $i$ -ésima espécie na comunidade vegetal;

$FR_i$  = frequência relativa da  $i$ -ésima espécie na comunidade vegetal;

$u_i$  = número de unidades amostrais em que a  $i$ -ésima espécie ocorre;

$u_t$  = número total de unidades amostrais;

$P$  = número de espécies amostradas.

Estes parâmetros informam com que frequência a espécie ocorre nas unidades amostrais. Assim, maiores valores da  $FA_i$  e  $FR_i$  indicam que a espécie está bem distribuída horizontalmente ao longo do povoamento amostrado.

### Densidade

Estimaram-se a densidade absoluta (DA) e a densidade relativa (DR), com a finalidade de observar a proporção em valores absolutos e porcentual, do número de indivíduos de uma determinada espécie, em relação ao total de indivíduos de todas as espécies amostradas. Assim sendo, os cálculos para cada espécie foi determinado de acordo com as expressões 5 e 6, segundo Curtis & Mcintosh (1950):

$$D.A._i = \left( \frac{n_i}{N} \right) \times D.T.; \text{ onde: } D.T. = \left( \frac{N}{A} \right) \quad (5)$$

em que

$DA_i$  = densidade absoluta da  $i$ -ésima espécie, em número de indivíduos por hectare;

$n_i$  = número de indivíduos da  $i$ -ésima espécie na amostragem;

$N$  = número total de indivíduos amostrados;

$DT$  = densidade total por área, de todas as árvores, independente da espécie, em número de indivíduos por hectare;

$A$  = área total amostrada, em hectare;

$$D.R._i = \left[ \frac{\left( \frac{n_i}{N} \right) \times D.T.}{\left( \frac{N}{A} \right)} \right] \times 100 \quad (5.1)$$

em que

$DR_i$  = densidade relativa (%) da  $i$ -ésima espécie;

$n_i$ ,  $N$ ,  $DT$  e  $A$  definidos no item anterior.

### **Dominância**

A dominância expressa a proporção de tamanho, de volume ou de cobertura de cada espécie, em relação ao espaço ou volume da fitocenose. Assim, cada espécie tem um grau de dominância no espaço que ocupa. O grau de dominância dá uma noção do grau de influência que cada espécie exerce nos demais componentes do ecossistema (Daubenmire, 1968).

A dominância fisionômica decorre do predomínio de certa forma de vida que confere à comunidade a sua aparência característica. A dominância por família parece ser muito frequente em florestas pluviais tropicais, conforme mostrado por Richards (1976) e decorre do predomínio de uma família taxonômica em número de indivíduos, independentemente da espécie a que pertence. As dominâncias absoluta e relativa foram obtidas pelas expressões 6 e 6.1.

$$DoA_i = \left( \frac{G_i}{A} \right) \quad (6)$$

$$DoR_i = \frac{DoA_i}{\left( \frac{\sum_{i=1}^n G_i}{A} \right)} \times 100 \quad (6.1)$$

em que:

$DoA_i$  = dominância absoluta da  $i$ -ésima espécie, em  $m^2/ha$ ;

$DoR_i$  = dominância relativa (%) da  $i$ -ésima espécie;

$G_i$  = área basal da  $i$ -ésima espécie, em  $m^2$ , na área amostrada;

$A$  = área amostrada, em hectare;

$n_i$  = número de indivíduos da  $i$ -ésima espécie na amostragem;

Este parâmetro também informa a densidade da espécie, contudo, em termos de área basal, identificando sua dominância sob esse aspecto. A dominância absoluta nada mais é do que a soma das áreas seccionais dos indivíduos pertencentes a uma mesma espécie, por unidade de área. Assim, maiores valores de  $DoA_i$  e  $DoR_i$  indicam que a espécie exerce dominância no povoamento amostrado, em termos de área basal por hectare.

A partir da obtenção dos parâmetros que descrevem a estrutura horizontal da floresta, foi estimado o índice de valor de importância ( $IVI$ ) das espécies por meio do somatório dos valores relativos de abundância, dominância e frequência, de acordo com Finol (1971).

### 5.5 Fator de forma

Analisando-se uma árvore de forma típica, encontra-se uma grande amplitude de variação de formas, desde as perfeitamente semelhantes a uma forma geométrica definida, até aquelas de difícil definição. Como exemplos podem ser citadas as espécies do cerrado que são tortuosas e de difícil comparação com uma forma geométrica.

Os fustes das árvores apresentam formas bastante variadas em razão da espécie, do sítio, da idade, da densidade e das aptidões genéticas, dentre outros fatores. Mesmo em povoamentos de uma única espécie, observam-se diferentes formas entre as árvores.

As variações na forma do tronco devem-se à diminuição sucessiva dos diâmetros da base ao topo da árvore. Esta diminuição do diâmetro da árvore é conhecida como “forma da árvore” ou afiletamento. Após o diâmetro e a altura, o fator de forma constitui-se em variável importante na determinação volumétrica.

O fator de forma ( $f$ ) é definido como uma constante que deve ser multiplicada pelo produto da área transversal ( $g$ ) com altura ( $h$ ), para se ter o volume de uma árvore em pé (Finger, 1992). Assim sendo, o fator de forma reduz o volume do cilindro para o verdadeiro volume da árvore obtido por cubagem. Portanto, tem-se que:

$$v_{real} = \frac{\pi}{40000} \times DAP^2 \times H \times f \quad (7)$$

em que

$v_{real}$  = volume da árvore

$$v_{cilindro} = \frac{\pi}{40000} \times DAP^2 \times H \quad (7.1)$$

$$v_{real} = g \times H \times f \quad (7.2)$$

logo:

$$f = \frac{v_{real}(cubagem)}{v_{cilindro}(g \times H)} \quad (7.3)$$

À medida que o fator de forma se aproxima de 1, mais cilíndrica é a árvore. Fatores iguais a 1 não são obtidos porque a árvore apresenta sempre um afilamento ao longo do tronco.

O fator de forma médio é calculado sobre um número de árvores representativo da população para aproximações rápidas do volume das árvores. Para a estimativa de volumes individuais, apesar de ter sido utilizado em alguns levantamentos no passado, não deve ser o método preferido nas condições da floresta tropical (diversidade de formas, dimensões e espécies).

## **5.6 Organização, processamento e análise estatística**

Para a organização das variáveis do estudo, utilizou-se a planilha eletrônica Microsoft<sup>TM</sup> Excel – 2007. Utilizou-se como recurso computacional o ambiente de programação estatística e gráfico **R**<sup>®</sup> versão 2.9.0 [2009-04-17].

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na área amostral de 875.000 m<sup>2</sup> (87,5 ha), foram registrados 536 indivíduos, pertencentes a 17 famílias botânicas, 30 gêneros e 37 espécies comerciais com DAP $\geq$ 40 cm, como mostrado na Tabela 2, a qual ilustra o número de ocorrência de gêneros e espécies por família botânica. As famílias leguminosae (*Caesalpiniaceae*, *Mimosaceae*, *Fabaceae*) e Moraceae foram as mais importantes, do ponto de vista florístico, uma vez que apresentaram os maiores números, gêneros e espécies. Essas famílias abrangeram 50% dos gêneros e 54,05% das espécies. Vale ressaltar que elas são responsáveis por 78,79% das árvores no inventário, o que as torna as mais importantes da floresta. Estas informações coincidem com as de Ferreira (2006) que, após analisar a influência de microssítios sobre a regeneração natural de espécies florestais, na mesma área de estudo da presente pesquisa, constatou que a família leguminosae foi a mais representativa para o número de gêneros e espécies.

O grupo das leguminosae também foi dominante nos estudos realizados por Pires & Koury (1959), Conceição (1990), Ayres (1993), Domingos & Anderson (1993) e Montagnini & Miret (1997). Para Ducke & Black (1958), depois das palmeiras, é o grupo mais importante na fisionomia da flora amazônica. Campbell et al. (1986), analisando o valor de importância por família (VIF), obtiveram como resultado, em floresta de terra firme no Xingu, leguminosae com 75,91 (25,30%). Nesse mesmo trabalho, os autores concluíram que o grupo das leguminosae tem grande importância ecológica na Amazônia, sendo o maior e o melhor estudado.

As famílias aqui apontadas como as mais importantes, do ponto de vista florístico, foram as mesmas encontradas por Oliveira & Amaral (2004), ao estudarem a fitossociologia em uma floresta de vertente no estado do Amazonas.

Esses autores verificaram que essas famílias responderam por quase 60% dos espécimes inventariados, resultado semelhante ao deste estudo.

TABELA 2 Número de gêneros, espécies comerciais e árvores por família botânica com DAP $\geq$ 40 cm na área amostrada.

Nº	Família	Nº gênero	Nº espécie	Nº árvores	% Nº árvores	% acumulada
1	Caesalpiniaceae	6	7	314	58,58	58,58
2	Moraceae	2	4	64	11,94	70,52
3	Bombacaceae	1	2	43	8,02	78,54
4	Mimosaceae	3	4	25	4,66	83,21
5	Lecythidaceae	2	2	22	4,10	87,31
6	Anacardiaceae	1	2	16	2,99	90,30
7	Fabaceae	4	5	14	2,61	92,91
8	Vochysiaceae	2	2	9	1,68	94,59
9	Lauraceae	1	1	7	1,31	95,90
10	Apocynaceae	1	1	6	1,12	97,01
11	Celastraceae	1	1	4	0,75	97,76
12	Simaroubaceae	1	1	4	0,75	98,51
13	Clusiaceae	1	1	2	0,37	98,88
14	Myristicaceae	1	1	2	0,37	99,25
15	Sapotaceae	1	1	2	0,37	99,63
16	Burseraceae	1	1	1	0,19	99,81
17	Caryocaraceae	1	1	1	0,19	100,00
<i>Total</i>		<i>30</i>	<i>37</i>	<i>536</i>	<i>100</i>	<i>---</i>

Lima Filho et al. (2001), em um inventário em floresta de terra firme no estado do Amazonas, observaram que as famílias Lecythidaceae e Moraceae, dentre outras, foram as mais representativas, em número de indivíduos. Ainda no estado do Amazonas, Matos & Amaral (1999) constataram que a família Lecythidaceae situou-se entre aquelas com maiores valores de abundância em uma floresta de terra firme.

No nordeste paraense, mesorregião sudeste paraense e microrregião de Paragominas, Francez et al. (2007) observaram que Lecythidaceae, Sapotaceae e

Violaceae destacaram-se em abundância, constituindo, juntas, 66,27% dos indivíduos da área. Vale ressaltar que essas famílias destacaram-se, também, em estudos de composição florística realizados por Sandel & Carvalho (2000), em uma área de cinco hectares de mata alta na Floresta Nacional do Tapajós, onde Leguminosae, Violaceae, Lecythidaceae, Moraceae, Sapotaceae e Burseraceae foram as mais abundantes, constituindo 57,95% dos indivíduos inventariados.

Um resumo das características dendrométricas das 536 árvores amostradas na área é apresentado na Tabela 3. Verificou-se o maior valor de coeficiente de variação para a variável volume comercial, seguido pela área basal, DAP, altura comercial e fator de forma. Alguns parâmetros estão próximos aos encontrados por Ribeiro et al. (2003) para uma floresta de terra firme da Amazônia Central, próximo a cidade de Manaus. Esses autores encontraram os seguintes resultados: DAP médio de 66,58 cm e um coeficiente de variação de 23,77% e altura comercial média de 17 m com um coeficiente de variação de 24,22%. Porém, o fator de forma médio encontrado por Ribeiro et al. (2003) foi de 0,65 com coeficiente de variação de 18,13%, bem abaixo da média das árvores amazônicas que, de acordo com a Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia - SUDAM (1973), é em torno de 0,71. Moura (1994), citado por Ribeiro (2003) estimou o fator de forma em 0,75 para 710 árvores e, para o presente estudo, a média encontrada para o fator de forma para as 536 árvores comerciais foi de 0,73.

TABELA 3 Resumo das características dendrométricas das 536 árvores amostradas com  $DAP \geq 40$  cm, na área de estudo.

Parâmetros	Variáveis observadas				
	DAP (cm.ha <sup>-1</sup> )	Área seccional (g) (m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> )	Altura comercial (m.ha <sup>-1</sup> )	Volume comercial (m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> )	Fator de forma
Mínimo	40,77	0,130524	7,70	1,434708	0,45
Máximo	135,66	1,445395	26,20	22,731734	1,80
Amp. total	94,89	1,314871	18,50	21,297026	1,35
Média	64,20	0,343195	16,85	5,802721	0,73
Mediana	61,28	0,294920	17,00	4,799710	0,72
Variância	249,5129	0,032163	11,3039	10,635939	0,014
Desvio padrão	15,7960	0,179342	3,3621	3,261279	0,120
CV (%)	24,60	52,25	19,95	56,20	16,43
Total	---	183,952599	---	3110,258302	---

CV (%) = coeficiente de variação.

### 6.1 Análise estrutural

A estrutura da floresta foi caracterizada pela densidade, dominância, frequência, valor de importância e distribuição diamétrica (número de árvores por classe diamétrica).

As famílias botânicas que se destacaram com os maiores números de indivíduos ( $N$ ) e valores de densidade relativa ( $DR\%$ ), foram: *Caesalpinaceae*, *Moraceae*, *Bombacaceae*, *Mimosaceae*, *Lycithidaceae* e *Anacardiaceae* que, juntas, somam 90,30% do total de indivíduos amostrados (Tabela 4). Observa-se que pouco mais da metade dos indivíduos amostrados pertence à família *Caesalpinaceae* (58,58%) e que estas estão distribuídas em todas as unidades amostrais ( $FA = 100\%$ ). Isso dá uma ideia da distribuição horizontal ao longo da área estudada para esta família que também apresentou os maiores valores de área basal ( $G$ ) total observada (125,4233 m<sup>2</sup>), correspondendo, assim, a uma dominância relativa ( $DoR\%$ ) de 67,71%. Esses indicadores refletem a importância dos indivíduos desta família na composição estrutural da floresta e demonstram o potencial para manejo das espécies que a compõem.

Outras famílias, também importantes na estrutura da floresta, foram: *Moraceae*, *Bombacaceae*, *Mimosaceae*, *Lecythidaceae* e *Anacardiaceae*, com dominância relativa de 9,24%, 5,40%, 4,64%, 3,48% e 1,99%, respectivamente (Tabela 4).

TABELA 4 Estrutura por família, considerando árvores com DAP $\geq$ 40 cm, em 87,5 ha de área amostrada na floresta tropical úmida de terra firme.

