



HAL
open science

Estimativas de biomassa, do índice de área foliar e aplicação do sensoriamento remoto no monitoramento no estudo da cobertura vegetal em áreas de florestas ombrófila aberta e densa na Amazônia

Mabiane Batista França Carreire

► To cite this version:

Mabiane Batista França Carreire. Estimativas de biomassa, do índice de área foliar e aplicação do sensoriamento remoto no monitoramento no estudo da cobertura vegetal em áreas de florestas ombrófila aberta e densa na Amazônia. *Geography*. Université Rennes 2; Université européenne de Bretagne; Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, 2009. Español. NNT : . tel-00462098

HAL Id: tel-00462098

<https://theses.hal.science/tel-00462098>

Submitted on 8 Mar 2010

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITÉ RENNES 2 – UNIVERSITÉ EN CO-TUTELLE
École Doctorale Sciences Humaines et Sociales
Laboratoire COSTEL (Climat et occupation du sol par télédétection) LETG UMR 6554 CNRS
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA – INPA
Programa Integrado em Biologia Tropical e Recursos Naturais - PBTRN
Programa de Pós-Graduação em Ciências de Florestas Tropicais - CFT

**ESTIMATION DE LA BIOMASSA, DE L'INDICE FOLIAIRE ET
L'APPLICATION DE LA TÉLÉDÉTECTION DANS L'ETUDE DE LA
COUVERTURE VEGETALE EN FORÊT OMBROPHILES OUVERTE
ET DENSE EN AMAZONIE**

**ESTIMATIVAS DE BIOMASSA, DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR
E APLICAÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO NO ESTUDO DA
COBERTURA VEGETAL EM ÁREAS DE FLORESTAS OMBRÓFILA
ABERTA E DENSE NA AMAZÔNIA**

THESE DE DOCTORAT

Discipline: GEOGRAPHIE ET SCIENCE DES FORÊT TROPICALES

Présentée par

Mabiane BATISTA FRANÇA CARREIRE

Directeur de thèse : **Vincent DUBREUIL**

Directeur de thèse : **Niro HIGUCHI**

Jury :

Dr. Yosio Shimabukuro – Chercheur, INPE-Bésil (Rapporteur)
Dr. Laurent Durieux - Chercheur, IRD Brasilia-Brésil (Rapporteur)
Dr. Celso Paulo de Azevedo – Chercheur, EMBRAPA-Brésil (Examineur)
Dra. Keilah Mara Barbosa – Chercheur, UVIC-Canada (Examineur)
Dr. Moacir Assis Campo – Chercheur, SIPAM-Brésil (Examineur)
Dr. Vincent Dubreuil – Professeur, Université Rennes 2 (Directeur de thèse)
Dr. Niro Higuchi – Chercheur, INPA-Brésil (Directeur de thèse)

Carreire, Mabiane Batista França

Estimativas de biomassa, do índice de área foliar e aplicação do sensoriamento remoto no monitoramento no estudo da cobertura vegetal em áreas de florestas ombrófila aberta e densa na Amazônia / Mabiane Batista França Carreire --- Manaus : [s.n.], 2009.
203 f. : il.

Tese (Doutorado) -- INPA/UFAM, Manaus, 2009.
Orientadores: Higuchi, Niro e Marchand, Jean-Pierre
Co-orientadores : Walter, Jean-Michel e Dubreuil, Vincent
Área de concentração: Manejo Florestal.

1. Biomassa 2. Composição florística 3. Inventário Florestal 4. Imagens de satélite

CDD

Sinopse: Estudou-se a composição florística e ecológica, a biomassa, o índice de área foliar e o comportamento espectral de florestas primárias, secundárias e manejadas localizadas na região de Alta Floresta-MT e Manaus-AM.

Palavras-chaves: Floresta Tropical, Análise Estrutural, Amazônia, Floresta Primária, Floresta secundária, Floresta manejada e Imagens de satélite.

Ao meu marido Bruno;
Ao meu filho Max William;
Aos meus pais Mábio e Maria do Rosário;
Aos meus irmãos Fabiane e Flamarion;

DEDICO

v

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ser a minha Força e Luz que me guia.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA, pela oportunidade de realização do Curso.

À Université Rennes 2 e especialmente ao Laboratoire COSTEL na França.

Ao Programa Eiffel pela bolsa de estudos.

Aos meus queridos orientadores Dr. Niro Higuchi (INPA), Dr. Vincent Dubreuil (COSTEL), Prof. Jean-Pierre Marchand (COSTEL) e Dr. Jean-Michel Walter (França), pela orientação, amizade, paciência, conhecimento transmitido, sugestões e contribuição ao meu amadurecimento científico no decorrer deste trabalho.

Ao Dr. João Roberto dos Santos (INPE) pelas orientações no trabalho de campo e no préprocessamentos das imagens, muito obrigada pelo pronto atendimento sempre via email.

Ao Dr. Paulo Maurício Lima de Alencastro Graça pela gentileza e orientação no préprocessamento das imagens;

Ao Dr. João Andrade de Carvalho Jr. da Universidade Estadual Paulista e Dr. Ernesto Alvarado do College of Forest Resources, University of Washington, pelo apoio de campo na Fazenda Caiabi em Alta Floresta, e por disponibilizar as áreas do Projeto multidisciplinar: “Combustão de Material de Diferentes Tamanhos em Queimadas de Florestas Tropicais” – FAPESP/INPE/UNESP/Forest Service Department of Agriculture/Universidade de Washington/UNB/INPA.

Ao amigo José Carlos dos Santos do Lab. de Combustão e Propulsão-LCP (INPE) pela doação de Imagens Landsat e pela grande ajuda no campo de Alta Floresta-MT.

Aos professores e colegas do curso de Pós-Graduação em Ciências de Florestas Tropicais do INPA;

Aos amigos e colegas do laboratório COSTEL: Damien, Rémy, Vincent, Samuel, Morgana, Brice, pela convivência, ajuda e amizade durante o curso.

À minha querida amiga Mouna Mokrani, pelo carinho, amizade e apoio emocional durante o curso.

Aos amigos do laboratório de Manejo do INPA: Adriano, Vilany, Liliane, Fabiana, Romeu, Roseana, Alberto, Lydiane, Lilian pela amizade e ajuda na coleta de dados em Manaus.

Aos técnicos da ZF-2: Bertran, Sebastião, Manuel Francisco, Sérgio, Chicó, Paulinho, Zezão, Bico, Aroldo, Alquimar, Quintanilha, Jesus, Armando e em especial ao Pedro que com sua alegria, motivação e conhecimentos de campo me ajudaram a realizar esta pesquisa.

Ao Joãozinho, meu amigo e companheiro de campo na Fazenda Caiabi, muito obrigada pela sua ajuda e amizade nos trabalhos de campo.

Aos amigos da Fazenda Caiabi e em especial a dona Ana, que me acolheu como muito carinho.

As minhas queridas amigas mexicanas Olimpya Aguirre e Mara Iraís pela amizade, companheirismo e ajuda no campo de Alta Floresta.

Aos meus amigos Anne Caroline, Kikue Muroya, Lucia Handa, Dayson, Lilian e Yeda pelo apoio e incentivo durante a realização deste trabalho.

Ao meu marido Bruno pelo amor, carinho, compreensão e apoio emocional nos momentos difíceis.

Ao meu bebê Max William que com seu sorriso irradiava os meus dias.

Em especial aos meus pais e irmãos pelo apoio e orações cujas palavras minhas jamais poderão expressar meu agradecimento e admiração.

A todos meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|-------|
| | LISTA DE FIGURAS | x |
| | LISTA DE FIGURAS | xvi |
| | LISTA DE QUADROS | xx |
| | RESUMO | xxi |
| | RÉSUMÉ | xxiii |
| | ABSTRACT | xxv |
| 1. | INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. | OBJETIVOS | 3 |
| | OBJETIVO GERAL | 3 |
| | Objetivos específicos | 4 |
| 3. | HIPOTESES | 4 |
| 4. | MATERIAL E MÉTODOS | 5 |
| 4.1. | Caracterização da área de estudo na Amazônia Central | 5 |
| 4.1.1. | Localização da área | 5 |
| 4.1.2. | Clima | 14 |
| 4.1.3. | Solos | 14 |
| 4.1.4. | Vegetação | 14 |
| 4.2. | Caracterização da área de estudo no Estado do Mato Grosso | 15 |
| 4.2.1. | Localização da área na região de Alta Floresta | 15 |
| 4.2.2. | Clima | 22 |
| 4.2.3. | Solos | 22 |
| 4.2.4. | Vegetação | 22 |
| 4.3. | Coleta de Dados | 22 |
| 4.4. | Análise da estrutura horizontal | 24 |
| 4.5. | Análise de diversidade | 24 |
| 4.6. | Estimativas das variáveis biométricas | 25 |
| 4.7. | Determinação do Índice de Área Foliar utilizando fotografias hemisféricas | 27 |
| 4.8. | Sensoriamento Remoto | 34 |
| 4.8.2. | Processamento digital das imagens | 36 |
| 4.8.2.1. | Correção Geométrica | 37 |