Família	Nº árvores	G (m <sup>2</sup> /87,5 ha)	F.A.	F.R. (%)	D.A. (Ind./ha)	D.R. (%)	DoA. (m <sup>2</sup> /ha)	DoR. (%)	IVC	IVI
Caesalpiniaceae	314	125,4233	100	13,6	3,5886	58,58	1,4334	67,71	126,29	139,88
Moraceae	64	17,1236	93	12,6	0,7314	11,94	0,1957	9,24	21,18	33,81
Bombacaceae	43	10,0034	71	9,7	0,4914	8,02	0,1143	5,40	13,42	23,13
Mimosaceae	25	8,6021	71	9,7	0,2857	4,66	0,0983	4,64	9,31	19,02
Lecythidaceae	22	6,4439	57	7,8	0,2514	4,10	0,0736	3,48	7,58	15,35
Anacardiaceae	16	3,6951	71	9,7	0,1829	2,99	0,0422	1,99	4,98	14,69
Fabaceae	14	3,9771	64	8,7	0,1600	2,61	0,0455	2,15	4,76	13,50
Vochysiaceae	9	2,1342	43	5,8	0,1029	1,68	0,0244	1,15	2,83	8,66
Lauraceae	7	2,0906	29	3,9	0,0800	1,31	0,0239	1,13	2,43	6,32
Apocynaceae	6	1,2274	29	3,9	0,0686	1,12	0,0140	0,66	1,78	5,67
Celastraceae	4	1,0419	29	3,9	0,0457	0,75	0,0119	0,56	1,31	5,19
Simaroubaceae	4	0,9330	21	2,9	0,0457	0,75	0,0107	0,50	1,25	4,16
Clusiaceae	2	0,9315	14	1,9	0,0229	0,37	0,0106	0,50	0,88	2,82
Myristicaceae	2	0,4539	14	1,9	0,0229	0,37	0,0052	0,25	0,62	2,56
Sapotaceae	2	0,3038	14	1,9	0,0229	0,37	0,0035	0,16	0,54	2,48
Burseraceae	1	0,5286	7	1,0	0,0114	0,19	0,0060	0,29	0,47	1,44
Caryocaraceae	1	0,3311	7	1,0	0,0114	0,19	0,0038	0,18	0,37	1,34
Total	536	185,2446	736	100	6,1257	100	2,12	100	200	300

Analisando-se a estrutura diamétrica para as 536 árvores-amostras, observa-se que ela apresentou uma progressão do número de indivíduos, de forma decrescente, a partir da segunda classe diamétrica [50-59,9], como mostrado na Figura 2. A partir desse ponto, o número de indivíduos decresce de acordo com uma progressão geométrica. Porém, vale ressaltar que, para uma distribuição diamétrica com indivíduos acima de 40 cm de DAP, a estrutura aqui analisada não se configurou em uma distribuição típica em forma de “J invertido”, característica essa comum em florestas heterogêneas multiâneas,

quando se consideram indivíduos na regeneração de menores classes diamétricas. Essa estrutura, de acordo com Cruz & Hosokawa (2001), constitui uma característica importante de distribuições diamétricas de florestas multiâneas o que, talvez, venha a reforçar a teoria do francês Liocourt (1889), citado por Meyer (1952). Este autor cita que, para estas florestas, sua estrutura diamétrica tende para uma distribuição de frequência das árvores em forma de um “J invertido”, ou seja, com o número de árvores nas classes diamétricas sucessivas decresce numa progressão constante (Meyer, 1953; Assmann, 1970).

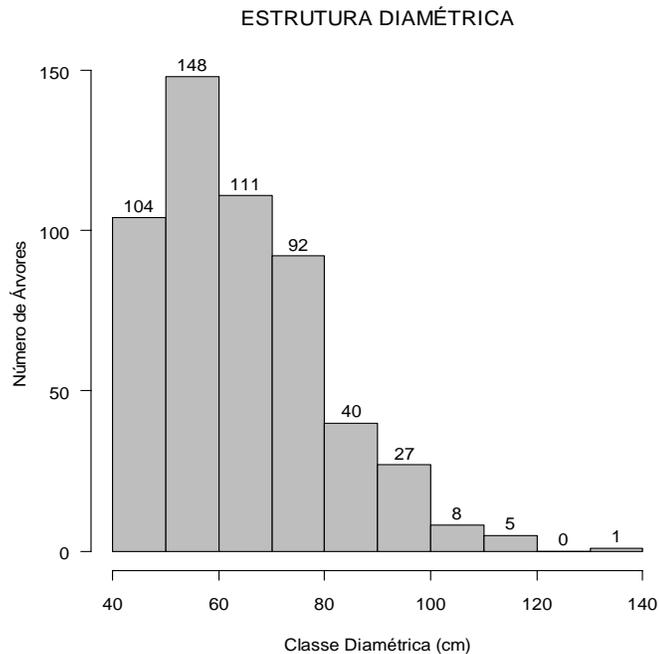


FIGURA 2 Estrutura diamétrica para as 536 árvores amostradas com  $DAP \geq 40$ , na área de estudo.

De forma a complementar as informações da Figura 2, os parâmetros de densidade absoluta (DA) e densidade relativa (DR %) são apresentados por classe diamétrica na Tabela 5, na qual os indivíduos presentes nas classes [40-

49,9; 50-59,9; 60-69,9 e 70-79,9], juntos, representaram uma DR% de 84,89% das árvores amostradas na área de estudo.

A densidade absoluta por classe diamétrica manteve-se acima de uma árvore/ha<sup>-1</sup> até a 4ª classe, o que confirma a característica da floresta em estudo, em que as primeiras classes são representadas por um número grande de indivíduos.

TABELA 5 Parâmetros de densidade absoluta (DA) e densidade relativa (DR%) por classe diamétrica, para as 536 árvores com DAP $\geq$ 40 cm, na área amostrada na floresta tropical.

Classe diamétrica		Centro de classe (cm)	Nº árvores	DA (arv./ha)	DR %	DR% acum.
Limite inferior	Limite superior					
40	49,99	45	104	1,19	19,40	19,40
50	59,99	55	148	1,69	27,61	47,01
60	69,99	65	111	1,27	20,71	67,72
70	79,99	75	92	1,05	17,16	84,89
80	89,99	85	40	0,46	7,46	92,35
90	99,99	95	27	0,31	5,04	97,39
100	109,99	105	8	0,09	1,49	98,88
110	119,99	115	5	0,06	0,93	99,81
120	129,99	125	0	0,00	0,00	99,81
130	139,99	135	1	0,01	0,19	100,00
Total			536	6,13	100	---

Foi observado que, para a altura comercial, houve pequena variação (menor variabilidade) ao longo das classes diamétricas (Tabela 6), com valores próximos à sua média (16,85 cm). Para as demais variáveis observadas, houve um aumento ao longo das classes diamétricas, como mostrado na Tabela 6.

TABELA 6 Variáveis observadas por classe diamétrica, média e desvio padrão, para diâmetro a altura do peito (DAP), área basal (G), altura comercial (HC), volume comercial (VC) e fator de forma (FF).

Classe diamétrica		Nº ár.	DAP médio (cm)	G média (m <sup>2</sup> )	HC média (m)	VC média (m <sup>3</sup> )	FF médio
LI	LS						
40	49,99	104	45,99±2,50	0,1666±0,0178	16,37±3,55	2,763830±0,6554	0,69±0,14
50	59,99	148	54,83±2,94	0,2368±0,0254	16,73±3,39	3,989789±0,9154	0,72±0,10
60	69,99	111	64,62±2,97	0,3287±0,0303	17,02±3,21	5,522666±1,2196	0,72±0,10
70	79,99	92	74,93±3,07	0,4417±0,0361	16,92±3,44	7,461465±1,6833	0,74±0,10
80	89,99	40	83,62±3,01	0,5499±0,0402	17,79±3,06	9,732312±1,6739	0,78±0,20
90	99,99	27	94,98±2,44	0,7067±0,0380	17,54±3,25	12,349048±2,5014	0,78±0,11
100	109,99	8	103,94±3,10	0,8492±0,0507	15,88±3,21	13,668878±2,8593	0,80±0,10
110	119,99	5	114,50±2,48	1,0301±0,0452	15,88±3,45	16,192400±3,7813	0,84±0,04
120	129,99	0	0,00±0,00	0,0000±0,0000	0,00±0,00	0,000000±0,0000	0,00±0,00
130	139,99	1	135,66±0,00	1,4454±0,0000	19,83±0,00	19,830817±0,0000	0,99±0,00
Total		536	---	---	---	---	---

LI = limite inferior; LS = limite superior.

Fazendo-se uma análise por família botânica, na Figura 3 mostra-se a estrutura diamétrica para as famílias que apresentaram os maiores números de árvores e densidade relativa, este último parâmetro compreendendo 90,30% de um total de 536 árvores com DAP $\geq$ 40 cm. Com exceção de Caesalpiniaceae, que apresentou o maior número de árvores na 4<sup>a</sup> classe [70-79,99] cm, as demais apresentaram o pico de número de árvores na 2<sup>a</sup> classe [50-59,99] cm. Foi observado que as seguintes famílias ocorreram nas classes diamétricas com ampla variação: Bombacaceae classe [40:79,99] cm; Anacardiaceae, intervalo de classe [40:69,9] cm; Mimosaceae e Lecythidaceae, intervalo de classe [40:99,9] cm. Moraceae e Caesalpiniaceae, embora tenham mostrado ampla variação, [40:89,9; 40:119,9] cm, respectivamente, apresentaram uma leve irregularidade na penúltima classe, reaparecendo na classe posterior.

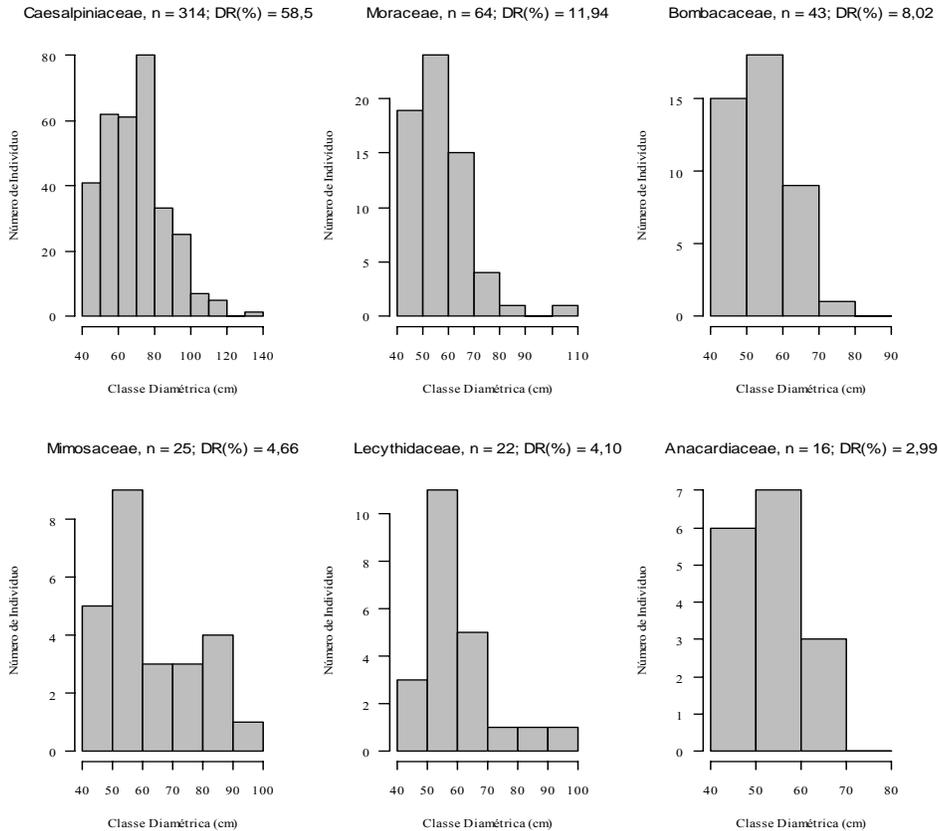


FIGURA 3 Estrutura diamétrica, por família, para as 536 árvores amostradas com DAP $\geq$ 40, na área de estudo.

Os gêneros que mais se destacaram, em número de indivíduos, na área amostrada foram *Eperua*, *Brosimum*, *Scleronema*, *Clarisia*, *Copaifera*, *Anacardium*, *Dinizia* e *Allantoma* que, juntos, somaram 82,46% da densidade relativa para o total de gêneros, como mostrado na Tabela 7, a qual apresenta a ordem decrescente no número de indivíduos, outros parâmetros da estrutura horizontal para os gêneros.

Dentre os gêneros, *Eperua* foi o que apresentou o maior número de indivíduos ( $n = 271$ ), aparecendo em 92,86% de todas as parcelas, o que indica

uma densidade absoluta de 3,09 indivíduos por hectare e também com o maior valor de área basal na área amostrada (112,6070 m<sup>2</sup>).

TABELA 7 Estrutura por gênero, considerando árvores comerciais com DAP $\geq$ 40 cm, em 87,5 ha de área amostrada na floresta tropical úmida de terra firme.