| | | |
|----------|--|-----|
| 4.8.2.2. | Correção atmosférica | 38 |
| 4.8.2.3. | Correção Radiométrica | 41 |
| 4.8.2.4. | Índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) | 44 |
| 4.8.2.5. | Índice de vegetação ajustado para efeito do solo (SAVI) | 44 |
| 4.8.2.6. | Modelo Linear de Mistura espectral | 45 |
| 4.8.3. | Obtenção dos valores digitais nas imagens e derivadas | 46 |
| 4.9 | Análise estatística | 46 |
| 5. | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 47 |
| 5.1 | Composição florística e análise estrutural de uma floresta secundária e primária na Amazônia matogrossense (Região de Alta Floresta) | 47 |
| 5.1.1. | Composição florística | 47 |
| 5.1.2. | Parâmetros dendrométricos | 52 |
| 5.1.3. | Estrutura horizontal | 58 |
| 5.1.4. | Análise de diversidade de Shannon | 62 |
| 5.2 | Composicao florística e análise estrutural em floresta primária, secundária e explorada na Amazônia Central | 63 |
| 5.2.1. | Composição florística | 63 |
| 5.2.2. | Parâmetros dendrométricos | 78 |
| 5.2.3. | Estrutura horizontal | 90 |
| 5.2.4. | Análise de diversidade de Shannon | 99 |
| 5.3. | Estimativas do índice de área foliar (IAF) e abertura do dossel em áreas de floresta primária e secundária na Amazônia Central e Matogrossense | 100 |
| 5.3.1. | Região de Alta Floresta – MT | 100 |
| 5.3.2. | Região de Manaus-AM | 110 |
| 5.3.3. | Floresta explorada experimentalmente na região de Manaus-Am) | 121 |
| 5.4. | Uso do satélite Landsat 5 TM e 7 ETM + na caracterização da floresta ombrófila aberta (primária e secundária) e floresta tropical densa (primária, secundária e explorada) na Amazônia Matogrossense e Central | 130 |
| 5.4.1. | Pré-processamento | 130 |
| 5.4.1.1. | Correção geométrica | 130 |
| 5.4.1.2. | Correção Atmosférica | 130 |

| | | |
|----------|---|-----|
| 5.4.1.3. | Normalização Radiométrica | 131 |
| 5.4.2. | Índices de vegetação para áreas de capoeira e floresta primária na região de Alta Floresta e Manaus | 134 |
| 5.4.3. | Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) para região de Alta Floresta (MT) e Manaus (AM) | 138 |
| 5.4.4. | Série temporal de imagens (Manaus-AM) | 146 |
| 5.4.4.1. | Índices de vegetação | 146 |
| 5.4.4.2. | Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) para região de Manaus-AM | 151 |
| 6. | RESUMO DOS RESULTADOS | 160 |
| 7. | CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS | 163 |
| 8. | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 167 |
| | ANEXO 1 | 176 |
| | ANEXO 2 | 180 |

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-----------|---|----|
| Figura 1 | LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO NA REGIÃO DE MANAUS (AM): a) Amazônia brasileira; b) Localização da Estação Experimental de Silvicultura Tropical do Inpa (Manaus-Am), Banda 3, 5 e 4 (RGB) LANDSAT 5 TM (30/06/2006); c) Localização das unidades amostrais, Banda 3, 4 e 5 (RGB). | 6 |
| Figura 2 | Área FS-4 com 11 anos de idade. | 7 |
| Figura 3 | Área ZF-S26 com 23 anos de idade. | 8 |
| Figura 4 | Área FS-9 com 30 anos de idade. | 8 |
| Figura 5 | Localização dos blocos experimentais do manejo florestal na bacia 3, reserva ZF-2. | 9 |
| Figura 6 | Floresta primária (testemunha ou controle) sub-bloco B1T0 (a), sub-bloco B2T0 (b) e sub-bloco B4T0 (c), dezenove anos após a exploração. | 10 |
| Figura 7 | Floresta explorada (25% da área basal) sub-bloco B1T1 (a), sub-bloco B2T1 (b) e sub-bloco B4T1 (c), dezenove anos após a exploração. | 11 |
| Figura 8 | Unidade amostral do Bloco 2 Tratamento T2. | 12 |
| Figura 9 | Floresta explorada (75% da área basal) sub-bloco B1T3 (a), sub-bloco B2T3 (b) e sub-bloco B4T3 (c), dezoito anos após a exploração. | 13 |
| Figura 10 | Mapa do município de Alta Floresta (MT) e da Fazenda Caiabi. | 16 |
| Figura 11 | LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO NA REGIÃO DE ALTA FLORESTA-MT: a) Estado do Mato Grosso; b) Localização do município de Alta Floresta, banda 3, 5 e 4 (RGB) LANDSAT 5 (12/06/2004); c) Localização das unidades amostrais na Fazenda Caiabi, banda 3, 4 e 5 (RGB) LANDSAT 5. | 17 |
| Figura 12 | Unidade amostral FS-A com 8 anos de idade. | 18 |
| Figura 13 | Unidade amostral FS-B com 8 anos de idade. | 19 |
| Figura 14 | Unidade amostral FS-D com 5 anos de idade. | 20 |
| Figura 15 | Unidade amostral FS-E com 5 anos de idade. | 20 |
| Figura 16 | Unidade amostral FP-H. | 21 |
| Figura 17 | Unidade amostral FP-I. | 21 |

| | | |
|-----------|---|----|
| Figura 18 | Desenho esquemático das amostras. | 24 |
| Figura 19 | Características da projeção do hemisfério sobre um plano (Rich, 1990). | 28 |
| Figura 20 | Localização dos fotosites nas sub-amostras. | 28 |
| Figura 21 | Fotografia hemisférica do fotosite “FP-H” da floresta primária ombrófila aberta (Alta Floresta). | 29 |
| Figura 22 | Análise da imagem hemisférica projetada no plano horizontal, “projeção polar” (Walter, 2008). | 32 |
| Figura 23 | Esquema das etapas da retificação radiométrica. | 43 |
| Figura 24 | Número de espécies e indivíduos por família na floresta secundária com 5 anos de idade (FS-D). | 47 |
| Figura 25 | Número de espécies e indivíduos por família na floresta secundária com 5 anos de idade (FS-E). | 48 |
| Figura 26 | Número de espécies e indivíduos por família na floresta secundária com 8 anos de idade (FS-A). | 49 |
| Figura 27 | Número de espécies e indivíduos por família na floresta secundária com 8 anos de idade (FS-B). | 50 |
| Figura 28 | Número de espécies e indivíduos por família na floresta primária (FP-H). | 51 |
| Figura 29 | Número de espécies e indivíduos por família na floresta primária (FP-I). | 52 |
| Figura 30 | Número total de indivíduos por classe de diâmetro nas áreas de capoeiras. | 53 |
| Figura 31 | Número total de indivíduos por classe de diâmetro nas áreas de floresta primária (MT). | 54 |
| Figura 32 | Área basal total por hectare dentro de cada estágio sucessional na região de Alta Floresta (MT). | 55 |
| Figura 33 | Volume total por hectare em cada estádios sucessional na região de Alta Floresta (MT). | 56 |
| Figura 34 | Biomassa seca total por hectare nos diferentes estádios sucessionais na região de Alta Floresta (MT). | 57 |
| Figura 35 | Número de espécies e indivíduos por família na floresta secundária com 11 anos de idade. | 63 |

| | | |
|-----------|--|----|
| Figura 36 | Número de espécies e indivíduos por família na floresta secundária com 23 anos de idade. | 65 |
| Figura 37 | Número de espécies e indivíduos por família na floresta secundária com 30 anos de idade. | 65 |
| Figura 38 | Número de espécies e indivíduos por família na floresta primária (B1T0). | 67 |
| Figura 39 | Número de espécies e indivíduos por família na floresta primária (B2T0). | 68 |
| Figura 40 | Número de espécies e indivíduos por família na floresta primária (B4T0). | 69 |
| Figura 41 | Número de espécies e indivíduos por família na floresta explorada (B1T1). | 70 |
| Figura 42 | Número de espécies e indivíduos por família na floresta explorada (B2T1). | 71 |
| Figura 43 | Número de espécies e indivíduos por família na floresta explorada (B4T1). | 72 |
| Figura 44 | Número de espécies e indivíduos por família na floresta explorada (B1T2). | 73 |
| Figura 45 | Número de espécies e indivíduos por família na floresta explorada (B2T2). | 74 |
| Figura 46 | Número de espécies e indivíduos por família na floresta explorada (B4T2). | 75 |
| Figura 47 | Número de espécies e indivíduos por família na floresta explorada (B1T3). | 76 |
| Figura 48 | Número de espécies e indivíduos por família na floresta explorada (B2T3). | 77 |
| Figura 49 | Número de espécies e indivíduos por família na floresta explorada (B4T3). | 78 |
| Figura 50 | Número total de indivíduos por classe de diâmetro nas áreas de capoeiras. | 80 |
| Figura 51 | Número total de indivíduos por classe de diâmetro nas áreas de floresta primária (AM). | 81 |
| Figura 52 | Número total de indivíduos por classe de diâmetro nas áreas explorada. | 81 |

| | | |
|-----------|---|-----|
| Figura 53 | Área basal total por hectare dentro de cada estágio sucessional. | 83 |
| Figura 54 | Área basal total por hectare das áreas manejadas experimentalmente. | 83 |
| Figura 55 | Volume total por hectare em cada estágio sucessional. | 85 |
| Figura 56 | Volume total por hectare nas áreas manejadas experimentalmente. | 86 |
| Figura 57 | Biomassa seca total por hectare nos diferentes estágios sucessionais. | 87 |
| Figura 58 | Biomassa seca total por hectare nas áreas manejadas experimentalmente sob diferentes intensidades de corte (baixo “25%”, médio “50%” e alto “75%”). | 88 |
| Figura 59 | Mapeamento do Índice de Área Foliar (IAF) e da Abertura do dossel (AD) da floresta secundária na região de Alta Floresta-MT: (a) FS-D com 5 anos de idade e (b) FS-E com 5 anos de idade. | 106 |
| Figura 60 | Mapeamento do Índice de Área Foliar (IAF) e da Abertura do dossel (AD) da floresta secundária na região de Alta Floresta-MT: (c) FS-A com 8 anos de idade e (d) FS-B com 8 anos de idade. | 107 |
| Figura 61 | Mapeamento do Índice de Área Foliar (IAF) e da Abertura do dossel (AD) da floresta primária na região de Alta Floresta-MT: (e) FP-H e (f) FP-I. | 108 |
| Figura 62 | Relação entre o IAF e os estágios sucessionais na região de Alta Floresta (MT) e Manaus (AM) na Amazônia. | 114 |
| Figura 63 | Mapeamento do índice de área foliar (IAF) e abertura do dossel (AD) da floresta secundária da região de Manaus-AM: (a) FS-4 com 11 anos de idade e (b) FS-Z26 com 23 anos de idade. | 115 |
| Figura 64 | Mapeamento do índice de área foliar (IAF) e abertura do dossel (AD) da floresta secundária da região de Manaus-AM: (c) FS-9 com 30 anos de idade e (d) T0 (controle). | 116 |
| Figura 65 | Histograma de frequência da variável luz (abertura do dossel estimada pelas fotografias hemisféricas) nas florestas secundárias (capoeiras). | 119 |
| Figura 66 | Histograma de frequência da variável luz (abertura do dossel estimada pelas fotografias hemisféricas) nas florestas primárias. | 120 |
| Figura 67 | Relação entre o IAF e os tratamentos explorados experimentalmente na região de Manaus (AM).T0 (controle); T1 (25%); T2 (50%) e T3 (75%). | 124 |
| Figura 68 | Mapeamento do índice de área foliar (IAF) e abertura do dossel (AD) nas áreas de floresta explorada na região de Manaus-AM: (a) B4T1 (25%) e (b) B4T2 (50%). | 125 |

| | | |
|-----------|---|-----|
| Figura 69 | Mapeamento do índice de área foliar (IAF) e abertura do dossel (AD) nas áreas de floresta explorada e não explorada na região de Manaus-AM: (c) B4T3 (75%) e (d) B4T0 (Testemunha). | 126 |
| Figura 70 | Histograma de frequência da variável luz (abertura do dossel estimada pelas fotografias hemisféricas) nos quatro tratamentos: T0-controle, T1-25% explorado, T2-50% explorado e T3-75% explorado. | 129 |
| Figura 71 | Curva do NDVI nos estádios sucessionais na região de Alta Floresta e Manaus. | 135 |
| Figura 72 | Curva do SAVI (L=0,5 e 0,25) nos estádios sucessionais na região de Alta Floresta e Manaus. | 136 |
| Figura 73 | Curvas de reflectância para os componentes puros MLME para região de Alta Floresta. | 138 |
| Figura 74 | Amostra das imagens-fração do Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) para Alta Floresta (fazenda Caiabi) e Manaus. | 140 |
| Figura 75 | Composição colorida das imagens fração de 2004 (a) e 2005 (c) (R=solo, G=vegetação e B= sombra). | 141 |
| Figura 76 | Composição colorida das imagens- fração de 2006 (R=solo, G=vegetação e B= sombra). | 142 |
| Figura 77 | Curva resultante da imagem fração vegetação nos diferentes estádios sucessionais na região de Alta Floresta e Manaus. | 143 |
| Figura 78 | Curva resultante da imagem fração sombra nos diferentes estádios sucessionais na região de Alta Floresta e Manaus. | 144 |
| Figura 79 | Análise temporal do NDVI nos tratamentos exploradas e testemunha em Manaus-AM. | 147 |
| Figura 80 | Análise temporal do SAVI (L=0,25) nos tratamentos explorados e testemunha em Manaus-AM. | 148 |
| Figura 81 | Análise temporal do SAVI (L=0,5) nos tratamentos explorados e testemunha em Manaus-AM. | 148 |
| Figura 82 | Curvas de reflectância para os componentes puros MLME para região de Manaus - AM. | 151 |
| Figura 83 | Amostra das imagens-fração do Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) para a série temporal de Manaus. | 153 |

| | | |
|-----------|--|-----|
| Figura 84 | Composição colorida das imagens fração de 1989 (a), 1992 (b) e 1997 (c) (R=solo, G=vegetação e B= sombra). | 155 |
| Figura 85 | Análise temporal da imagem fração-vegetação nos tratamentos explorados e testemunha em Manaus-AM. | 156 |
| Figura 86 | Análise temporal da imagem fração-sombra nos tratamentos explorados e testemunha em Manaus-AM. | 158 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|-----------|---|----|
| Tabela 1 | Características das imagens de satélites utilizadas na pesquisa. | 35 |
| Tabela 2 | Característica espectral e espacial dos sensores TM e ETM+. | 36 |
| Tabela 3 | Erro médio (RMS) das imagens utilizadas no estudo. | 37 |
| Tabela 4 | Valores radiância espectral, $L_{min\lambda}$ e $L_{max\lambda}$ (W / m ² .sr. μ m) Landsat 5 TM. | 40 |
| Tabela 5 | Valores radiância espectral, $L_{min\lambda}$ e $L_{max\lambda}$ (W / m ² .sr. μ m) Landsat 7 ETM+. | 41 |
| Tabela 6 | Valores de irradiância exoatmosférica solar ($E_{Sol\lambda}$) utilizados na transformação dos número digitais (ND) para valores de reflectância aparente. | 41 |
| Tabela 7 | Dados descritivos dos parâmetros dendrométricos por hectare de cada amostras inventariadas. | 52 |
| Tabela 8 | Quadro da Análise de variância (ANOVA) para biomassa seca entre os estádios sucessionais (FS-D, FS-E, FS-A, FS-B, FP-H e FP-I) em Alta Floresta-MT. | 57 |
| Tabela 9 | Matriz de probabilidade de comparação múltipla “Tukey” para biomassa seca. | 58 |
| Tabela 10 | Quadro da Análise de variância (ANOVA) para biomassa seca entre as duas florestas primárias da região de Alta Floresta-MT. | 58 |
| Tabela 11 | Parâmetros fitossociológico das cinco espécies mais representativas de cada unidade amostral inventariadas no município de Alta Floresta-MT (Fazenda Caiabi), por ordem decrescente de valores de IVI. | 61 |
| Tabela 12 | Dados descritivos dos parâmetros dendrométricos por hectare de cada amostras inventariadas. | 79 |
| Tabela 13 | Quadro da Análise de variância (ANOVA) para biomassa seca entre os estádios sucessionais (FS-4, FS-Z26, FS-9, B1T0, B2T0 e B4T0) em Manaus-AM. | 88 |
| Tabela 14 | Matriz de probabilidade de comparação múltipla “Tukey” para biomassa seca. | 89 |

| | | |
|-----------|--|-----|
| Tabela 15 | Quadro da Análise de variância (ANOVA) para biomassa seca entre os estádios sucessionais (FS-4, FS-Z26 e FS-9) em Manaus-AM. | 89 |
| Tabela 16 | Matriz de probabilidade de comparação múltipla “Tukey” para biomassa seca. | 89 |
| Tabela 17 | Quadro da Análise de variância (ANOVA) para biomassa seca entre as florestas primárias da região de Manaus-AM. | 90 |
| Tabela 18 | Quadro da Análise de variância (ANOVA) para biomassa seca entre a floresta primária e explorada da região de Manaus-AM. | 90 |
| Tabela 19 | Quadro da Análise de variância (ANOVA) para biomassa seca entre as florestas exploradas da região de Manaus-AM. | 90 |
| Tabela 20 | Parâmetros fitossociológico das cinco espécies mais representativas de cada unidade amostral inventariadas no município de Manaus-AM, por ordem decrescente de valores de IVI. | 96 |
| Tabela 21 | Estatística descritiva do índice de área foliar (IAF) e abertura do dossel (AD) em cada estágio sucessional na região de Alta Floresta. | 102 |
| Tabela 22 | Estatística descritiva do índice de área foliar (IAF) e abertura do dossel (AD) nas parcelas de floresta primária ombrófila aberta na região de Alta Floresta-MT. | 103 |
| Tabela 23 | Análise de variância (ANOVA) para índice de área foliar entre os estádios sucessionais (FS-A, FS-B, FS-D, FS-E, FP-H e FP-I) em Alta Floresta-MT. | 103 |
| Tabela 24 | Matriz de probabilidade de comparação múltipla “Tukey” para índice de área foliar. | 104 |
| Tabela 25 | Estatística do índice de agrupamento (CI) espacial das folhas para a região de Alta Floresta –MT. | 110 |
| Tabela 26 | Estatística descritiva do índice de área foliar (IAF) e abertura do dossel (AD) em cada estágio sucessional na região de Manaus-AM. | 112 |
| Tabela 27 | Análise de variância (ANOVA) para índice de área foliar entre os estádios sucessionais (FS-4, FS-Z26,FS-9 e B4T0) em Manaus-AM. | 112 |
| Tabela 28 | Matriz de probabilidade de comparação múltipla “Tukey” para índice de área foliar. | 113 |
| Tabela 29 | Quadro da Análise de variância (ANOVA) para índice de área foliar entre os estádios sucessionais de Manaus-AM e Alta Floresta-MT. | 113 |