Gênero	Nº árvores	G (m <sup>2</sup> /87,5 ha)	FA	FR (%)	DA (ind./ha)	DR (%)	DoA. (m <sup>2</sup> /ha)	DoR (%)	IVC	IVI
<i>Eperua</i>	271	112,6070	92,86	9,09	3,0971	50,56	1,2869	61,22	111,77	120,87
<i>Brosimum</i>	44	12,1571	78,57	7,69	0,5029	8,21	0,1389	6,61	14,82	22,51
<i>Scleronema</i>	43	9,7632	71,43	6,99	0,4914	8,02	0,1116	5,31	13,33	20,32
<i>Clarisia</i>	20	4,8416	57,14	5,59	0,2286	3,73	0,0553	2,63	6,36	11,96
<i>Copaifera</i>	20	4,8787	78,57	7,69	0,2286	3,73	0,0558	2,65	6,38	14,08
<i>Anacardium</i>	16	3,5699	71,43	6,99	0,1829	2,99	0,0408	1,94	4,93	11,92
<i>Dinizia</i>	15	5,4902	64,29	6,29	0,1714	2,80	0,0627	2,98	5,78	12,08
<i>Allantoma</i>	13	3,9012	57,14	5,59	0,1486	2,43	0,0446	2,12	4,55	10,14
<i>Couratari</i>	9	2,5427	21,43	2,10	0,1029	1,68	0,0291	1,38	3,06	5,16
<i>Dipteryx</i>	9	2,7533	42,86	4,20	0,1029	1,68	0,0315	1,50	3,18	7,37
<i>Hymenaea</i>	9	2,9141	57,14	5,59	0,1029	1,68	0,0333	1,58	3,26	8,86
<i>Peltogyne</i>	9	2,3428	21,43	2,10	0,1029	1,68	0,0268	1,27	2,95	5,05
<i>Erisma</i>	8	1,8660	35,71	3,50	0,0914	1,49	0,0213	1,01	2,51	6,00
<i>Parkia</i>	8	2,7470	28,57	2,80	0,0914	1,49	0,0314	1,49	2,99	5,78
<i>Mezilaurus</i>	7	2,0906	28,57	2,80	0,0800	1,31	0,0239	1,14	2,44	5,24
<i>Couma</i>	6	1,2274	28,57	2,80	0,0686	1,12	0,0140	0,67	1,79	4,58
<i>Goupta</i>	4	1,0419	28,57	2,80	0,0457	0,75	0,0119	0,57	1,31	4,11
<i>Schizolobium</i>	4	2,1375	21,43	2,10	0,0457	0,75	0,0244	1,16	1,91	4,01
<i>Simarouba</i>	4	0,9330	21,43	2,10	0,0457	0,75	0,0107	0,51	1,25	3,35
<i>Andira</i>	2	0,5579	14,29	1,40	0,0229	0,37	0,0064	0,30	0,68	2,08
<i>Hymenolobium</i>	2	0,4886	14,29	1,40	0,0229	0,37	0,0056	0,27	0,64	2,04
<i>Manilkara</i>	2	0,5286	14,29	1,40	0,0229	0,37	0,0060	0,29	0,66	2,06
<i>Piptadenia</i>	2	0,3648	7,14	0,70	0,0229	0,37	0,0042	0,20	0,57	1,27
<i>Symphonia</i>	2	0,8061	14,29	1,40	0,0229	0,37	0,0092	0,44	0,81	2,21
<i>Virola</i>	2	0,3346	14,29	1,40	0,0229	0,37	0,0038	0,18	0,56	1,95
<i>Caryocar</i>	1	0,3311	7,14	0,70	0,0114	0,19	0,0038	0,18	0,37	1,07
<i>Dialium</i>	1	0,1915	7,14	0,70	0,0114	0,19	0,0022	0,10	0,29	0,99
<i>Trattinnickia</i>	1	0,2187	7,14	0,70	0,0114	0,19	0,0025	0,12	0,31	1,00
<i>Vatairea</i>	1	0,1773	7,14	0,70	0,0114	0,19	0,0020	0,10	0,28	0,98
<i>Vochysia</i>	1	0,1481	7,14	0,70	0,0114	0,19	0,0017	0,08	0,27	0,97
Total	536	183,9526	1021,43	100	6,1257	100	2,1023	100	200	300

G = área basal (m<sup>2</sup>); frequência absoluta (FA); densidade absoluta (DA); densidade relativa (DR%); dominância absoluta (DoA.); dominância relativa (DoR.%); índice de valor de cobertura (IVC) e índice de valor de importância (IVI).

Destaca-se, para este gênero, uma densidade relativa da ordem de 50,56%, ou seja, pouco mais da metade dos indivíduos pertence a este gênero em particular, o que atribui a ele um status de valor de importância de 120,87, o maior observado, como apresentado na Tabela 5.

Os gêneros *Brosimum* e *Scleronema*, embora apresentassem valores bem abaixo quando comparados a *Eperua*, mostraram valores de parâmetros estruturais bastante próximos entre si, como densidade absoluta (0,5029 e 0,4914) e densidade relativa (8,21% e 8,02%), respectivamente. Fato semelhante também foi observado para *Clarisia* e *Copaifera* em que este último gênero apresentou o quarto maior valor de importância (14,08).

Analisando-se a estrutura diamétrica para os oito gêneros com os maiores números de indivíduos e densidade relativa (Figura 4), foi observado que *Eperua* teve representantes em quase todas as classes diamétrica consideradas nesse estudo, com exceção para a classe [120-129,9] cm, em que não houve registro de nenhuma árvore. As estruturas diamétrica apresentaram formas distintas para os diferentes gêneros analisados aqui, desde uma quase “normal”, como foi o caso do gênero *Eperua*, em que se observou um aumento no número de árvores até a quarta classe diamétrica [70-79,9] cm e que, a partir deste ponto, este valor diminuiu até a última classe.

Outra forma de distribuição apresentada foi para os gêneros *Brosimum* e *Scleronema*, em que o comportamento da estrutura diamétrica foi bastante semelhante, se compararmos quanto à forma da mesma. Ambas apresentaram um aumento no número de indivíduos na primeira para a segunda classe e, logo em seguida, uma redução nas classes seguintes, porém, *Brosimum* apresentou maior amplitude diamétrica [40:109,9] cm, com um descontínuo na classe [90-99,9] cm, como mostrado na Figura 4.

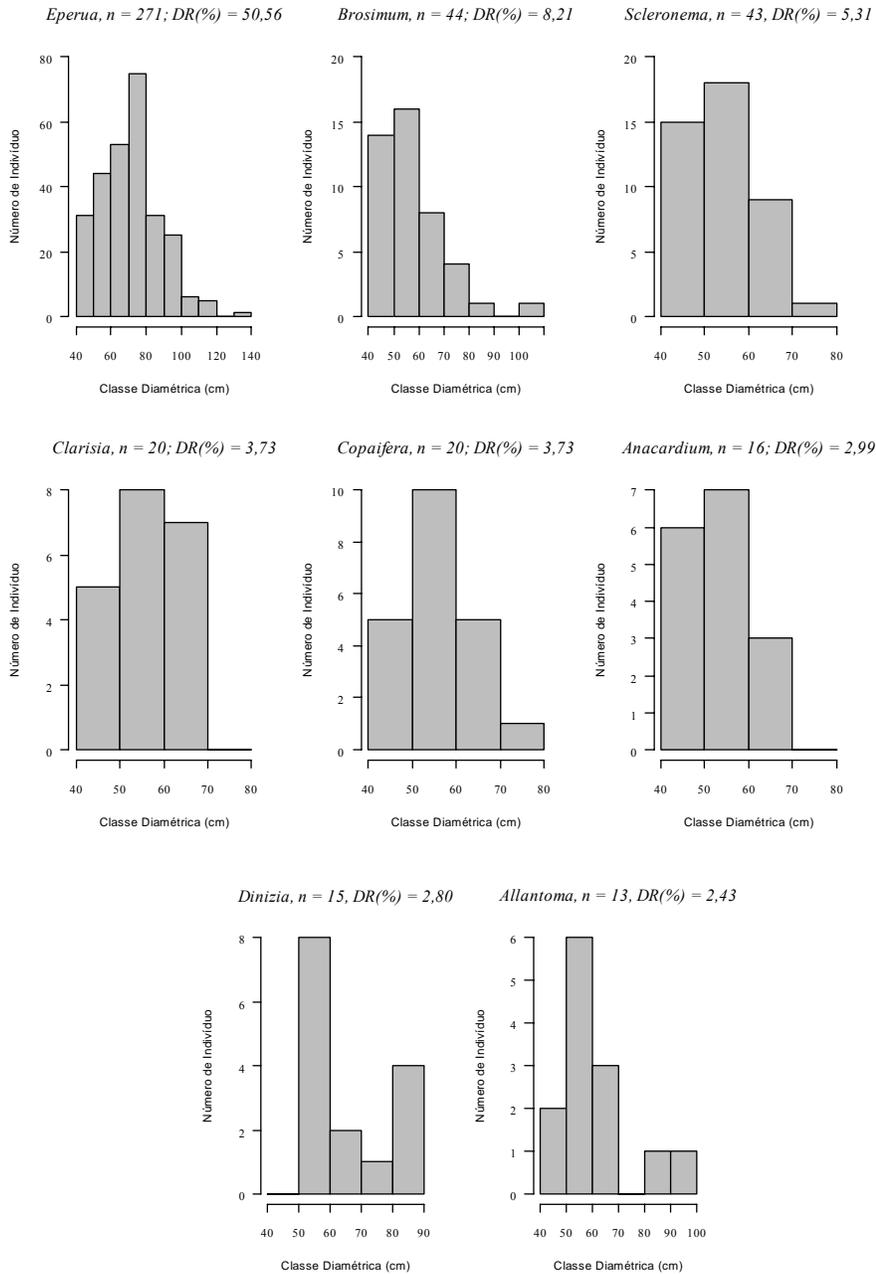


FIGURA 4 Estrutura diamétrica, por gênero, das 536 árvores amostradas com  $DAP \geq 40$  cm, na área de estudo.

Embora os gêneros *Clarisia* e *Copaifera* tenham apresentado os mesmos valores de densidade relativa (3,73%) mostraram comportamentos diferenciados quanto à forma de distribuição diamétrica, com uma amplitude de variação para o primeiro gênero [40:69,9] cm e outra para o segundo [40:79,9] cm, respectivamente. Com 16 árvores, o gênero *Anacardium* apresentou, a exemplo de *Clarisia*, uma pequena amplitude de classe diamétrica com indivíduos concentrados na segunda e na primeira classe. Árvores do gênero *Dinizia* surgiram a partir da segunda classe [50-59,9] cm e, ao contrário dos demais gêneros observados aqui, sua distribuição inicia-se com redução no número de árvores nas duas classes seguintes, terminando com um aumento na última (Figura 4).

## 6.2 Espécies comerciais

Os indivíduos comerciais com  $DAP \geq 40$  cm, identificados na Tabela 1 e cubados rigorosamente, são provenientes da safra de 2002 e localizadas no talhão nº 7.

Foram identificadas 37 espécies comerciais em 536 indivíduos. As quatro espécies com os maiores valores de densidade relativa (DR%) foram: *Eperua oleifera*, *Scleronema micranthum*, *Brosimum utile* e *Clarisia racemosa* que, juntas, compreendem 68,66% do total de indivíduos. Deve-se destacar, para a espécie *Eperua oleifera* (de uso em laminação e compensado), que ela representou pouco mais da metade dos indivíduos, com densidade relativa [50,56%] e maior área basal, o que conferiu a ela maior dominância relativa dentre as espécies [61,2152%] e com 93% de frequência nas parcelas amostradas, de acordo com os dados da Tabela 8, que também revelam, para esta espécie, um maior valor de importância (120,328).

TABELA 8 Estrutura por espécie comercial de árvores com DAP $\geq$ 40 cm, em 87,5 ha de área amostrada na floresta tropical úmida de terra firme.

Espécie	Nº árvores	G (m <sup>2</sup> /87,5 ha)	F.A .	F.R. (%)	D.A. (ind./ha)	D.R. (%)	DoA. (m <sup>2</sup> /ha)	DoR. (%)	IVC	IVI
<i>Eperua oleifera</i>	271	112,6070	93	8,55	3,10	50,56	1,2869	61,2152	111,775	120,328
<i>Scleronema micranthum</i>	41	9,3335	57	5,26	0,47	7,65	0,1067	5,0739	12,723	17,986
<i>Brosimum utile</i>	36	9,9563	71	6,58	0,41	6,72	0,1138	5,4124	12,129	18,708
<i>Clarisia racemosa</i>	20	4,8416	57	5,26	0,23	3,73	0,0553	2,6320	6,363	11,627
<i>Dinizia excelsa</i>	15	5,4902	64	5,92	0,17	2,80	0,0627	2,9846	5,783	11,704
<i>Allantoma lineata</i>	13	3,9012	57	5,26	0,15	2,43	0,0446	2,1208	4,546	9,809
<i>Copaifera multijuga</i>	12	3,2999	50	4,61	0,14	2,24	0,0377	1,7939	4,033	8,638
<i>Anacardium giganteum</i>	10	2,0113	50	4,61	0,11	1,87	0,0230	1,0934	2,959	7,564
<i>Copaifera reticulata</i>	9	1,8716	36	3,29	0,10	1,68	0,0214	1,0174	2,697	5,986
<i>Couratari tauari</i>	9	2,5427	21	1,97	0,10	1,68	0,0291	1,3823	3,061	5,035
<i>Hymenaea courbaril</i>	9	2,9141	57	5,26	0,10	1,68	0,0333	1,5842	3,263	8,526
<i>Peltogyne paniculata</i>	9	2,3428	21	1,97	0,10	1,68	0,0268	1,2736	2,953	4,926
<i>Erisma uncinatum</i>	8	1,8660	36	3,29	0,09	1,49	0,0213	1,0144	2,507	5,796
<i>Mezilaurus itauba</i>	7	2,0906	29	2,63	0,08	1,31	0,0239	1,1365	2,442	5,074
<i>Anacardium tenuifolium</i>	6	1,5586	29	2,63	0,07	1,12	0,0178	0,8473	1,967	4,598
<i>Couma utilis</i>	6	1,2274	29	2,63	0,07	1,12	0,0140	0,6673	1,787	4,418
<i>Dipteryx odorata</i>	6	1,8591	29	2,63	0,07	1,12	0,0212	1,0107	2,130	4,762
<i>Parkia paraensis</i>	5	1,7879	14	1,32	0,06	0,93	0,0204	0,9719	1,905	3,221
<i>Brosimum paraense</i>	4	1,2602	21	1,97	0,05	0,75	0,0144	0,6851	1,431	3,405
<i>Brosimum parinariodes</i>	4	0,9406	29	2,63	0,05	0,75	0,0107	0,5113	1,258	3,889
<i>Goupia glabra</i>	4	1,0419	29	2,63	0,05	0,75	0,0119	0,5664	1,313	3,944
<i>Schizolobium amazonicum</i>	4	2,1375	21	1,97	0,05	0,75	0,0244	1,1620	1,908	3,882
<i>Simarouba amara</i>	4	0,9330	21	1,97	0,05	0,75	0,0107	0,5072	1,253	3,227
<i>Dipteryx magnifica</i>	3	0,8941	21	1,97	0,03	0,56	0,0102	0,4861	1,046	3,019
<i>Parkia pendula</i>	3	0,9591	21	1,97	0,03	0,56	0,0110	0,5214	1,081	3,055
<i>Hymenolobium excelsum</i>	2	0,4886	14	1,32	0,02	0,37	0,0056	0,2656	0,639	1,955
<i>Manilkara huberi</i>	2	0,5286	14	1,32	0,02	0,37	0,0060	0,2873	0,660	1,976
<i>Piptadenia suaveolens</i>	2	0,3648	7	0,66	0,02	0,37	0,0042	0,1983	0,571	1,229
<i>Scleronema praecox</i>	2	0,4297	14	1,32	0,02	0,37	0,0049	0,2336	0,607	1,923
<i>Symphonia globulifera</i>	2	0,8061	14	1,32	0,02	0,37	0,0092	0,4382	0,811	2,127
<i>Virola melinoni</i>	2	0,3346	14	1,32	0,02	0,37	0,0038	0,1819	0,555	1,871
<i>Andira parviflora</i>	1	0,2651	7	0,66	0,01	0,19	0,0030	0,1441	0,331	0,989
<i>Caryocar villosum</i>	1	0,3311	7	0,66	0,01	0,19	0,0038	0,1800	0,367	1,024
<i>Dialium guianense</i>	1	0,1915	7	0,66	0,01	0,19	0,0022	0,1041	0,291	0,949
<i>Trattinnickia burserifolia</i>	1	0,2187	7	0,66	0,01	0,19	0,0025	0,1189	0,305	0,963
<i>Vatairea sericea</i>	1	0,1773	7	0,66	0,01	0,19	0,0020	0,0964	0,283	0,941
<i>Vochysia sp.</i>	1	0,1481	7	0,66	0,01	0,19	0,0017	0,0805	0,267	0,925
<b>Total</b>	<b>536</b>	<b>183,9526</b>	<b>1086</b>	<b>100</b>	<b>6,13</b>	<b>100</b>	<b>2,1023</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>300</b>

Com exceção de *Eperua oleifera*, as nove espécies que, juntas, somaram 30,78% de densidade relativa foram: a) de uso em laminação e compensado *Scleronema micranthum* [7,65%], *Dinizia excelsa* [2,80%], *Copaifera multijuga* [2,24%], *Anacardium giganteum* [1,87%] e *Copaifera reticulata* [1,68] e b) as de uso em serrarias, *Brosimum utile* [6,72%], *Clarisia racemosa* [3,73%], *Allantoma lineata* [2,43%] e *Couratari tauari* [1,68%]. Dentre essas, *Brosimum utile* foi a que apresentou os melhores parâmetros estruturais de área basal [9,9563 m<sup>2</sup>], frequência relativa [6,58%], dominância relativa [5,4124%] e, conseqüentemente, o segundo maior valor de importância [18,708] para o conjunto de espécies comerciais aqui analisadas.