| | | |
|-----------|--|-----|
| Tabela 30 | Estatística do índice de agrupamento (CI) espacial das folhas para a região de Manaus –AM. | 117 |
| Tabela 31 | Estatística descritiva do índice de área foliar (IAF) e abertura do dossel (AD) nas unidades amostrais exploradas com diferentes intensidades de corte na região de Manaus-AM. | 122 |
| Tabela 32 | Análise de variância (ANOVA) para índice de área foliar entre as florestas exploradas após 19 anos em Manaus-AM. | 122 |
| Tabela 33 | Matriz de probabilidade de comparação múltipla “Tukey” para índice de área foliar. | 123 |
| Tabela 34 | Análise de variância (ANOVA) para índice de área Foliar entre as florestas exploradas após 19 anos e a floresta primária (testemunha) em Manaus-AM. | 123 |
| Tabela 35 | Análise de variância (ANOVA) para Abertura do dossel entre as florestas exploradas após 19 anos e a floresta primária (testemunha) em Manaus-AM. | 123 |
| Tabela 36 | Estatística do índice de agrupamento (CI) espacial das folhas nas áreas manejadas experimentalmente em Manaus-AM. | 127 |
| Tabela 37 | Médias dos pontos de controles (alvos) claros, das imagens referência e retificada em número digital (DN), para a área de Alta Floresta-MT. | 132 |
| Tabela 38 | Médias dos pontos de controles escuros (alvos), das imagens referência e retificada em número digital (DN), para a área de Alta Floresta-MT. | 133 |
| Tabela 39 | Médias dos pontos de controles (alvos) claros, das imagens referência e retificada em número digital (ND), para a área de Manaus-AM. | 133 |
| Tabela 40 | Médias dos pontos de controles escuros (alvos), das imagens referência e retificada em número digital (DN), para a área de Manaus-AM | 134 |
| Tabela 41 | Estatística descritiva dos índices NDVI e SAVI (L=0.5 e L=0.25) em cada estágio sucessional na região de Alta Floresta (MT) e Manaus (AM). | 138 |
| Tabela 42 | Valores do erro médio quadrático (RMS) resultante do MLME. | 139 |

| | | |
|-----------|---|-----|
| Tabela 43 | Estatística descritiva das imagens-fração vegetação e sombra em cada estágio sucessional na região de Alta Floresta (MT) e Manaus (AM). | 145 |
| Tabela 44 | Análise de variância de parcelas repetidas do NDVI. | 149 |
| Tabela 45 | Análise de variância de parcelas repetidas do SAVI (L=0.25). | 150 |
| Tabela 46 | Análise de variância de parcelas repetidas do SAVI (L=0.5). | 150 |
| Tabela 47 | Valores do erro médio quadrático (RMS) resultanted do Modelo para á série temporal. | 152 |
| Tabela 48 | Análise de variância de parcelas repetidas das imagens fração-vegetação. | 158 |
| Tabela 49 | Análise de variância de parcelas repetidas das imagens fração-sombra. | 159 |

LISTA DE QUADROS

| | | |
|----------|--|----|
| Quadro 1 | Equações alométricas para floresta secundária. | 25 |
| Quadro 2 | Equações alométricas para floresta primária. | 26 |
| Quadro 3 | Equação alométrica para o volume com casca. | 27 |

RESUMO

A Amazônia abriga 33% das florestas tropicais do mundo, é a maior e mais diversa floresta tropical do planeta. No entanto, o cenário do desmatamento e da degradação da floresta Amazônica tem sido alvo de interesse mundial, principalmente, devido a contribuição do desmatamento no aumento do aquecimento global. Este estudo foi conduzido na Fazenda Caiabi localizada no município de Alta Floresta (norte do Mato Grosso) e na Estação Experimental de Silvicultura Tropical (EEST/INPA) em Manaus (Amazônia Central). Nesta pesquisa, objetivou-se analisar a estrutura da vegetação, o estoque de biomassa seca, o índice de área foliar (IAF) e o comportamento espectral das florestas ombrófilas aberta e densa. O levantamento de campo foi realizado em três parcelas de floresta primária, nove parcelas de floresta manejada sob diferentes intensidades de corte e sete parcelas de floresta secundária (5, 8, 11, 23 e 30 anos) onde sofreram corte raso seguido de queima e abandonadas sem uso do solo subsequente. Dentro de cada parcela de 1 ha, dividida em 9 subparcelas de 20x20m, foram medidos e identificados todos os indivíduos com DAP \geq 5 cm (floresta secundária) e DAP \geq 10 cm (florestas primária e manejada). Nas subparcelas foram tiradas fotografias hemisféricas a cada 10 m para estimar o IAF. A análise florística mostrou que a vegetação de Alta Floresta tem menor diversidade florística em relação a vegetação de Manaus. O estoque de biomassa e carbono aumenta a medida que o estágio sucessional avança. Em floresta manejada os valores de biomassa foram próximos dos valores da floresta primária, demonstrando que estas áreas recuperaram o estoque original de biomassa, 19 anos após a exploração seletiva. A análise de variância do IAF entre os sítios de Alta Floresta e Manaus demonstraram que há diferenças significativas ($p < 0,01$) entre os estágios sucessionais. No caso da floresta manejada, a análise estatística para o IAF não evidenciou diferenças significativas entre os tratamentos 19 anos após exploração. No processamento das imagens verificou-se que os valores do índice SAVI permitiram observar variações entre os estágios sucessionais. As capoeiras dominadas pelo gênero *Cecropia* apresentaram maiores frações de vegetação. As análises estatísticas para a série temporal das áreas manejadas indicam que o NDVI, SAVI e imagens-fração vegetação e sombra mudam significativamente com o passar do tempo. Porém, as interações entre tratamento*NDVI, tratamento*SAVI, tratamento*fração vegetação e tratamento*fração sombra não variaram significativamente com o passar do tempo.

Palavras-chaves: Floresta Tropical, Análise Estrutural, Amazônia, Floresta Primária, Floresta secundária, Floresta manejada e Imagens de satélite.

RÉSUMÉ

L'Amazonie abrite 33% des forêts tropicales du monde. Elle est la plus grande et la plus diversifiée des forêts tropicales de la planète. Néanmoins, le scénario du déboisement et de la dégradation de la forêt Amazonienne a été l'objet d'un intérêt mondial, principalement en raison de la contribution du déboisement à l'augmentation du réchauffement planétaire. Cette étude a été réalisée dans la fazenda Caiabi localisée à Alta Floresta (nord du Mato Grosso) et dans la Station Expérimentale de Sylviculture Tropicale (EEST/INPA) à Manaus (Amazonie Centrale). Dans cette recherche, l'objectif a été d'analyser la structure de la végétation, le stock de biomasse sèche, l'indice foliaire (IF) et le comportement spectrale des forêts ombrophiles ouverte et dense. L'inventaire de terrain a été réalisé sur trois parcelles de forêt primaire; neuf parcelles de forêt aménagée avec différentes intensités de coupe, et sept parcelles de forêt secondaire (5, 8, 11, 23 et 30 ans) ayant subi une coupe rase suivie d'un brûlis et abandonnées sans utilisation ultérieure. À l'intérieur de chaque parcelle de 1 ha, divisée en 9 sous parcelles de 20 m sur 20, tous les individus ayant un DHP ≥ 5 cm (dans le cas des forêts secondaires) et ayant un DHP ≥ 10 cm (dans le cas des forêts primaires et aménagées) ont été mesurés et identifiés. Dans les sous-parcelles, des photographies hémisphériques ont été prises à des intervalles de 10 m afin d'estimer l'IF. L'analyse floristique a démontré que la végétation d'Alta Floresta est moins diversifiée que la végétation de Manaus. Le stock de biomasse et de carbone augmente au fur et à mesure que les étapes de succession avancent. Dans la forêt aménagée, les valeurs de biomasse ont été proches de celles de la forêt primaire, ce qui démontre que ces zones exploitées ont récupéré le stock originel de biomasse, 19 ans après l'exploitation sélective. L'analyse de variance de l'IF entre les zones d'Alta Floresta et de Manaus montre des différences hautement significatives ($P < 0,01$) entre les étapes de la succession. Cependant, dans le cas des forêts aménagées, les valeurs d'IF ne présentent pas de différences significatives entre les traitements après 19 ans. Le traitement des images nous a montré que les valeurs de l'indice SAVI ont permis d'observer des variations entre les étapes de la succession. Les forêts secondaires dominées par le *Cecropia* ont fourni les indices de végétation les plus élevées. Les analyses statistiques pour la série temporelle des zones aménagées suggèrent clairement que les valeurs du NDVI, du SAVI et des images-fraction de végétation et d'ombre changent au cours du temps. Par contre, les interactions entre le traitement *NDVI, le traitement *SAVI, le traitement *fraction de végétation et le traitement *fraction d'ombre n'ont pas varié significativement avec le temps.

Mots clés: Forêt Tropicale, Analyse Structurale, Amazonie, Forêt Primaire, Forêt secondaire, Forêt aménagée et Images satellite.