Após uma análise estrutural da floresta, algumas das espécies supracitadas também situaram-se entre as espécies comerciais com os maiores valores de importância encontradas por Lima et al. (2000) em uma área de floresta primária explorada seletivamente no município de Marabá, no Pará.

A estrutura diamétrica para as espécies que apresentaram um número de indivíduo igual ou maior a dez árvores (Figura 5) mostrou que, dentre essas espécies comerciais, foram identificadas algumas que apresentaram, de algum modo, deficiência na estrutura diamétrica, o que pode comprometer a sua exploração, o seu uso, tanto em termos ecológicos e silviculturais (sustentabilidade) como também em termos econômicos (baixo número de indivíduos e volume por hectare), em virtude da irregularidade apresentada nas classes diamétricas de interesse comercial. Foram identificadas algumas espécies que apresentaram interrupção na estrutura diamétrica, como foi o caso da *Eperua oleifera* classe [120-129,9] cm, *Brosimum utile*, intervalo de classe [90:109,9] cm e *Allantoma lineata*, no intervalo de classe [70-79,9] cm. Cunha et al. (2000), após uma análise da distribuição diamétrica de espécies comerciais nativas da Amazônia, observaram que algumas delas apresentaram irregularidade na sua estrutura diamétrica o que poderia vir a comprometer o seu uso final. Os mesmos autores reportam-se à análise da estrutura

diamétrica afirmando que nem toda espécie de importância econômica apresenta indivíduos em quantidade suficiente para determinado diâmetro mínimo.

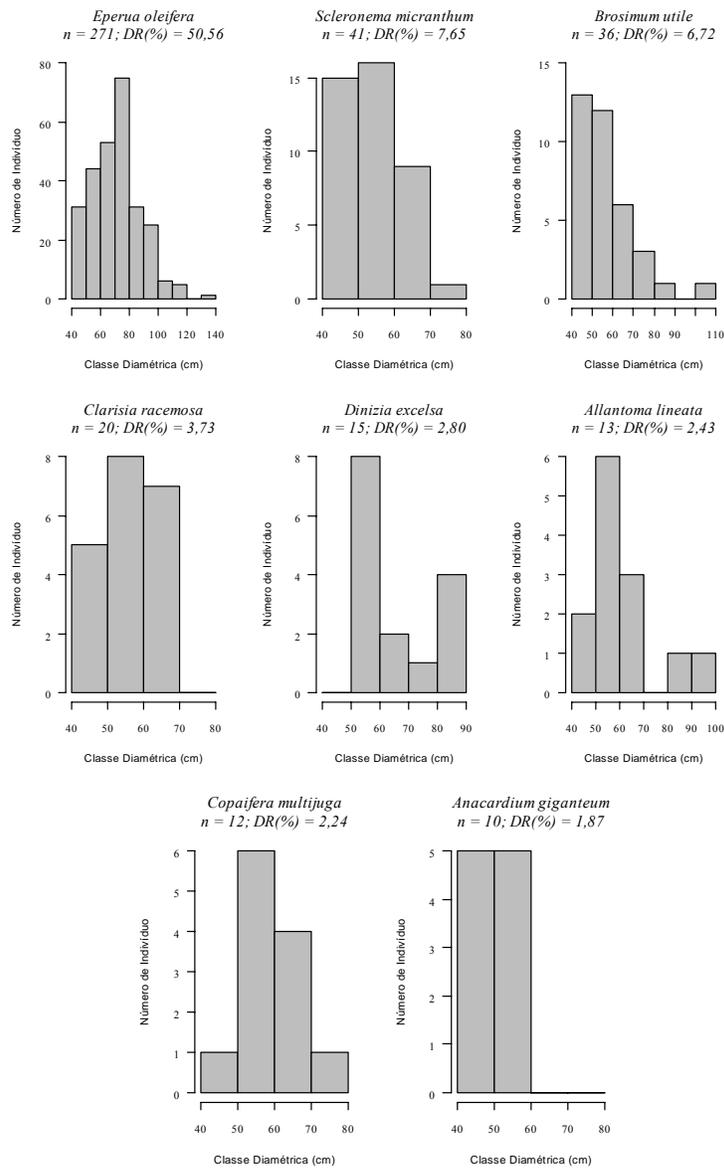


FIGURA 5 Estrutura diamétrica, por espécie, das 536 árvores amostradas com  $DAP \geq 40$  cm, na área de estudo.

Embora *Eperua oleifera* tenha apresentado um ligeiro interrupto em sua estrutura, esta apresentou ampla variação nas classes diamétricas [40:119,9] cm. Outras espécies também apresentaram ampla variação em suas estruturas. Foram elas: *Copaifera multijuga* e *Scleronema micranthum*, nas classes [40:79,9] cm, respectivamente; *Brosimum utile*, classes [40:89,9] cm e *Dinizia excelsa*, nas classes [50:89,9] cm.

Analisando a espécie *Anacardium giganteum*, esta apresentou uma distribuição com o mesmo número de árvores, porém, limitando-se somente às duas primeiras classes diamétricas [40-49,9 e 50-59,9] cm. Similarmente, Heinsdijk & Bastos (1965) observaram que, na Amazônia, algumas espécies dificilmente alcançam diâmetros maiores que 65 cm, como as Enviras (*Annona* sp.), que possuem vida muito curta. Outras apresentam uma distribuição regular, como as Abiuranas (*Pouteria* sp.), estando presentes na maioria das classes diamétricas, decrescendo e, até mesmo, desaparecendo nas classes acima de 84 cm, como foi observado para *Brosimum utile* (Figura 5), a única a apresentar uma distribuição em forma de exponencial negativa, característica de floresta multiânea, em que houve redução no número de árvores à medida que se avançou para as maiores classes. Vale ressaltar que esse modelo de distribuição de “J invertido” ou exponencial negativo sugere que, de acordo com Pereira-Silva (2004), as populações que compõem uma comunidade são estáveis e autorregenerativas e que existe um balanço entre mortalidade e recrutamento dos indivíduos, é o que nos leva a crer que para o conjunto de  $DAPs \geq 40$  cm, para o *Brosimum utile*, tal estrutura tende a convergir para um equilíbrio.

A distribuição diamétrica em formações florestais pode ser, muitas vezes, descontínua, como visto na Figura 5, ou seja, não seguindo uma forma de “J invertido” e muito menos sendo balanceada. Entretanto, Meyer et al. (1961) comentam que, do ponto de vista ecológico, a distribuição diamétrica deveria ser

balanceada e o estoque em crescimento deveria conservar a biodiversidade da floresta mutiânea, decrescendo segundo uma progressão geométrica constante.

Em florestas nativas, quando a razão do coeficiente “q” é constante, significa que existe equilíbrio entre mortalidade e crescimento, ou seja, um balanceamento. Quando isso ocorre por um longo período, pode-se dizer que a estrutura da floresta está balanceada ou estabilizada e, nesse caso, ocorre um número proporcional de árvores em cada classe diamétrica (Osmaston, 1968). Entretanto, Harper (1977) atenta que, na prática, a maioria das florestas irregulares não apresenta distribuição balanceada, mas tem uma tendência a convergir para esse padrão.

As diferentes formas de distribuições do número de indivíduos por classes diamétricas apresentadas na Figura 5 reforçam a ideia de Lamprecht (1990), para quem tal distribuição pode variar muito de uma espécie para outra ou de um grupo de espécies para outro.

Vale ressaltar que, no resultado da análise estrutural, o fato de esta revelar que, para as espécies comerciais aqui analisadas, apenas uma (*Eperua oleifera*) apresentou densidade absoluta  $\geq 1$  ind./ha<sup>-1</sup>. Alguns autores apontam espécies raras como sendo aquelas com densidade absoluta inferior a 1 ind./ha<sup>-1</sup> (Almeida et al., 1993; Kageyama & Gandara, 1994). Dessa forma, se considerarmos este critério, 97,30% das espécies analisadas na presente pesquisa são tidas como raras, ou seja, teoricamente impedidas de serem utilizadas nos planos de manejo. Alves & Miranda (2008), em uma abordagem estrutural de comunidades arbóreas de uma floresta Amazônica no município de Almeirim, Pará, com indivíduos de DAP  $\geq 30$  cm, verificaram que 96,9% das espécies apresentaram densidade absoluta  $\leq 1$  ind./ha<sup>-1</sup>, portanto, raras. Contudo, Kageyama & Lepsch-Cunha (2001) mencionam que o limite do número de indivíduos por hectare como conceituação de raridade é relativo e depende da distribuição de abundância no ecossistema considerado para o estudo.

### 6.3 Participação de *Eperua oleifera* Ducke

A análise estrutural indicou que *Eperua oleifera* Ducke é uma espécie promissora na área amostrada e que, além de apresentar o índice de importância mais alto da comunidade, destacou-se também das demais pela abundância de indivíduos na área, pela dominância em relação à área basal e o volume por ela apresentado, bem como pela distribuição das árvores em quase toda a área inventariada.

Comparando-se a estrutura diamétrica de todas as 536 árvores comerciais com  $DAP \geq 40$  cm com a estrutura remanescente, após a retirada dos indivíduos de *Eperua oleifera* Ducke ( $n = 271$ ), observou-se que, para essa estrutura remanescente (aqui chamada de “outras sp.”), com número de indivíduos igual a 265, a nova estrutura da distribuição diamétrica, embora reduzida, sua forma permaneceu bastante semelhante à original, com um aumento no número de indivíduos da primeira para a segunda classe diamétrica e seguindo uma redução nesse valor nas classes seguintes. Na Tabela 9 são apresentados os valores da razão do quociente “ $q$ ” para as três estruturas: i) todas, ii) *Eperua oleifera* Ducke e iii) outras sp., demonstrando que a redução no número de indivíduos de uma classe diamétrica para outra não é uma razão constante; ao contrário, em florestas nativas, quando populações apresentam distribuição balanceada de diâmetros, a redução do número de indivíduos de uma classe para outra seria uma razão constante, o que significa que existe equilíbrio entre mortalidade e crescimento, ou seja, um balanceamento. Quando este fato é observado por um longo período, pode-se dizer que a estrutura da floresta está balanceada ou estabilizada e, nesse caso, ocorre um número proporcional de árvores em cada classe diamétrica (Leak, 1964; Osmaston, 1968; Silva, 1989; Vaccaro et al., 2003).

TABELA 9 Estrutura diamétrica para o total (banco de dados), *Eperua oleifera* Ducke e outros sp.

Classe diamétrica		Total				Eperua oleifera Ducke				Outras sp.			
L I	L.S	Nº	q	D.A. (ind./ha <sup>-1</sup> )	DR %	Nº	q	DA (ind./ha <sup>-1</sup> )	DR %	Nº	q	DA (ind./ha <sup>-1</sup> )	DR %
40	49,99	104	0,70	1,19	19,40	31	0,70	0,35	5,78	73	0,70	0,83	13,62
50	59,99	148	1,33	1,69	27,61	44	0,83	0,50	8,21	104	1,79	1,19	19,40
60	69,99	111	1,21	1,27	20,71	53	0,71	0,61	9,89	58	3,41	0,66	10,82
70	79,99	92	2,30	1,05	17,16	75	2,42	0,86	13,99	17	1,89	0,19	3,17
80	89,99	40	1,48	0,46	7,46	31	1,24	0,35	5,78	9	4,50	0,10	1,68
90	99,99	27	3,38	0,31	5,04	25	4,17	0,29	4,66	2	1,00	0,02	0,37
100	109,99	8	1,60	0,09	1,49	6	1,20	0,07	1,12	2	0,00	0,02	0,37
110	119,99	5	0,00	0,06	0,93	5	0,00	0,06	0,93	0		0,00	0,00
120	129,99	0	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0		0,00	0,00
130	139,99	1		0,01	0,19	1		0,01	0,19	0		0,00	0,00
Total		536	---	6,13	100,00	271	---	3,10	50,56	265	---	3,03	49,44

Nº = número de árvores; “q”= quociente de Liocourt; DA = densidade absoluta e DR% = densidade relativa.

Observando-se os valores de densidade absoluta, nota-se que, para a estrutura total, esse valor foi de 6,13 ind./ha<sup>-1</sup> e que praticamente a metade dele é representado pela espécie *Eperua oleifera* Ducke e a outra metade pela estrutura remanescente “Outras sp.”. Isso também influencia os valores de densidade relativa, o que, mais uma vez, indica a importância desta espécie na área amostrada.

As três estruturas diamétrica podem ser mais bem visualizada na Figura 6, na qual é mostrada a distribuição diamétrica de “Outras sp.” semelhante à original “Todas” e que a *Eperua oleifera* Ducke apresentou outra forma na estrutura, com o pico no número de indivíduos na classe [70 – 79,9] cm.

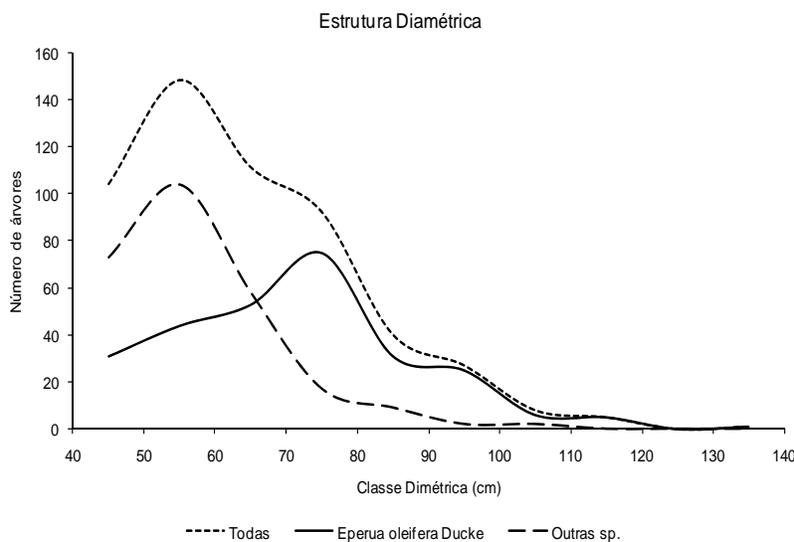


FIGURA 6 Comparação da estrutura diamétrica nos três níveis observados: todas, *Eperua oleifera* Ducke e outras sp.