ABSTRACT

The Amazon, the largest and most diverse of the tropical forest wilderness areas, shelter 33% of the world's tropical forests. However, the scenario of deforestation and degradation of the Amazon forest has been the subject of worldwide interest, primarily due to the growing contribution of deforestation to global warming. This study was conducted at the Caiabi Farm in Alta Floresta (north of Mato Grosso State) and in the Tropical Forestry Experimental Station (EEST/INPA) in Manaus (Central Amazonia). In this research, the main objectives were the study of the vegetation structure, the stock of dry biomass, the leaf area index (LAI) and the spectral behaviour of the open and dense ombrophilous forests. The field inventory was carried out on 3 samples of primary forest, 9 samples of experimental developed forest with different clear cutting levels and 7 samples of forest in regeneration (5, 8, 11, 23 and 30 years old), which have been cut down and burned, without subsequent use. In each sample of 1 ha, divided into 9 subsamples 20 by 20 m, we have measured and identified, by the vernacular name, all the individuals with DBH \geq 5 cm (in secondary forests), and with a DBH \geq 10 cm (in primary and managed forests). In sub-samples, hemispherical photographs were taken at 10 m-intervals to estimate LAI. The floristic analysis showed that the vegetation of Alta Floresta is less diverse than the vegetation of Manaus. The stock of biomass and carbon increases as the successional stage advances. In the managed forest, biomass values were close to those of primary forest, indicating that these exploited areas recovered the original stock of biomass, 19 years after the selective exploitation. In developed forests, statistical analyses of LAI from Alta Floresta and Manaus areas, suggest also highly significant differences ($p < 0.01$) between the various succession stages. However, in developed forest, statistical analyses of LAI do not present significant differences between treatments after 19 years. Image processing showed us that the SAVI values made it possible to observe variations among the succession stages. The secondary forests dominated by *Cecropia* showed the greatest vegetation indices. Statistical analyses of the temporal series of the developed areas suggested that the NVDI, SAVI values and the images fractions-vegetation and fraction-shade change with time. However, the interactions of treatment*NDVI, treatment*SAVI, treatment*fractions vegetation and treatment*fractions shade do not vary significantly over time.

Keywords: Tropical forest, Structural Analysis, Amazon, Primary Forest, Secondary Forest, Managed Forest and Satellite Image.

1. INTRODUÇÃO

As florestas tropicais têm sido estudadas intensivamente devido a sua importância no ciclo do carbono, por fornecer parâmetros de entrada para modelagem do clima global e pela sua grande diversidade biológica ou biodiversidade. No entanto, estas propriedades estão sendo ameaçadas pelo aumento de desmatamento nestas florestas. Segundo dados da FAO as florestas primárias representam 36% da superfície florestal, entretanto, 6 milhões de hectares são perdidos ou modificados a cada ano (FAO, 2005).

A compreensão do funcionamento das florestas tropicais implica necessariamente no conhecimento de fatores de interação de ecossistemas complexos. Na maioria dos casos, este conhecimento está relacionado à distribuição das espécies, agrupamentos dos vegetais e dos aspectos que constituem a diversidade das formações vegetais tropicais (Puig, 2001).

Com relação as diferentes formações vegetais na Amazônia, estas são diferenciadas, basicamente, por fatores climáticos, especialmente, pelo gradiente pluviométrico Leste-Oeste, o qual apresenta uma amplitude entre 1700 a 4000 mm/ano. Fatores edáficos e bióticos podem também influenciar na estrutura e na composição das florestas (Longman e Jenik, 1987). As formações geológicas e a altitude influenciam igualmente na heterogeneidade das formações vegetais, dos solos e da biodiversidade da Amazônia

A região amazônica cobre 7% da superfície da Terra, sendo uma região de notável riqueza étnica, cultural, florística e faunística. O alto nível de biodiversidade e a grande diferenciação das espécies entre as áreas, são os dois fatores biológicos que assumem um papel importante no futuro da Amazônia e no seu desenvolvimento sustentável. A complexa interação entre espécies e habitats é outro aspecto importante que caracteriza a alta biodiversidade e diferenciação dos habitats na região Amazônica (Commission on development and environment for amazonia, 2002).

As diferentes formações florestais na Amazônia são constituídas de um grande número de espécies, incluindo muitas endêmicas. Entretanto, a biodiversidade das florestas amazônicas está diminuindo ou sendo perdida na medida em que as florestas são cortadas, queimadas e convertidas em pastagens (Fearnside, 1996). As causas do desmatamento são, essencialmente, o uso de métodos tradicionais na abertura de áreas para agricultura, explorações comerciais da madeira e de recursos florestais, instalação de pastagens e explosão demográfica (Mercier, 1991, Alexandre, 1992; Fearnside, 1993; Forget, 1994). Atualmente, há outros incentivadores do desmatamento que podem ainda elevar as taxas do desmatamento,

como por exemplo, a expansão da produção dos biocombustíveis (Nepstad *et al.* 2006, Morton *et al.* 2006).

Na Amazônia brasileira, o desmatamento tem aumentado rapidamente nos últimos anos, transformando grandes áreas de florestas primárias em pastagens e agricultura, que são abandonadas após pouco tempo de uso. Imagens do satélite LANDSAT e de outros satélites analisados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) através do projeto PRODES (Projeto de Estimativas de Desflorestamento Bruto da Amazônia), estimam que a área de floresta desmatada na Amazônia brasileira entre agosto de 2007 e julho de 2008 foi de 11.968 km², 3,8% maior do que no ano anterior (11.532 km²). Os Estados que sofreram maior desmatamento neste período foram: o Pará com 5.180 km² seguido pelo Mato Grosso com uma área desmatada de 3.259 km², Maranhão com 1.085 km² e Rondônia com 1.061 km². Na avaliação do DETER (Detecção de desmatamento em tempo real) constatou que, no período de 2007/2008, 38% de seus alertas corresponderam a corte raso, 48% a degradação florestal (INPE, 2008). No período de 1978 a 2007, o desmatamento médio anual na Amazônia foi de 18.326 km² ± 2.293 (IC 95%) e o acumulado até 2007 era de 677.831 km², segundo Higuchi (2006).

O Brasil não tem tido muito sucesso na prevenção e contenção do desmatamento na Amazônia, apesar de sofisticados sistemas de monitoramento. Recentemente, por exemplo, foi introduzido o Sistema de Alerta de Desmatamento (SAD). De acordo com este sistema, o desmatamento na Amazônia Legal no período de agosto de 2008 a fevereiro de 2009 totalizou 749 km². Em relação ao desmatamento ocorrido no mesmo período do ano anterior, quando o desmatamento totalizou 3.579 km², houve uma redução de 79%. Os Estados do Pará e do Mato Grosso, registraram um desmatamento de 636 e 238 km², respectivamente (Imazon/SAD, 2009).

O desmatamento implica na perda da biomassa presente nos diferentes tipos florestais, nas mudanças da estrutura e dinâmica das florestas e no empobrecimento da biodiversidade. Atualmente, a consequência mais sentida está relacionada com as emissões de gases do efeito estufa (GEE) causadas pelo desmatamento nas regiões tropicais (Ewers *et al.*, 2008). O desmatamento médio anual na Amazônia provoca uma emissão anual para a atmosfera de 229 milhões de toneladas métricas de carbono, que representam quase 80% das emissões brasileiras (Higuchi, 2006).

Por estas razões, torna-se necessário e imperativo conhecer a biomassa de cada tipo florestal, para estimar o estoque de carbono. As estimativas de biomassa são usadas para estimar a quantidade de CO₂ que é liberada para a atmosfera durante o processo de queimadas e de CH₄ no processo de decomposição da biomassa. Da mesma forma, estas informações são

importantes para conhecer a estrutura, a composição e a dinâmica nos diferentes tipos florestais, os quais são parâmetros essenciais na compreensão do processo ligados à fotossíntese, evapotranspiração e produção primária.

Para compreender e modelar os processos que estão ligados à dinâmica e a cobertura florestal, é necessário estudar sua estrutura, a qual é à base de diferentes trocas de massa e energia entre a biosfera e a atmosfera. Por exemplo, a evapotranspiração e o fluxo de carbono entre a biosfera e a atmosfera é comumente expressa em termos do Índice de Área Foliar (IAF) do dossel. Portanto, o interesse de calcular o IAF para uma determinada vegetação tem diversas razões, uma vez que o IAF é considerado como um dos parâmetros de entrada nos modelos ecológicos e climáticos (Sellers *et al.*, 1986; Bonan, 1993). Para melhor entender a dinâmica da floresta tropical e as interações entre floresta e atmosfera, foram investigadas as relações entre a variação espacial do IAF e a abertura do dossel, a biomassa florestal estimada *in situ* em diferentes tipologias florestais.

2. OBJETIVOS

Objetivo Geral

Analisar o índice de área foliar, abertura relativa do dossel, biomassa e outras variáveis biofísicas, assim como, as técnicas de sensoriamento remoto, aplicadas aos satélites Landsat 5 TM e 7 ETM+ na caracterização da floresta ombrófila densa e aberta (primária, manejada e secundária) na Amazônia Central e no Mato Grosso.