Os dados da Tabela 10 mostram que, após a mudança na estrutura das 536 árvores, esta representou uma redução na área basal, com a saída da *Eperua oleifera*, de 38,76 % e volume de 37,99%, ou seja, a espécie *Eperua oleifera* foi responsável por uma redução nos valores de área basal e volume da ordem de 61,24% e 62,01%, respectivamente. Na Tabela 10 podem-se observar algumas características dendrométricas, mostrando que o fator de forma pouco variou da estrutura outras sp., quando comparada a *Eperua oleifera* Ducke. Isso indica que pouco mais de 70% da forma do fuste comercial dessas estruturas se assemelha a um cilindro. A estrutura diamétrica para *Eperua oleifera* também revelou as maiores médias para DAP [70,72] cm, área basal [0,4155] m<sup>2</sup> e, também, volume [7,117022] m<sup>3</sup>.

TABELA 10 Estatística descritiva para as variáveis dendrométricas das 536 árvores amostradas com  $DAP \geq 40$  cm, na área de estudo.

<b>Todas, n = 536</b>					
Parâmetros	DAP (cm.ha <sup>-1</sup> )	Área seccional (g) (m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> )	Altura comercial (m.ha <sup>-1</sup> )	Volume comercial (m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> )	Fator de forma
Mínimo	40,77	0,1305	7,70	1,434708	0,45
Máximo	135,66	1,4454	26,20	22,731734	1,80
Amp. total	94,89	1,31487	18,50	21,297026	1,35
Média	64,20	0,3432	16,85	5,802721	0,73
Desvio padrão	15,7960	0,179342	3,3621	3,261279	0,120
CV (%)	24,60	52,25	19,95	56,20	16,43
Total	---	183,9526	---	3110,258302	---
<b><i>Eperua oleifera</i> Ducke, n = 271</b>					
Parâmetros	DAP (cm.ha <sup>-1</sup> )	Área seccional (g) (m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> )	Altura comercial (m.ha <sup>-1</sup> )	Volume comercial (m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> )	Fator de forma
Mínimo	41,07	0,1325	7,70	1,434708	0,53
Máximo	135,66	1,4454	23,77	22,731734	1,80
Amp. total	94,59	1,3129	16,07	21,297026	1,27
Média	70,72	0,4155	17,16	7,117022	0,74
Desvio padrão	16,74	0,1991	3,29	3,558672	0,13
C. V. (%)	23,67	47,91	19,17	50,00	17,56
Total	---	112,6070 <b>(61,24%)</b>	---	1928,712861 <b>(62,01%)</b>	---
<b>Outras sp., n = 265</b>					
Parâmetros	DAP (cm.ha <sup>-1</sup> )	Área seccional (g) (m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> )	Altura comercial (m.ha <sup>-1</sup> )	Volume comercial (m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> )	Fator de forma
Mínimo	40,77	0,1305	8,47	1,655882	0,45
Máximo	107,59	0,9091	26,20	17,316467	1,60
Amp. total	66,82	0,7786	17,73	15,660585	1,15
Média	57,45	0,2692	16,54	4,458662	0,72
Desvio padrão	11,33	0,1174	3,41	2,239509	0,11
C. V. (%)	19,72	43,61	20,61	50,22	15,27
Total	---	71,3456 <b>(38,76%)</b>	---	1181,545441 <b>(37,99%)</b>	---

## 7 CONCLUSÕES

A análise estrutural dos indivíduos comerciais com  $DAP \geq 40$  cm inventariados na área de estudo (área amostrada) permitiu concluir que:

. as famílias leguminosae (*Caesalpiniaceae*, *Fabaceae* e *Mimosaceae*) constituíram o grupo mais importante, do ponto de vista fisionômico, do local de estudo, representando 78,54% das árvores no inventário, portanto, o mais característico da floresta e que também, junto com *Moraceae* e *Lecythidaceae*, apresentaram os maiores números de gêneros e espécies;

. a floresta apresentou um maior estoque de madeira comercial concentrado nas primeiras classes diamétricas, logo, confirmando o padrão em florestas tropicais estáveis e com composição de espécies variadas;

. as espécies *Eperua oleifera* Ducke, *Scleronema micranthum* Ducke, *Brosimum utile* (H.B.K) e *Clarisia racemosa* Ruiz & Pav. foram as que demonstraram ampla variação na estrutura diamétrica e os mais altos valores de parâmetros estruturais e estimativas dendrométricas, podendo, então, compor o “rol” das espécies comerciais importantes na área estudada.

Para concluir, *Eperua oleifera* Ducke se sobrepôs às demais quanto ao número de árvores que apresentou na área, assim como nas estimativas de área basal e volume comercial, fazendo dela uma espécie possível de novas pesquisas, com vista a complementar as informações aqui descritas.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, S. S.; LISBOA, P. L. B.; SILVA, A. S. L. Diversidade florística de uma comunidade arbórea na Estação Científica Ferreira Penna, em Caxiuanã (Pará). **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi: Série Botânica**, Belém, v. 9, n. 1, p. 99-105, 1993.

ALVES, J. C. Z. O.; MIRANDA, I. de S. Análise da estrutura de comunidades arbóreas de uma floresta amazônica de Terra Firme aplicada ao manejo florestal. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 38, n. 4, p. 657-666, out./dez. 2008.

ASSMANN, E. **The principles of forest yield study**. Oxford: Pergamon, 1970. 506 p.

AYRES, J. M. **As matas de várzea do Mamirauá**: médio Rio Solimões. Brasília: CNPq, 1993. 123 p.

BARROS, A. V. de; BARROS, P. L. C. de; SILVA, L. C. B. da. Estudo da diversidade de espécies de uma floresta situada em Curuá-Uma, Pará. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, n. 33, p. 49-65, jan./jun. 2000.

BARROS, P. L. C. **Estudo das distribuições diamétricas da floresta do planalto do Tapajós-Pará**. 1980. 123 f. Dissertação (Mestrado em Manejo Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Instrução Normativa nº 4, de 3 de julho de 2002. Dispõe sobre manejo florestal sustentável de uso múltiplo na Amazônia Legal. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, v. 1, n. 45, p. 3, 3 jul. 2002.

CAMPBELL, D. G.; DALY, D. C.; PRANCE, G. T.; MACIEL, U. N. Quantitative ecological inventory of terra firme and várzea tropical forest on the Rio Xingu, Brazilian Amazon. **Brittonia**, Bronx, v. 38, n. 4, p. 369-393, 1986.

CARVALHO, J. O. P. **Análise estrutural da regeneração natural em floresta tropical densa na região do tapajós no Estado do Pará**. 1982. 82 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

CONCEIÇÃO, M. C. A. **Análise estrutural de uma floresta de várzea no Estado do Pará**. 1990. 107 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

CRONQUIST, A. **An integrated system of classification of flowering plants.** New York: Columbia University, 1981. 99 p.

CRUZ, E. C. da; HOSOKAWA, R. T. Caracterização da estrutura dimensional de floresta Amazônica em intervalos de classe com tamanho diferentes: 1., distribuição diamétrica. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 2., 2001, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 2001. p. 345-366.

CUNHA, U. S.; MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; BARROS, P. L. C. Análise da distribuição diamétrica de espécies comerciais nativas oriundas de uma floresta de terra firme da Amazônia. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE ECOSSISTEMAS FLORESTAIS, 8., 2000, Porto Seguro. **Anais...** Porto Seguro: SEF, 2000. 1 CD-ROM.

CURTIS, J. T.; MCINTOSH, R. P. The interrelations of certain analytic and synthetic phytosociological characters. **Ecology**, Durham, v. 31, p. 434-455, 1950.

DAUBENMIRE, R. **Plant communities:** a textbook of plant synecology. New York: Harper & Row, 1968. 89 p.

DOMINGOS, M. S.; ANDERSON, A. B. Early ecological changes associated with logging in an Amazon floodplain. **Biotropica**, Washington, v. 25, n. 2, p. 151-163, Apr. 1993.

DUCKE, A.; BLACK, G. A. **Notas sobre a fitogeografia da Amazônia Brasileira.** Belém: IPEAN, 1958. 62 p. (IPEAN. Boletim Técnico, 29).

FELFILI, J. M.; SILVA JUNIOR, M. C. da. Distribuição dos diâmetros numa faixa de cerrado na Fazenda Água Limpa (FAL) em Brasília-DF. **Acta Botânica Brasília**, Porto Alegre, v. 2, n. 1, p. 85-104, 1988.

FERREIRA, E. C. de M. **Efeito dos diferentes micro-sítios na regeneração natural em floresta de terra-firme manejada.** 2006. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus.

FERREIRA, R. L. C.; SOUZA, A. L.; JESUS, R. M. de. Dinâmica da estrutura de uma floresta secundária de transição: II., distribuição diamétrica. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 22, n. 3, p. 331-344, maio/jun. 1998.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1992. 269 p.

FINOL, H. H. Nuevos parametros a considerarse em el análisis estructural de las selvas virgines tropicales. **Revista Florestal Venezuelana**, Caracas, v. 14, n. 21, p. 29-42, 1971.

FRANCEZ, L. M. de B.; CARVALHO, J. O. P.; JARDIM, F. C. da S. Mudanças ocorridas na composição florística em decorrência da exploração florestal em uma área de floresta de Terra firme na região de Paragominas, PA. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 37, n. 2, p. 219-228, abr./jun. 2007.

FREITAS, J. V. de; PINARD, M. A. Applying ecological knowledge to decisions about seed tree retention in selective logging in tropical forests. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 256, n. 7, p. 1434-1442, Sept. 2008.

GETHAL AMAZONAS INDÚSTRIA DE MADEIRA COMPENSADA. **Projeto de manejo floresta democracia**. Manicore, 2001. Não paginado.

GÜL, A. U.; MISIR, M.; MISIR, N.; YAVUZ, H. Calculation of uneven-aged stand structures with the negative exponential diameter distribution and Sterba's modified competition density rule. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 214, n. 1/3, p. 212-220, Aug. 2005.

HARPER, J. L. **Population biology of plants**. New York: Academic, 1977. No page.

HEINSDIJK, D.; BASTOS, M. A. **A distribuição dos diâmetros nas florestas brasileiras**. Piracicaba: ESALQ, 1965. 56 p. (Setor de Inventário Florestal, 11).

HIGUCHI, N.; SANTOS, J. dos; NAHAMURA, S.; CHAMBERS, J.; RIBEIRO, R. J.; SILVA, R. P.; ROCHA, R. M. Dinâmica da floresta primária da bacia do Rio Cuieiras (AM), entre 1996 e 2000. In: ESTUDOS PARA MANEJO FLORESTAL E RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS: WORKSHOP INTERMEDIÁRIO DO PROJETO JACARANDA FASE II, 1., 2000, Manaus. **Anais...** Manaus: MCT/INPA/JICA, 2000. 1 CD-ROM.

KAGEYAMA, P. Y.; GANDARA, F. B. Dinâmica de populações de espécies arbóreas: implicações para o manejo e a conservação. **Aciesp**, São Paulo, v. 2, p. 1-9, 1994.

KAGEYAMA, P. Y.; LEPSCH-CUNHA, N. M. Singularidade da biodiversidade nos trópicos. In: GARAY, L.; DIAS, B. (Ed.). **Conservação da biodiversidade em ecossistemas tropicais**: avanços conceituais e revisão de novas metodologias de avaliação e monitoramento. São Paulo: Vozes, 2001. p. 199-140, 432 p.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos**: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas: possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado. Göttingen: Instituto de Silvicultura da Universidade de Göttingen, 1990. 343 p.

LEAK, W. B. An expression of diameter distribution for unbalanced, uneven-aged stands and forests. **Forest Science**, Lawrence, v. 10, p. 39-51, 1964.

LIMA, S. F. de; MATNII, N.; CARVALHO, J. O. P. de. **Estrutura de uma floresta de terra firme na região de Marabá-PA**: a posição do mogno em relação às outras espécies da comunidade. Brasília: EMBRAPA, 2000. 5 p. (Comunicado Técnico, 22).

LIMA FILHO, D. A.; MATOS, F. D. A.; AMARAL, I. L.; REVILLA, J.; COELHO, L. S.; RAMOS, J. F.; SANTOS, J. L. Inventário florístico de floresta ombrófila densa de terra firme, na região do Rio Urucú-Amazonas, Brasil. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 31, n. 4, p. 565-579, out./dez. 2001.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. Curitiba: UFPR, 2003. 309 p.

MATOS, F. D. A.; AMARAL, I. L. Análise ecológica de um hectare em floresta ombrófila densa de terra firme, Estrada de Várzea, Amazonas, Brasil. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 29, n. 3, p. 365-379, jul./set. 1999.

MEYER, A. H. Structure, growth and drain in balanced uneven-aged forests. **Journal of Forest**, Santa Cruz, v. 50, p. 85-92, 1952.

MEYER, A. H.; RICKNAGEL, A. B.; STEVENSON, D. D.; BARTOO, R. A. **Forest management**. New York: The Ronald, 1961. 199 p.

MEYER, H. A. **Forest mensuration**. Pennsylvania: Pennsylvania Valley, 1953. 357 p.

MONTAGNINI, F.; MIRET, N. M. Vegetación y suelos de las planicies inundables del estuário amazônico: una comparación de bosques de “várzea” y “terra firme” en Pará, Brasil. **Agrotropica**, Itabuna, v. 9, n. 3, p. 107-118, 1997.

MORI, S. A.; RABELO, B. V.; TSOU, C. A.; DALY, D. Composition and structure of a eastern amazonian Forest at Camaipi, Amapá, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi: Série Botânica**, Belém, v. 5, n. 1, p. 3-18, 1989.

OLIVEIRA, A. N.; AMARAL, I. L. Florística de uma floresta de vertente na Amazônia Central, Amazonas, Brasil. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 34, n. 1, p. 21-34, jan./mar. 2004.

OSMASTON, A. **The management of forest**. London: G. Allen and Unwin, 1968. 98 p.

PEREIRA-SILVA, E. F. L. **Alterações temporais na distribuição dos diâmetros de espécies arbóreas**. 2004. 17 p. Monografia (Graduação em Ecologia de Populações de Plantas) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas. Disponível em: <<http://www.ib.unicamp.br/profs/fsantos/nt238/2004/Monografias/Monografia-Erico.pdf>>. Acesso em: 23 jan. 2009.

PIRES, J. M.; KOURY, H. M. **Estudo de um trecho de mata de várzea próximo de Belém**. Belém: IAN, 1959. 44 p. (IAN. Boletim Técnico, 36).

PIRES, J. M.; PRANCE, G. T. The vegetation types of the Brazilian Amazon. In: PRANCE, G. T.; LOVEJOY, T. E. (Ed.). **Amazonia: key environments**. Oxford: Pergamon, 1985. p. 109-145.

PIRES-O'BRIEN, M. J.; O'BRIEN, C. M. **Ecologia e modelamento de florestas tropicais**. Belém: FCAP, 1995. 400 p.

RIBEIRO, R. J.; HIGUCHI, N.; VIEIRA, G.; SANTOS, J. dos; RIBEIRO, M. N. S. Estudos de função de forma para espécies florestais de terra firme da Amazônia central. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, n. 40, p. 93-109, jul./dez. 2003.

RICHARDS, P. W. **The tropical rain forest, an ecological study**. Cambridge: Cambridge University, 1976. 78 p.

SANDEL, M. P.; CARVALHO, J. O. P. **Composição florística e estrutura de uma área de cinco hectares de mata alta sem babaçu na Floresta Nacional do tapajós**. Belém: EMBRAPA Amazônia Oriental, 2000. 19 p. (Documentos, 63).

SCOLFORO, J. R. S.; PULZ, F. A.; MELO, J. M. de. Modelagem da produção, idade das florestas nativas, distribuição espacial das espécies e a análise estrutural. In: SCOLFORO, J. R. S. (Org.). **Manejo florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998. p. 189-246.

SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DA AMAZÔNIA. **Levantamentos florestais realizados pela missão FAO na Amazônia (1956-1961)**. Belém, 1973. 2 v.

SILVA, J. N. M. **The behaviour of the tropical rain forest of the Brazilian Amazon after logging**. Oxford: Oxford Forestry Institute, 1989. 302 p.

SILVA, J. N. M.; CARVALHO, J. O. P.; LOPES, J. do C. A. Um sistema silvicultural policíclico para produção sustentada de madeira na Amazônia brasileira. In: SIMPÓSIO SILVICULTURA NA AMAZÔNIA ORIENTAL: CONTRIBUIÇÕES DO PROJETO EMBRAPA, 1., 1999, Belém. **Anais...** Belém: EMBRAPA, 1999. p. 180-185.

SIMINSKI, A.; MANTOVANI, M.; REIS, M. S.; FANTINI, A. C. Sucessão florestal secundária no município de São Paulo de Alcântara, litoral de Santa Catarina: estrutura e diversidade. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 1, p. 21-33, jan./fev. 2004.

SOUZA, D. R.; SOUZA, A. L. de; GAMA, J. R. V.; LEITE, H. G. Emprego de análise multivariada para estratificação vertical de florestas inequidâneas. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 1, p. 59-63, jan./fev. 2003.

TONINI, H.; ARCO-VERDE, M. F.; SÁ, S. P. P. de. Dendrometria de espécies nativas em plantios homogêneos no Estado de Roraima - Andiroba (*Carapa guianensis* Aubl), Castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl.), Ipê-roxo (*Tabebuia avellanedae* Lorentz ex Griseb) e Jatobá (*Hymenaea courbaril* L.). **Acta Amazônica**, Manaus, v. 35, n. 3, p. 353-362, jul./set. 2005.

UHL, C.; BEZERRA, O.; MARTINI, A. **Ameaça à biodiversidade da Amazônia Oriental**. Belém: Imazon, 1997. 34 p. (Série Amazônia, 6).

UMAÑA, C. L. A.; ALENCAR, J. da C. Distribuições diamétricas da floresta tropical úmida em uma área no município de Itacoatiara-AM. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 28, n. 2, p. 167-190, abr./jun. 1998.

VACCARO, S.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R.; LONGHI, S. J. Incremento em área basal de árvores de uma Floresta Estacional Decidual, em três fases sucessionais, no município de Santa Terezinha, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 131-142, 2003.

## CAPÍTULO 3

### Modelos não lineares generalizados volumétricos para a Floresta Amazônica

#### 1 RESUMO

A presença de heterogeneidade de variância e autocorrelação é comum em bases de dados biométricos florestais, sobretudo em outras áreas do conhecimento biológico. Na modelagem de tais bases de dados, fundamentada nos modelos lineares e não lineares ordinários, a heterogeneidade de variância viola as pressuposições básicas da homogeneidade da variância. No presente estudos, foram utilizadas técnicas baseadas nos modelos não lineares generalizados para a estimativa do volume comercial para árvores individuais. Optou-se pelo modelo de Schumacher & Hall na forma não linear, tendo como variáveis independentes o diâmetro à altura do peito (DAP) e a altura comercial (HC). Com a inclusão de covariantes ao modelo, o valor do logaritmo da máxima verossimilhança foi elevado de -126,33 para -88,62, gerando um valor de 75,43 para o teste da razão da máxima verossimilhança, reduzindo o erro padrão residual em 8,89%. Na sequência, a modelagem da heterogeneidade da variância, a distribuição dos resíduos foi sensivelmente melhorada e o valor do logaritmo da máxima verossimilhança foi elevado de -88,62 para -47,874, tendo esta diferença sido altamente significativa (*valor-p*<.0001), a qual implicou na melhoria do ajuste em 99,29%

**Palavras-chave:** modelos não lineares generalizados, modelos biométricos florestais, heterogeneidade de variância, estrutura florestal, Amazônia.

## 2 ABSTRACT

The presence of variance heterogeneity and autocorrelation dependence is common in bases of biometric forest data, above all in other areas of the biological knowledge. In the modeling of such data bases, based on the ordinary linear and nonlinear models, the variance heterogeneity violates the basic presuppositions of the homogeneity of variance. In the present study, generalized nonlinear model-based approaches were utilized for the estimate of the commercial volume for individual trees. Schumacher & Hall model in the nonlinear form was chosen, its having as independent variables the diameter at breast height (DBH) and the commercial height (CH). With the inclusion of covariants to the model, the value of the logarithm of the maximum likelihood was elevated from -126.33 to -88.62, generating a value of 75.43 for the test of the likelihood test ratio, reducing the residual standard error by 8.89%. In the wake, the modeling of the heterogeneity of variance, the distribution of the residues was sensibly improved and the value of the logarithm of maximum likelihood was raised from -88.62 to -47.874, this difference having been highly significant (value-p <,0001), which implied in the improvement of the adjustment by 99.29%.

**Key words:** generalized nonlinear models, biometric forest models, heterogeneity of variance, forest structures, Amazon rainforest.

### 3 INTRODUÇÃO

Na teoria clássica dos modelos de regressão existem suposições básicas para garantir a eficiência e a qualidade de seus estimadores. Quando uma ou mais dessas suposições é violada, é necessário procurar alternativas desejáveis, para garantir a eficiência e a qualidade dos estimadores.

Uma das suposições do modelo de regressão é a igualdade das variâncias dos erros. Quando esta não ocorre, diz-se que os erros são heteroscedásticos.

Quando os erros de um modelo de regressão não têm variância constante, pode-se dizer que a suposição de homoscedasticidade não está satisfeita e o modelo pode ser chamado de modelo de regressão heteroscedástico.

Em muitas bases de dados biométricos florestais, de acordo com Calegario et al. (2005a), a heterogeneidade da variância, ou heteroscedasticidade, e a autocorrelação são características presentes. Dependendo da característica da base de dados, ambas as violações podem estar presentes.

Algumas vezes, é possível eliminar a presença da heteroscedasticidade por meio de transformação na variável resposta (Box & Cox, 1987). Porém, como isso nem sempre é possível, é conveniente considerar uma análise com modelagem explícita da variância.

Atualmente, a forma mais precisa de se tratar com o problema é o uso do método dos mínimos quadrados não lineares generalizados (Carroll & Ruppert, 1988; Seber & Wild, 1989, citados por Calegario et al., 2005a), o qual considera no ajuste tanto a heterogeneidade da variância quanto a autocorrelação.

Quando a suposição de homoscedasticidade ou de independência entre os erros for violada, o modelo de regressão linear clássico pode ser substituído pelo modelo de regressão linear generalizado. As três maiores consequências de

se utilizar o estimador de mínimos quadrados ordinários (modelos clássicos lineares e não lineares), para os parâmetros do modelo de regressão linear generalizado, são: i) as variâncias dos estimadores não são mínimas e ii) embora o estimador de mínimos quadrados ordinários seja não viciado, sua variância é viciada e estimativas intervalares ou testes de hipóteses podem produzir resultados imprecisos ou inválidos. Não é sempre possível detectar se o modelo clássico ou generalizado deva ser empregado, existindo, portanto, um perigo em se fazer inferências falhas usando o estimador de mínimos quadrados ordinários; iii) com a suposição adicional de que os erros são normalmente distribuídos, o estimador de mínimos quadrados não é o estimador de máxima verossimilhança. Contudo, essas consequências do uso do estimador de mínimos quadrados ordinários, quando ocorrem heteroscedasticidades, sugerem o uso de estimador de mínimos quadrados generalizados (Rodrigues & Diniz, 2006).

Para a Amazônia brasileira, não há registros de estudos utilizando o método dos mínimos quadrados generalizados em biometria florestal; no Brasil, além de serem escassos, estão restritos a florestas plantadas, como no trabalho de Díaz & Couto (1999) que utilizaram tal metodologia para a estimativa da mortalidade em povoamentos de *Eucalyptus* e os trabalhos de Calegario et al. (2004, 2005a,b,c) e Mendes et al. (2006), que a utilizaram na modelagem da heteroscedasticidade e da autocorrelação no crescimento em altura e área basal de árvores individuais para diferentes clones de *Eucalyptus*, melhorando, assim, a qualidade dos ajustes.

## **4 OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivo geral**

Este trabalho foi realizado com o objetivo geral de aplicar o método dos mínimos quadrados não lineares generalizados na modelagem do volume comercial de árvores individuais de uma floresta de terra firme no Amazonas.

### **4.2 Objetivos específicos**

Os objetivos específicos foram:

- . melhorar a qualidade do ajuste pela técnica de decomposição dos parâmetros de modelos não lineares com a inclusão de covariantes relacionadas com árvores individuais e com povoamentos;
- . corrigir a heteroscedasticidade apresentada por grupos de espécies comerciais de floresta de terra firme no Amazonas.

## 5 MATERIAL E MÉTODOS

A região de estudos, assim como a base de dados, foi a mesma descrita no item material e métodos do Capítulo 2.

### 5.1 Dados: variáveis dendrométricas

Foram selecionadas informações de 383 árvores-amostras de cinco espécies florestais comerciais de maior valor de densidade relativa, indicadas no capítulo 2, em resultados e discussão. As informações de variáveis relacionadas às árvores individuais selecionadas foram volume comercial ( $vc$ ), via cubagem rigorosa<sup>(1)</sup>, em  $m^3$ ; diâmetro à altura do peito (DAP), em cm; área transversal ( $g$ ), em  $m^2$  e altura comercial ( $hc$ ), em m.

Também foram selecionadas informações relativas ao povoamento, como número de indivíduos por hectare da espécie comercial ( $n/ha$ ), área basal ( $G$ ), em  $m^2$ /parcela e diâmetro médio quadrático ( $dq$ ), em cm/parcela. Os dados foram registrados para árvores individuais com DAP variando de 40 a 140 cm, sendo a variável de interesse o volume comercial ( $m^3$ ), como ilustrado na Figura 7. De acordo com os dados da Figura, o crescimento em volume tende a apresentar um comportamento não linear, mostrando indivíduos com valores distintos e um discreto aumento da variância à medida que a variável DAP aumenta.

As variáveis selecionadas são relativas às seguintes espécies: i) de uso em laminação e compensado, *Dinizia excelsa* Ducke, *Eperua oleifera* Ducke e *Scleronema micranthum* Ducke e ii) de uso em serraria, *Brosimum utile* (H. B. K.) e *Clarisia racemosa* Ruiz. & Pav.

---

<sup>1</sup> Maiores detalhes podem ser consultados em material e métodos, no capítulo 2.

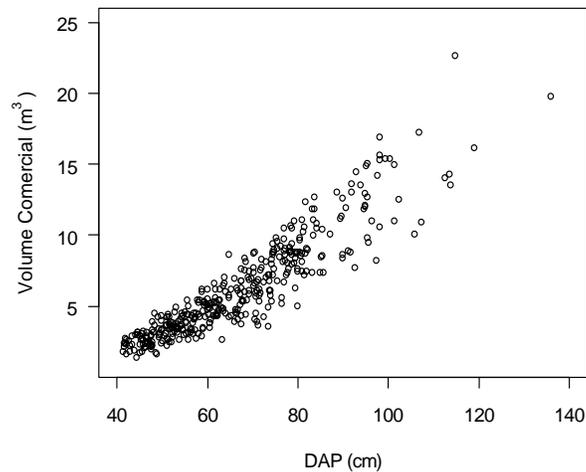


FIGURA 7 Relação entre o volume comercial ( $m^3$ ) e o diâmetro à altura do peito (cm), para diferentes árvores de espécies distintas.

## 5.2 Modelos utilizados

Foram testados dois modelos para expressar o comportamento do volume comercial em função do DAP e altura, como mostrado na Tabela 11. O primeiro modelo testado foi o da variável combinada de Spurr, em que o autor considera como uma única variável independente a combinação de  $dap^2hc$ , que tem forte correlação com o volume. O segundo modelo foi o de Schumacher & Hall, proposto em 1933, na sua forma não linear. Os dois modelos são os mais testados nos ajustes de estimativas volumétricas para árvores comerciais na Amazônia, porém, na sua grande maioria, transformados em modelos lineares por meio de uma reparametrização via transformação logarítmica. Bates & Watts (1988) e Guimarães (2001) afirmam que o inconveniente de uma transformação é que, além de o parâmetro perder sua interpretação intrínseca, pode-se alterar a estrutura e a distribuição do erro, ou seja, se os erros do modelo original satisfizerem às suposições usuais de normalidade, independência e homogeneidade da variância, os erros do novo modelo, em geral, não satisfarão tais suposições porque tais transformações podem mudar a forma da distribuição

dos erros ou fazer com que a variância desta distribuição deixe de ser constante. Isso pode ser resolvido utilizando-se o modelo não linear clássico, por meio do método de Gauss-Newton, por exemplo, em que o volume é estimado sem a necessidade de transformação (Rangel et al., 2006).

TABELA 11 Modelos não lineares utilizados na estimativa do volume, com seus respectivos parâmetros iniciais para iteração.