Objetivos específicos

- Analisar as composições florísticas das florestas primárias, explorada e secundárias na Amazônia Central e Matogrossense;
- Estimar volume, área basal e biomassa seca acima do nível do solo para cada estágio sucessional (florestas primárias, explorada e secundárias);
- Estimar o estoque de carbono nos diferentes estágios sucessionais.
- Analisar e mapear o índice de área foliar (IAF), abertura relativa do dossel (AD) obtidos e o índice de agrupamento foliar (CI) obtidos pela técnica das fotografias hemisféricas em cada tipologia florestal (floresta ombrófila densa, aberta e floresta em regeneração);

- Avaliar a contribuição das imagens-fração (sombra, vegetação e solo), derivadas de um modelo linear de mistura espectral na caracterização de aspectos estruturais das florestas ombrófila densa, aberta e de florestas em regeneração (capoeiras);
- Relacionar as variáveis digitais (imagens de reflectância, imagens SAVI e imagens-fração (sombra, vegetação e solo)) de cada satélite com as variáveis biofísicas (biomassa seca, área basal, volume e IAF).

3. HIPÓTESES

As hipóteses formuladas neste estudo foram:

- i) Existe relação entre a estrutura do dossel e a biomassa seca em cada tipo de floresta?
- ii) O índice de área foliar (IAF) difere significativamente entre os diferentes estádios sucessionais e, entre os diferentes tratamentos experimentais (T0, T1, T2 e T3)?
- iii) Qual é a taxa de acúmulo de carbono nos diferentes estádios sucessionais?
- iv) As imagens índices NDVI, SAVI e imagens-fração contribuem significativamente na caracterização das florestas densa e aberta (primária, exploradas e secundária)?

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Caracterização da área de estudo na Amazônia Central.

4.1.1. Localização da área

A área escolhida para a realização da presente pesquisa fica localizada na Estação Experimental de Silvicultura Tropical do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (EEST-INPA), núcleos denominados “Sessenta” e “ZF-2” (Figura 1).

O núcleo “Sessenta” localiza-se à margem oeste do quilômetro 45 da Rodovia BR-174, com coordenadas geográficas de 02° 35' 55,5" S a 60° 02' 14,8" O. O núcleo “ZF-2” esta localizada, aproximadamente, 90 km a noroeste de Manaus-AM e tem seu acesso pela BR-174 (Manaus-Boa Vista), km 50, cujas coordenadas geográficas da área são 02° 37' a 02° 38' de latitude S e 60° 09' a 60° 11' de longitude O (Radam-Brasil, 1978, folha AS-20–ZB). A coleta dos dados foi feita em áreas de floresta primária, explorada (ZF-2/Projeto BIONTE) e floresta secundária FS-4 (Sessenta), ZFS26 (ZF-2), e FS-9 (Sessenta) com aproximadamente 11, 23 e 30 anos de idade, respectivamente.

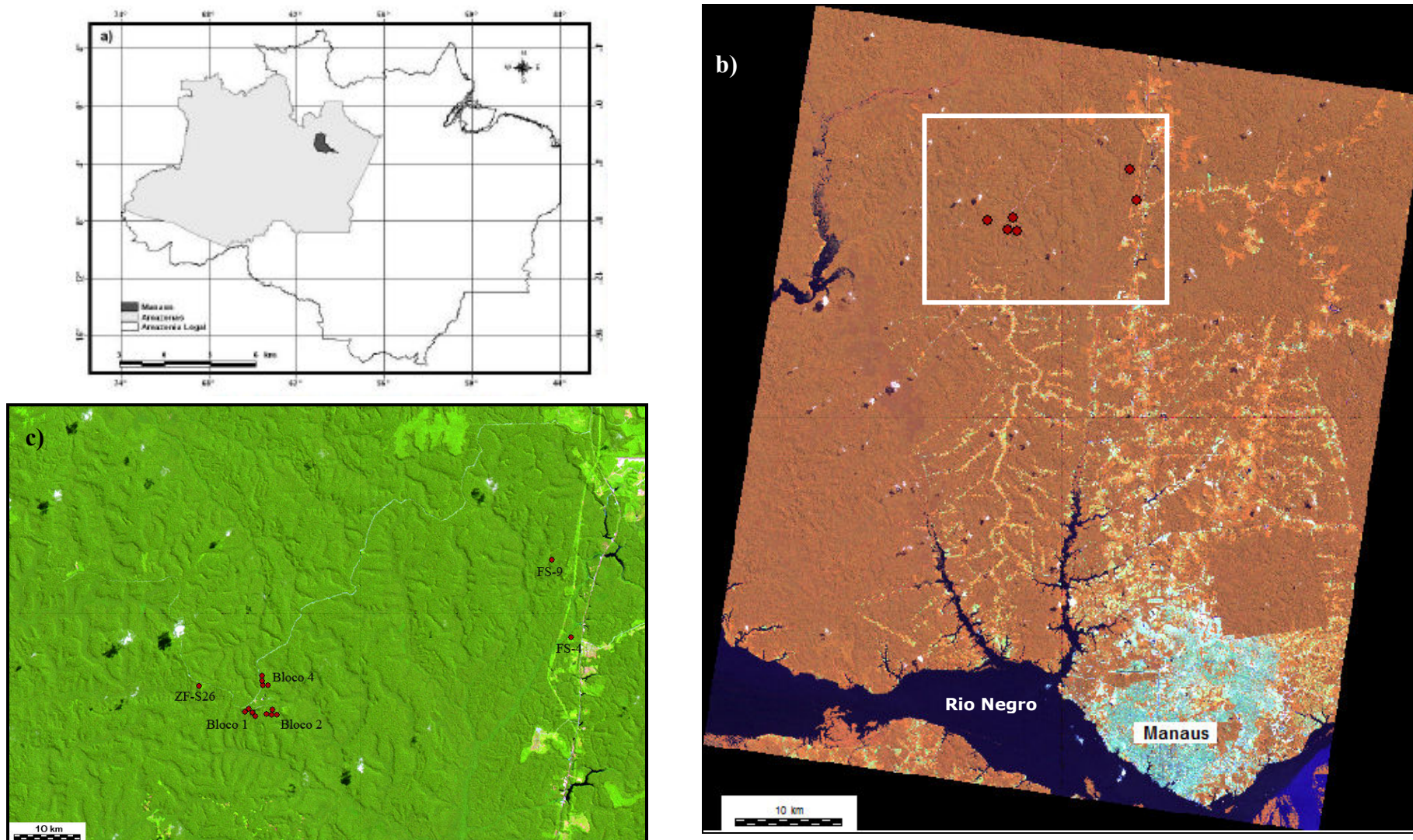


Figura 1 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO NA REGIÃO DE MANAUS (AM): a) Amazônia brasileira; b) Localização da Estação Experimental de Silvicultura Tropical do Inpa (Manaus-Am), Banda 3, 5 e 4 (RGB) LANDSAT 5 TM (30/06/2006); c) Localização das unidades amostrais, Banda 3, 4 e 5 (RGB).

Área S-4

Esta área está localizada, aproximadamente, dois quilômetros ao sul da Estação (Sessenta), próxima da ZF1, com acesso pela BR-174 (Figura 2). O solo do local é do tipo arenoso. Nesta área foi instalada uma amostra na floresta secundária com 11 anos de idade (FS-4), cujas coordenadas são 02° 36' 53,8" de latitude sul e 60° 02' 33,2 de longitude oeste. A área sofreu corte raso seguida de queima e abandonada a partir de 1995, sem nenhum uso do solo para pasto ou agricultura.



Figura 2 – Área FS-4 com 11 anos de idade.

Área ZF-S26

Área localizada no km 26 da estrada vicinal ZF-2 que se inicia no km 50 da Rodovia BR-174. Nesta área foi instalada uma amostra na floresta secundária com 23 anos. As coordenadas geográficas são 02° 37' a 02° 38' de latitude Sul e 60° 09' a 60° 11' de longitude Oeste. Área foi derrubada e abandonada em 1983, sem uso posterior do solo (Figura 3).



Figura 3 – Área ZF-S26 com 23 anos de idade.

Área S-9

Localizada nas coordenadas 02° 05' 30,1 de latitude sul e 60° 01' 0,2" de longitude oeste. A S-9 está cerca de um quilômetro a noroeste da Estação (Sessenta), com acesso pelo ramal da CEPLAC (Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira). Esta área sofreu derrubada seguida de queima e abandonada, sem uso do solo subsequente, a partir de 1976 (Figura 4). A vegetação agora é constituída por floresta secundária com 30 anos de idade (FS-9).



Figura 4 – Área FS-9 com 30 anos de idade.

Área Projeto BIONTE

A área do projeto BIONTE (Biomassa e Nutrientes Florestais) esta localizada entre os km 21 a 24 da estrada secundária ZF-2. Em 1992 o projeto BIONTE incorporou as pesquisas de manejo florestal, iniciada em 1980, que tinha como objetivo de responder experimentalmente, as questões relacionadas ao manejo da floresta amazônica de terra-firme. A intervenção na floresta natural usando diferentes intensidades de corte começou a partir de 1987 com a demarcação da área em blocos experimentais (Figura 5).