Modelo	Expressão	Valores iniciais para iteração		
		$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$
Spurr	$vc_i = \beta_0 \times (dap_i^2 hc_i)^{\beta_1} + \varepsilon_i$	$\pi/4$	$\approx 0,99$	---
Schumacher & Hall	$vc_i = \beta_0 \times dap_i^{\beta_1} \times hc_i^{\beta_2} + \varepsilon_i$		$\approx 1,99$	$\approx 0,99$

Em que:  $vc_i$  = volume comercial ( $m^3$ );  $dap_i$  = diâmetro à altura do peito (m);  $hc_i$  = altura comercial (m).

Os modelos não lineares nos parâmetros têm maior plasticidade e, portanto, são considerados mais apropriados para modelarem fenômenos biológicos.

### 5.3 Obtenção das estimativas de mínimos quadrados

Uma das limitações do uso de modelos não lineares é a escolha correta dos valores iniciais dos parâmetros para o processo de iteração, os quais irão gerar as estimativas pela convergência do algoritmo baseado no método de Gauss-Newton, na maioria das vezes (Calegario et al., 2005a). O método de Gauss-Newton é o mais utilizado. Ele utiliza as derivadas parciais da função esperança  $f(x_i; \theta)$  com relação a cada parâmetro. Vale ressaltar que a grande maioria dos softwares estatísticos possui rotinas com a implementação desses métodos, e os mesmos produzem estimativas bastante similares e, em geral, são de rápida convergência. Entretanto, a rapidez na convergência depende da complexidade do modelo em estudo e, principalmente, da qualidade dos valores

iniciais, necessários em qualquer método iterativo (Bates & Watts, 1988; Mazucheli & Achcar, 2002; Ferreira, 2008).

Uma maneira de obter valores iniciais para os parâmetros em um processo de iteração seria imaginar que o fuste de uma árvore se assemelha a um cilindro. Geometricamente, o volume desse cilindro pode ser definido pela seguinte expressão:

$$V_{cilindro} = \frac{\pi \times D^2}{4} \times L \quad (9)$$

em que:

$V_{cilindro}$  = volume do cilindro, m<sup>3</sup>;

$D$  = diâmetro, cm;

$L$  = comprimento, m.

Considerando que a razão  $\frac{\pi}{4}$  é uma constante e sendo denominado de  $\alpha$ , pode-se reescrever a expressão (9) como:

$$V = \alpha \times DAP^2 \times H \quad (9.1)$$

em que o volume de uma árvore é função de seu DAP e de sua altura.

Entretanto, como o volume não é função apenas do diâmetro e da altura da árvore, ou seja, existem outros fatores correlacionados com o volume, o termo  $\varepsilon$  (erro aleatório) deve ser adicionado à expressão (9.1), definindo o modelo de regressão, denominado modelo volumétrico da variável combinada, como mostrado na expressão (9.2):

$$V = \alpha \times DAP^2 \times H + \varepsilon \quad (9.2)$$

Na expressão acima, assume-se que a variável DAP e H estejam associadas aos parâmetros  $\beta$  e  $\gamma$ , os quais podem assumir diferentes valores em função dos dados amostrais. Portanto, o modelo fica assim definido:

$$V = \alpha \times DAP^\beta \times H^\gamma + \varepsilon \quad (9.3)$$

Portanto, procederam-se como valores iniciais para os modelos de Spurr e o de Schumacher & Hall, valores de parâmetros mostrados na Tabela 11.

#### **5.4 Inclusão de covariantes ao modelo**

Antecedendo à modelagem do volume e considerando a heterogeneidade de variância e o fato de que a variação do volume comercial de uma árvore individual não é apenas explicada pelo seu diâmetro (DAP) e sua altura (hc), após a seleção do melhor modelo não linear, entre os avaliados na Tabela 11, os parâmetros do mesmo foram decompostos associando-se a eles variáveis, como diâmetro quadrático por parcela ( $Dq$ ) e área transversal ( $g$ ). De acordo com Calegario et al. (2005a), a decomposição de parâmetros apresenta uma grande maleabilidade, devido ao fato de que variáveis podem estar associadas a um parâmetro e não a outro, isso dependendo do seu grau de significância.

#### **5.5 Função da heterogeneidade de variância**

Com certa discrição, a base de dados mostrada na Figura 7 revela uma amplitude da variabilidade em torno da curva média de crescimento do volume à medida que o diâmetro dos indivíduos aumenta. Essa característica é chamada de heterogeneidade de variância ou heteroscedasticidade. Considerando as

pressuposições básicas dos modelos estatísticos lineares e não lineares clássicos, tal comportamento viola a homogeneidade de variância.

A técnica apresentada neste trabalho na modelagem da heterogeneidade de variância foi baseada na proposta de Davidian & Giltinan (1995), Pinheiro & Bates (2000) e Calegario et al. (2004, 2005a). Estes últimos autores fizeram algumas adaptações para o caso específico do crescimento florestal. Portanto, a expressão definida para a função de variância, foi:

$$Var(y_i) = \sigma^2 g^2(\mu_{ij}, \nu_{ij}, \delta), \quad \mu_i = f(x_i, \beta) \quad (10)$$

A variância da resposta em (10) é função de  $g$  que, por sua vez, é função da média da resposta, de fatores fixos  $\nu_{ij}$ , que podem ser representados por parte ou todos componentes de  $x$  e do vetor de parâmetros  $\delta$  da função de variância. Como a resposta média é função dos parâmetros da regressão  $\beta$ , a variância também é função destes parâmetros. A função  $g(.)$  pode possuir várias formas. As mais comuns são a forma exponencial, o parâmetro como uma potência da média e a forma com dois componentes, conforme mostrado na expressão (11):

$$\begin{aligned} g(\mu_i, z_i, \Phi) &= \mu_i^\Phi \\ g(\mu_i, z_i, \Phi) &= \exp(\mu_i^\Phi) \\ g(\mu_i, z_i, \Phi) &= \Phi_i + \mu_i^\Phi \end{aligned} \quad (11)$$

O processo de estimativa da função de variância é baseado nos mínimos quadrados generalizados. Após a estimativa do parâmetro  $\Phi$  e da escolha dos valores iniciais para  $\beta$ , um processo iterativo gera valores definitivos para os parâmetros pela minimização da função de pseudoverossimilhança, como mostrado na expressão seguinte.

$$PV(\beta^{(0)}, \sigma, \Phi) = \sum_{i=1}^n \left( \frac{\{y_i - f(x_i, \hat{\beta}^{(0)})\}^2}{\sigma^2 g^2\{f(x_i, \beta^{(0)}), z_i, \Phi\}} + \log [\sigma^2 g^2\{f(x_i, \beta^{(0)}), z_i, \Phi\}] \right) \quad (12)$$

Tecnicamente, a minimização de (12) significa a maximização da verossimilhança em  $\beta(0)$ . Para a minimização da expressão (12), por iteração, é necessário o conhecimento de  $\Phi$ . Alguns métodos de estimativa desse parâmetro podem ser encontrados em Carroll & Ruppert (1988), citados por Calegario et al. (2005a). De acordo com estes autores, independente da variância e da sua função  $g(\cdot)$ , a minimização em (12) implica em minimização das somas de quadrados dos erros.

$$\sum_{i=1}^n \{y_i - f(x_i, \hat{\beta}^{(0)})\}^2 \quad (13)$$

Quanto mais apropriados os valores estimados da variância e da sua função  $g(\cdot)$ , menor a soma do quadrado dos erros.

## 5.6 Medidas de acurácia do modelo

As medidas de acurácia utilizadas foram o erro padrão residual (EPR), o critério de informação de Akaike (CIA) (Sakamoto et al., 1986) e o critério de informação bayesiano (CIB) (Schwarz, 1978). Esses critérios são estimados com as seguintes expressões:

$$\begin{aligned} CIA &= -2 \log(MV) + 2n_{par} \\ CIB &= -2 \log(MV) + n_{par} \log(N) \end{aligned} \quad (14)$$

Em que:  $MV$  = valor da máxima verossimilhança;  $n_{par}$  = número de parâmetros no modelo. Menores valores para ambos os critérios implicam em melhor ajuste.

Para a seleção do melhor modelo foi utilizado o Teste da razão da Máxima Verossimilhança (Calegario et al., 2005a; Mendes et al., 2006), o qual é dado pela seguinte expressão:

$$TRMV = 2 \ln \left( \frac{MV_2}{MV_1} \right) = 2 [\ln(MV_2) - \ln(MV_1)] \quad (15)$$

em que:

$TRMV$  = teste da razão da máxima verossimilhança;

$\ln(.)$  = logaritmo natural;

$MV_2$  = máxima verossimilhança para o modelo geral;

$MV_1$  = máxima verossimilhança para o modelo restrito;

A máxima verossimilhança é uma função de parâmetros e é dada pela seguinte expressão:

$$MV(\beta) = \prod_{i=1}^n f(x_i; \beta) \quad (16)$$

### 5.7 Método de ajuste e análise estatística

A estimação dos parâmetros dos modelos, apresentados na Tabela 11, foi ajustada pelo método de quadrados mínimos ordinários, considerando o algoritmo iterativo de Gauss-Newton. Utilizaram-se como recurso computacional o ambiente de programação estatística e o gráfico **R**<sup>®</sup> versão 2.9.0 [2009-04-17], por meio das funções **gnls** (quadrado mínimo não-linear

generalizado) do pacote **nlme** (modelos não-lineares de efeito misto), ambos para a inclusão de covariantes e para a modelagem da heteroscedasticidade.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Seleção do melhor modelo

Como se observa pelos dados da Tabela 12, ambos os modelos utilizados para explicar a variação do volume em função do DAP e da altura comercial tiveram significância nos parâmetros ( $valor-p > 0,001$ ) e apresentaram erro padrão residual baixos. Sendo assim, qualquer um poderia ser utilizado para a estimativa do volume comercial em função do DAP e da altura comercial. Entretanto, considerando as correlações entre os pares de parâmetros para os modelos avaliados, verifica-se que as correlações entre os pares de parâmetros são menores para Schumacher & Hall, indicando que a presença dos parâmetros se faz necessária e que o modelo não possui um número excessivo de parâmetros. Portanto, decidiu-se pelo modelo de Schumacher & Hall (modelo original), devido ao fato de ele relacionar o volume ao diâmetro (dap) e altura comercial (hc). Por conseguinte, o modelo de Schumacher & Hall foi utilizado para a complementação da modelagem.

TABELA 12 Estimativas e correlações para os dois modelos utilizados na representação da variação do volume, em função do DAP.

Parâmetro estimado	Estimativas					Correlações	
	Valor	Erro padrão	GL	Valor - t	Valor - p	$\beta_1$	$\beta_2$
<b>Modelo de Spurr (E.P.R. = 0,3345513 m<sup>3</sup>)</b>							
$\beta_0$	0,8142907	0,01021832	381	79,68927	< 0,001	-0,982	---
$\beta_1$	0,9828498	0,00498611	381	197,11755	< 0,001	X	---
<b>Modelo de Schumacher &amp; Hall (E.P.R. = 0,3378538 m<sup>3</sup>)</b>							
$\beta_0$	0,8103290	0,03139003	380	25,81485	< 0,001	0,012	-0,996
$\beta_1$	1,9624910	0,01065726	380	184,14593	< 0,001	X	0,045
$\beta_2$	0,9841944	0,01340531	380	73,41823	< 0,001	X	X

## 6.2 Inclusão de covariantes ao modelo

Partindo do pressuposto de que o volume não é apenas explicado pelo diâmetro e altura, outras variáveis foram incluídas, tornando o modelo com uma característica mais prática de utilização. Portanto, os parâmetros do modelo original de Schumacher & Hall foram decompostos e estimados com a inclusão de covariantes como diâmetro quadrático ( $Dq$ ) e área transversal ( $g$ ), como mostrado pela expressão abaixo:

$$\beta_j = \beta_{j0} + (\beta_{ji} Dq_i + \beta_{ji} g_i) + \varepsilon_i \quad (17)$$

em que:

$\beta_j$  = valor final do parâmetro ( $\beta_0$  para  $j=0$ ;  $\beta_1$  para  $j=1$ ; e  $\beta_2$  para  $j = 2$ );

$\beta_{j0}$  = valor do intercepto para o  $j$ -th parâmetro;

$\beta_{ji} Dq_i$ ;  $\beta_{ji} g_i$  = efeitos associados ao diâmetro quadrático por parcela ( $Dq$ ) e a área transversal individual ( $g$ ), respectivamente, para o  $j$ -th parâmetro.

O modelo final (modelo completo), após a seleção das variáveis significativas associadas a cada parâmetro, teve a seguinte forma:

$$vc_i = \beta_{00} + (\beta_{0i} g_i) \times DAP^{\beta_{10} + (\beta_{1i} Dq_i + \beta_{1i} g_i)} \times HC^{\beta_{20} + (\beta_{2i} Dq_i)} + \varepsilon_i \quad (17.1)$$

Após análise, as variáveis que contribuíram para explicar a variação do volume comercial estão listadas na Tabela 13 e os seus valores encontram-se na Tabela 14. Pode ser verificado em (17.1) que apenas o parâmetro  $\beta_1$  foi influenciado significativamente por todas as variáveis. Os parâmetros  $\beta_0$  e  $\beta_2$  tiveram influências significativas apenas da área transversal ( $g$ ) e diâmetro quadrático ( $Dq$ ), respectivamente. Ao final, a redução do erro padrão residual

com a inclusão das covariantes implicou na melhoria do ajuste em 8,89% (de 0,3378 m<sup>3</sup> para 0,3077 m<sup>3</sup>), como também mostrado na Tabela 15.

TABELA 13 Teste F para os parâmetros significativos para o modelo volumétrico de Schumacher & Hall.

Parâmetro	Variável associada ao parâmetro	G.L.N	G.L.D	Valor de F	Valor da probabilidade > F
$\hat{\beta}_0$	Intercepto	1	376	2478395,5	<,0001
	g	1	376	130702,5	<,0001
$\hat{\beta}_1$	Intercepto	1	376	1827,6	<,0001
	Dq	1	376	27,9	<,0001
	g	1	376	241,1	<,0001
$\hat{\beta}_2$	Intercepto	1	376	6133,8	<,0001
	Dq	1	376	13,8	0,6693

em que: G.L.N. = grau de liberdade do numerador; GLD = grau de liberdade do denominador. Dq = diâmetro quadrático por parcela em cm; g = área transversal individual em m<sup>2</sup>.

TABELA 14 Parâmetros estimados para o modelo completo com suas respectivas estatísticas.

Parâmetro	Termo adicionado ao parâmetro	Valor	Erro padrão	G.L.	Valor de t	p-value
$\hat{\beta}_0$	Intercepto	0,4729701	0,09059314	376	5,22025	0,0000
	g	0,4940422	0,11184777	376	4,41709	0,0000
$\hat{\beta}_1$	Intercepto	1,1519496	0,17767050	376	6,48363	0,0000
	Dq	0,0054771	0,00211731	376	2,58681	0,0101
	g	-0,6811016	0,05709003	376	-11,93031	0,0000
$\hat{\beta}_2$	Intercepto	0,9060530	0,02240606	376	40,43785	0,0000
	Dq	0,0008683	0,00023366	376	3,71605	0,0002

Dq = diâmetro quadrático por parcela, em cm; g = área transversal individual, em m<sup>2</sup>.

Entre os modelos observados, o modelo completo apresentou desempenho melhor, gerando um valor de 75,43 para o teste da razão da máxima verossimilhança (TRMV), com um valor significativo de probabilidade para a distribuição  $\chi^2$ , com 8 - 4 = 4 graus de liberdade, como mostrado na Tabela 15,

que também apresenta a diferença entre os dois modelos no processo de modelagem. Os menores valores dos critérios de informação de Akaike (AIC) e bayesiano (BIC) e o maior valor do logaritmo da máxima verossimilhança indicam que o modelo completo ajuda a entender melhor o comportamento da variável de interesse (volume comercial), quando comparado ao modelo simples, o que é confirmado pelo valor reduzido do  $valor-p < 0,0001$ .

TABELA 15 Estatística comparativa entre os modelos simples de Schumacher & Hall e o completo com a inclusão de covariantes.

Modelo	EPR (m <sup>3</sup> )	GL	CIA	CIB	Log MV	TRMV	Valor - p
1 - Original	0,3378	4	260,676	276,468	-126,33	---	---
2 - Completo	0,3077	8	193,241	224,825	-88,62	1 vs 2 = 75,43	<,0001

em que: EPR = erro padrão residual; GL = grau de liberdade; CIA = critério de informação de Akaike; CIB = critério de informação bayesiano; LogMV = logaritmo da máxima verossimilhança; TRMV = teste da razão da máxima verossimilhança; Valor-p = valor da probabilidade acima do valor do qui-quadrado calculado.

### 6.3 Modelagem da heterogeneidade de variância

Após melhorar precisão do modelo com o auxílio da técnica de decomposição dos parâmetros, procedeu-se a modelagem da estrutura da heterogeneidade da variância, considerando esta dentro de diferentes grupos (espécies).

A presença de heterogeneidade de variância, como é o caso particular da base de dados representada na Figura 7, viola a pressuposição associada a esta característica para os modelos lineares e não lineares. Dessa forma, a modelagem da estrutura da matriz de variância seria o mais indicado para se remediar tal violação.

Na Figura 8 é mostrada a distribuição dos resíduos antes da modelagem da heterogeneidade da variância, apresentado pelo modelo homoscedástico (modelo original). Este foi corrigido pelo modelo heteroscedástico, o qual

apresentou uma distribuição mais homogênea para os diferentes valores ajustados e que não viola as pressuposições básicas para os modelos não lineares clássicos.

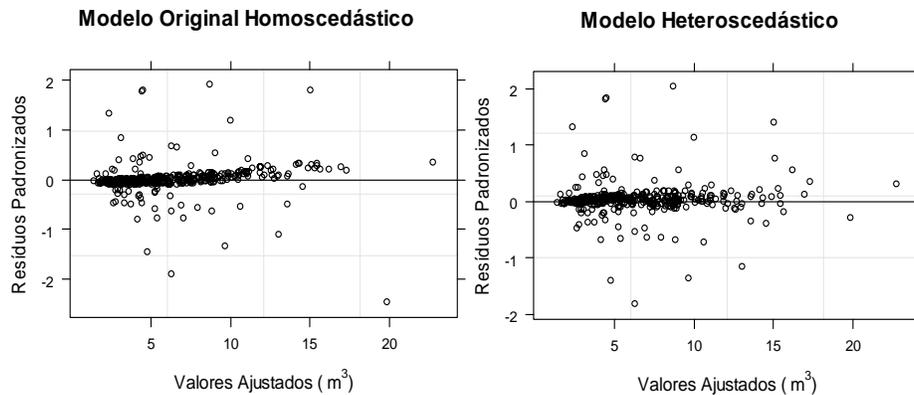


FIGURA 8 Distribuição dos resíduos padronizados antes e após a modelagem da heterogeneidade da variância para os modelos homoscedástico e heteroscedástico de Schumacher & Hall.

O comportamento dos resíduos padronizados versus os valores estimados de volume comercial para o modelo original na sua forma homoscedástica por grupos de espécies e após a correção da heterogeneidade de variância (Figura 9) mostra que os resíduos foram sensivelmente melhorados. Para a espécie *Eperua oleifera*, a melhora na distribuição no gráfico de resíduos foi mais homogênea, revelando forte influência da heterogeneidade de variância e a necessidade de corrigir a estrutura de matriz de variância para essa espécie em particular. A comparação entre os modelos de Schumacher & Hall na sua forma homoscedástica (modelo original), esse mesmo modelo após a inclusão de covariantes (modelo homoscedástico completo) e o modelo depois da modelagem da heterogeneidade de variância (modelo heteroscedástico) é apresentada na Tabela 16.

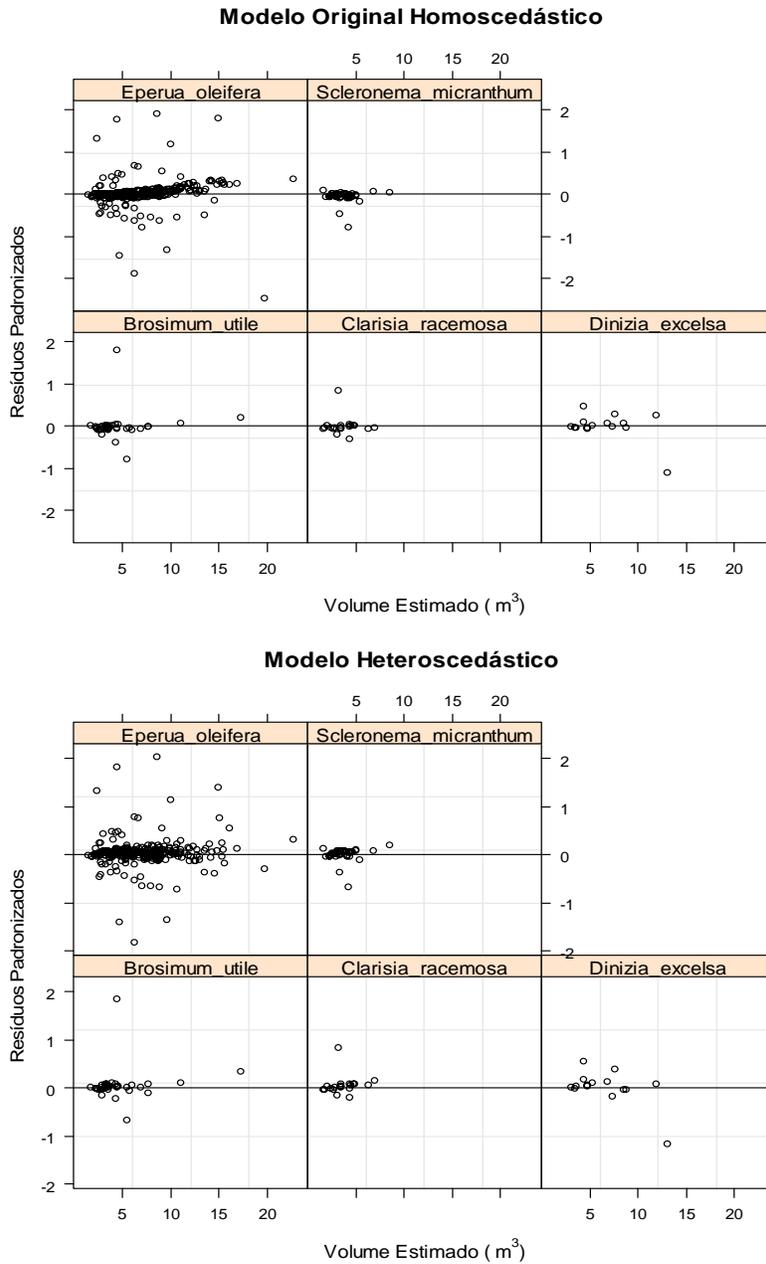


FIGURA 9 Distribuição dos resíduos versus volume comercial estimado para o modelo Homoscedástico dentro de cada grupo (espécies) e sua melhora após a correção da heterogeneidade de variância para o modelo heteroscedástico.

TABELA 16 Comparação entre os modelos original, modelo homoscedástico (completo após inclusão de covariantes) e o modelo heteroscedástico (após correção da heterogeneidade de variância).

<b>Modelo</b>	<b>GL</b>	<b>CIA</b>	<b>CIB</b>	<b>Log MV</b>	<b>TRMV</b>	<b>Valor - p</b>
1 - Homoscedástico original	4	260,676	276,46	-126,33	---	---
2 - Homoscedástico completo	8	193,241	224,82	-88,620	1 vs 2 = 75,43	< ,0001
3 - Heteroscedástico	18	131,749	202,81	-47,874	2 vs 3 = 81,49	< ,0001

Em que GL = graus de liberdade; EPR = erro padrão residual; CIA = critério de informação de Akaike; CIB = critério de informação bayesiano; LogMV = logaritmo da máxima verossimilhança; TRMV = teste da razão da máxima verossimilhança; Valor - p = valor da probabilidade acima do valor do qui-quadrado calculado.

Observa-se, tanto para os critérios de informação estatística (Akaike e bayesiano – quanto menor melhor) quanto para o logaritmo da máxima verossimilhança (quanto maior melhor), que o modelo heteroscedástico obteve o melhor desempenho, gerando um valor de probabilidade altamente significativo. Outra característica positiva do modelo heteroscedástico foi a redução do erro padrão residual em 99,29%, o que implica na melhora da qualidade do ajuste.

## 7 CONCLUSÕES

O modelo não linear de Schumacher & Hall foi o que apresentou melhor desempenho para a base de dados do estudo, com menores correlações entre os parâmetros estimados, indicando a não presença de excesso de parâmetros no modelo;

A inclusão de covariantes ao modelo selecionado de Schumacher & Hall apresentou melhoras significativas na precisão da representação dos dados, quando comparado ao modelo simples.

A distribuição dos resíduos foi sensivelmente melhorada com o modelo heteroscedástico, o qual gerou diferentes precisões nas estimativas da variável resposta.

O uso de estimadores de mínimos quadrados generalizados, o qual considera a estrutura heteroscedástica na estimação dos parâmetros do modelo, se mostrou eficaz, haja vista a redução do valor de probabilidade altamente significativa, assim como o seu erro padrão residual.

O uso da técnica dos modelos não lineares generalizados mostra um elevado potencial na modelagem e no desenvolvimento de modelos biométricos florestais, sobretudo para a Amazônia brasileira.

Esta modelagem afeta diretamente os planos de manejo florestal, de forma a ser elaborado com maior confiabilidade, estimando valores com alto grau de precisão e exatidão para o planejamento florestal.

A não consideração da presença da heterogeneidade da variância em base de dados desta natureza, assim como a utilização de técnicas que consideram estimadores de mínimos quadrados ordinários, poderá acarretar consequências na eficiência do estimador; embora seja não viesado, sua variância não é mínima.

Recomenda-se procurar, sempre, além de um bom ajuste, modelos que possam ter relação com o fenômeno que se está estudando. Apesar dos bons ajustes alcançados, pode-se, para este exemplo, escolher, do ponto de vista biológico, melhores modelos não lineares.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BATES, D. M.; WATTS, F. G. **Nonlinear regression analysis and its applications**. New York: J. Wiley, 1988. 188 p.

BOX, G. E. P.; COX, D. R. An analysis of transformation. **Journal of the Royal Statistical Society, Series B**, London, v. 26, n. 2, p. 211-252, Apr. 1987.

CALEGARIO, N.; CALEGARIO, C. L. L.; MAESTRI, R.; DANIELS, R. Melhoria da qualidade de ajuste de modelos biométricos florestais pelo emprego da teoria dos modelos não lineares generalizados. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 69, p. 38-50, dez. 2005a.

CALEGARIO, N.; DANIELS, R. F.; MAESTRI, R.; NEIVA, R. Desenvolvimento de um modelo linear de efeito misto na estimativa do crescimento e produção de povoamentos clonais de *Eucalyptus*. **Cerne**, Lavras, v. 10, n. 1, p. 67-86, jan./jun. 2004.

CALEGARIO, N.; DANIELS, R. F.; MAESTRI, R.; NEIVA, R. Modeling dominant height growth based on nonlinear mixed-effects model: a clonal *Eucalyptus* plantation case study. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 204, n. 1, p. 11-20, 2005b.

CALEGARIO, N.; MAESTRI, R.; LEAL, C. L.; DANIELS, R. F. Estimativa do crescimento de povoamento de *Eucalyptus* baseada na teoria dos modelos não lineares em multinível de efeito misto. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 3, p. 285-292, 2005c.

DAVIDIAN, M.; GILTINAN, D. M. **Nonlinear models for repeated measurement data**. London: Chapman and Hall, 1995. 359 p.

DIAZ, M. P.; COUTO, H. T. Z. Modelos generalizados para a mortalidade de árvores de *Eucalyptus grandis* no Estado de São Paulo Brasil. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 56, p. 101-111, dez. 1999.

FERREIRA, D. F. **Uso de recursos computacionais utilizando R**. Lavras: UFLA, 2008. 216 p.

GUIMARÃES, P. S. **Ajuste de curvas experimentais**. Santa Maria: UFSM, 2001. 233 p.

MAZUCHELI, J.; ACHCAR, J. A. Algumas considerações em regressão não linear. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 6, p. 1761-1770, nov./dez. 2002.

MENDES, B. R.; CALEGARIO, N.; VOLPATO, C. E. S.; MELLO, A. A. de. Desenvolvimento de modelos de crescimento de árvores individuais fundamentado em equações diferenciais. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 254-263, jul./set. 2006.

PINHEIRO, J. C.; BATES, D. M. **Mixed-effects models in S and Splu**. New York: Springer-Verlag, 2000. 528 p.

RANGEL, M. S.; CALEGARIO, N.; MELLO, A. de; LEMOS, P. C. Melhoria na precisão da prescrição de manejo para floresta natural. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 2, p. 145-156, abr./jun. 2006.

RODRIGUES, S. A.; DINIZ, C. A. R. Modelo de regressão heteroscedásticos. **Revista de Matemática e Estatística**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 133-146, jul./dez. 2006.

SAKAMOTO, Y.; ISHIGURO, M.; KITAGAWA, G. **Akaike information criterion statistics**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1986. 240 p.

SCHWARZ, G. Estimating the dimension of a model. **Annals of Statistics**, New York, v. 6, n. 2, p. 461-464, 1978.