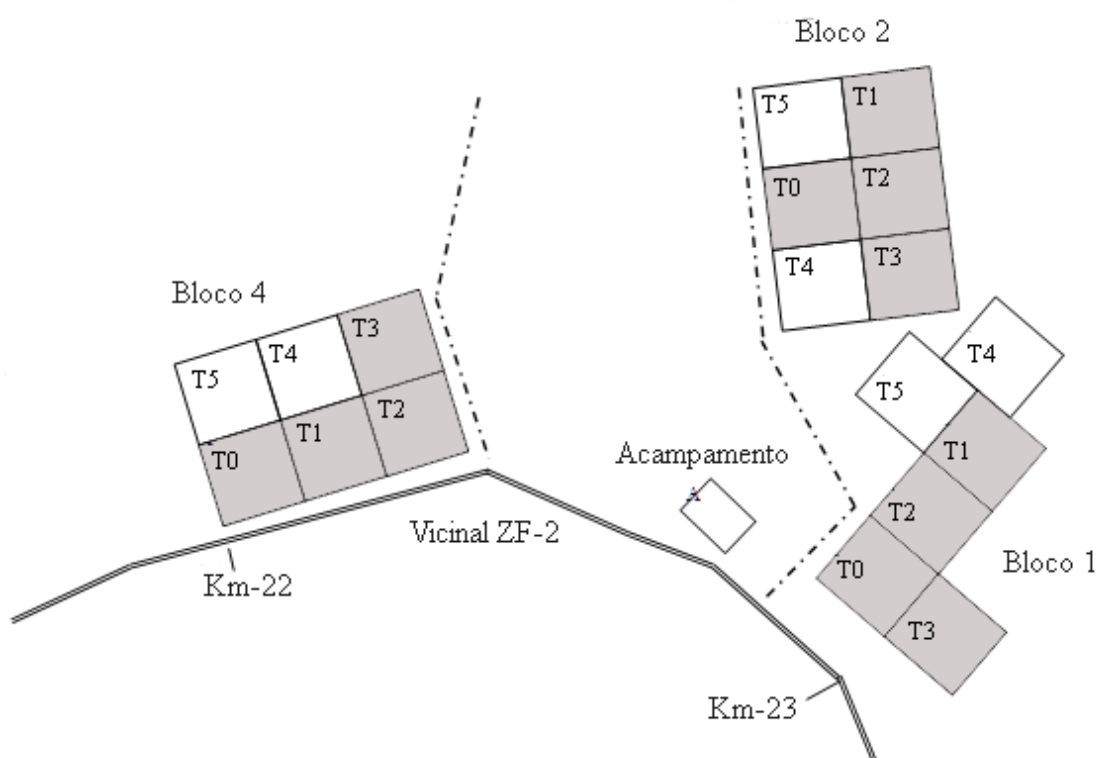


Figura 5 - Localização dos blocos experimentais do manejo florestal na bacia 3, reserva ZF-2.

A área foi explorada em 1987 e 1988, o delineamento experimental foi o bloco casualizado, com parcelas subdivididas para aplicação dos tratos silviculturais, com 6 tratamento e 3 repetições. Os tratamentos foram:

T0 = Testemunha ou controle (parcela não explorada) (Figura 6);

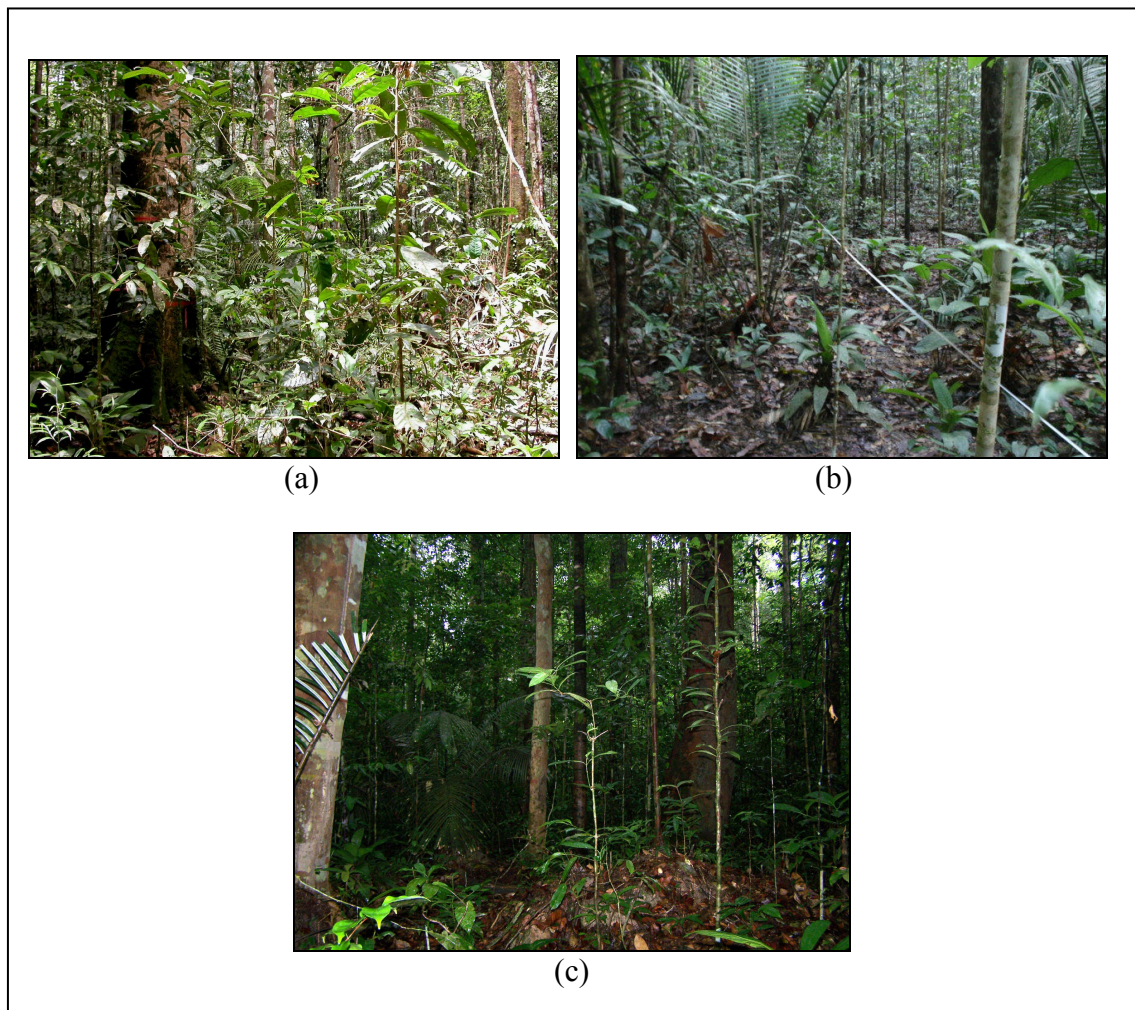


Figura 6 – Floresta primária (testemunha ou controle) sub-bloco B1T0 (a), sub-bloco B2T0 (b) e sub-bloco B4T0 (c), dezenove anos após a exploração.

T1 = remoção de 25% da área basal, explorada entre agosto e setembro de 1987; na prática, foi realizada uma remoção de um terço da área basal de espécies listadas (Figura 7).

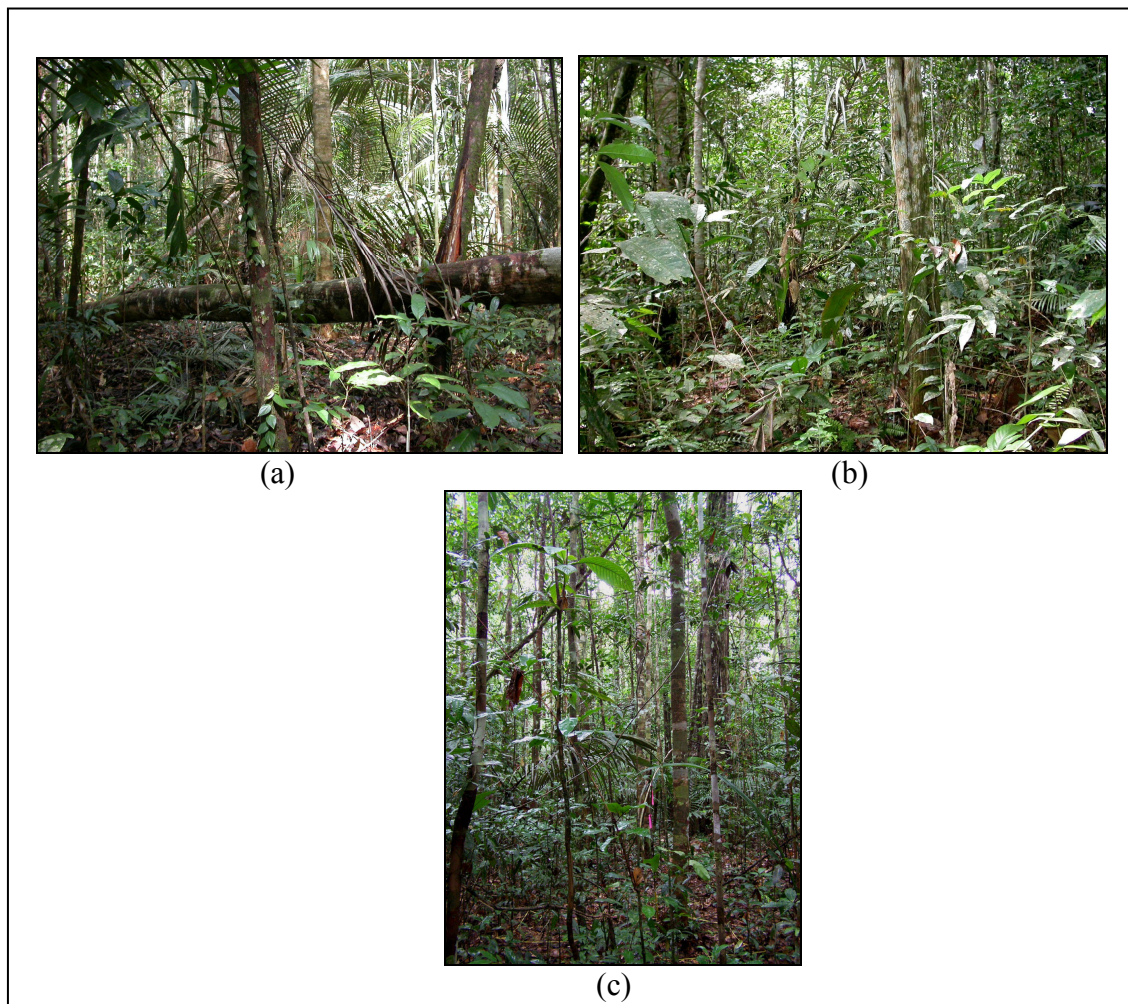


Figura 7 – Floresta explorada (25% da área basal) sub-bloco B1T1 (a), sub-bloco B2T1 (b) e sub-bloco B4T1 (c), dezenove anos após a exploração.

T2 = remoção de 50% da área basal, explorada entre outubro e novembro de 1987 (Figura 8).

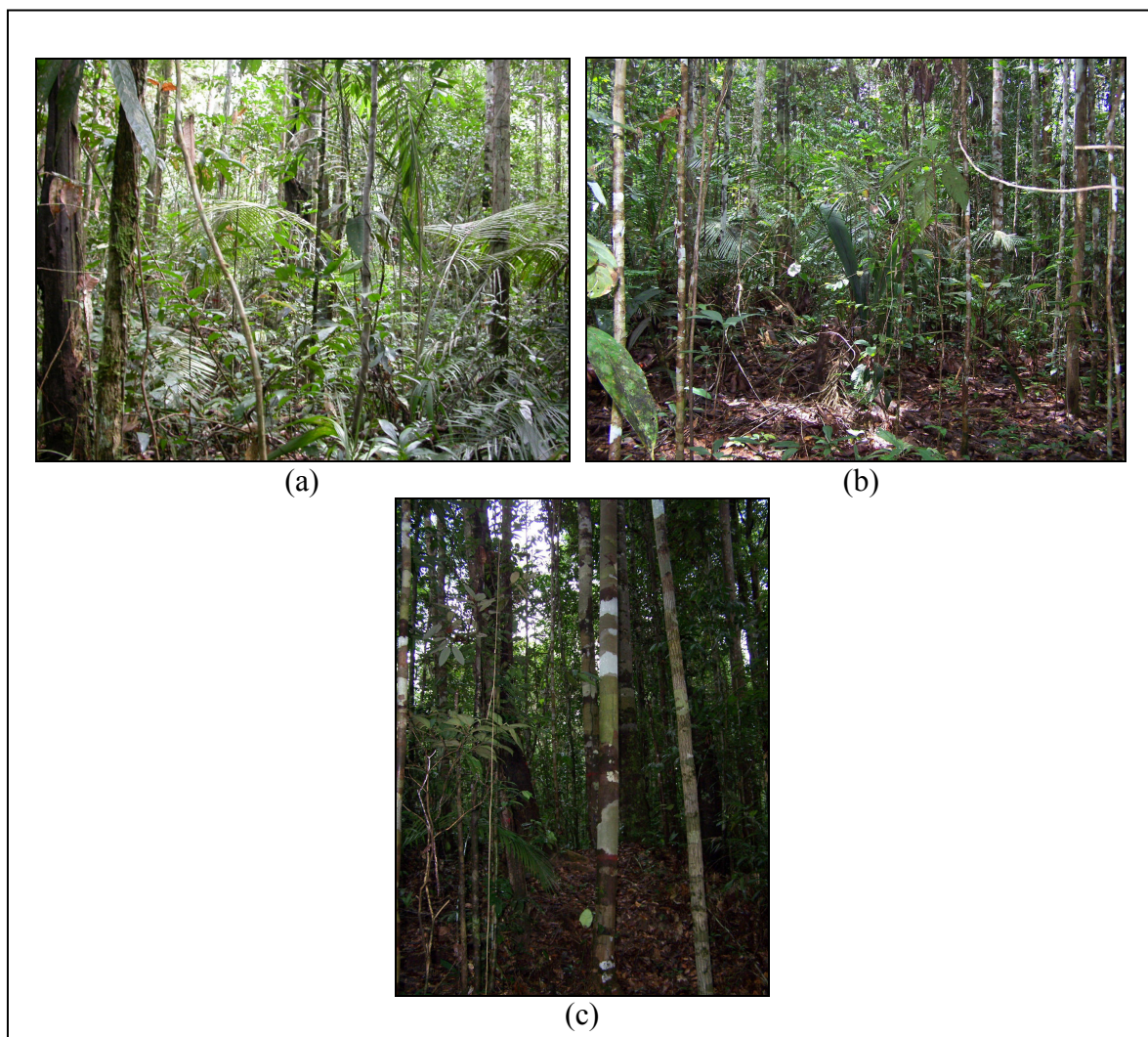


Figura 8 – Floresta explorada (50% da área basal) sub-bloco B1T2 (a), sub-bloco B2T2 (b) e sub-bloco B4T2 (c), dezenove anos após a exploração

T3 = remoção de 75% da área basal, explorada entre setembro e novembro de 1988; na prática, foi realizada uma remoção de dois terços da área basal de espécies listadas (Figura 9).

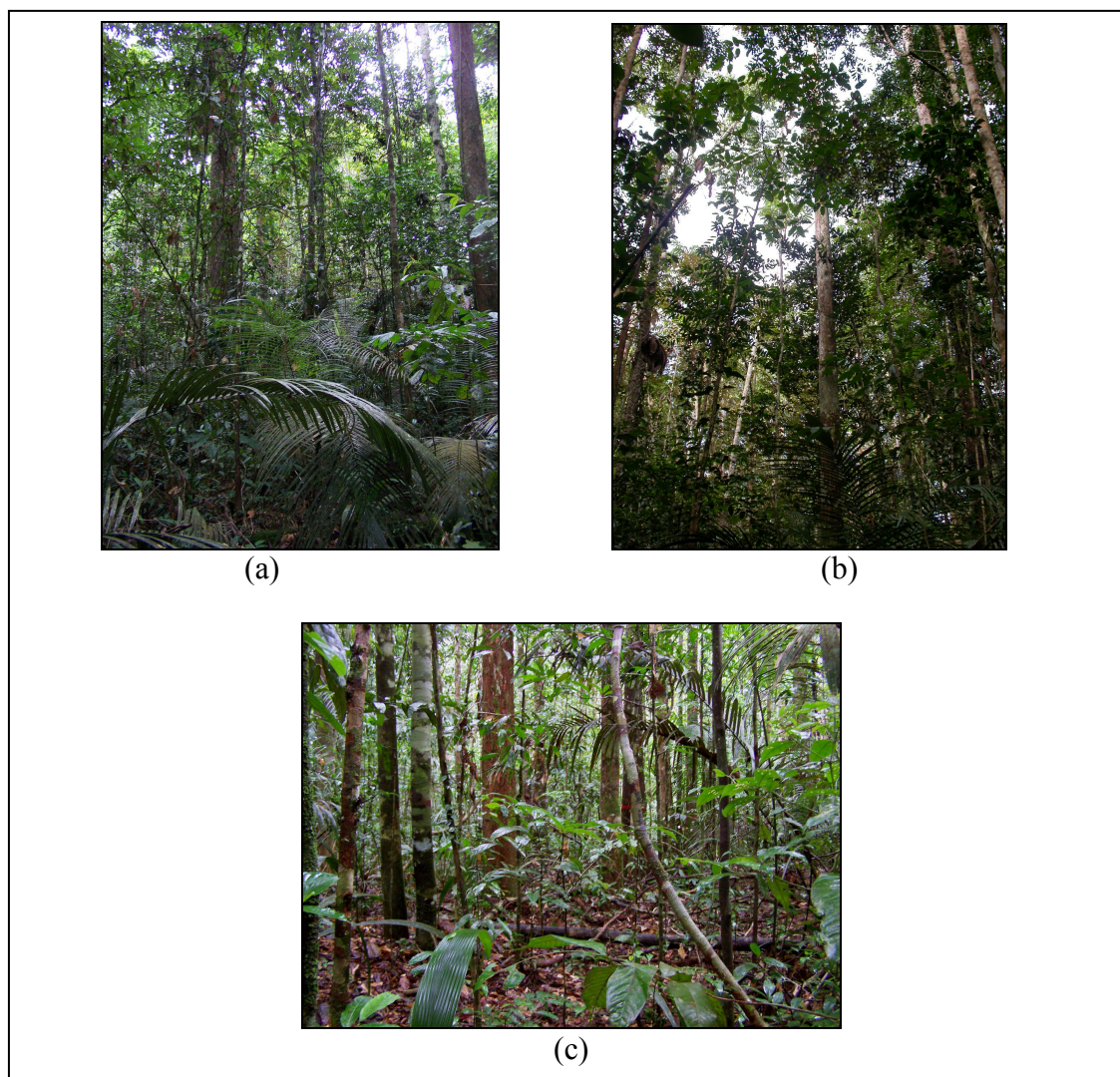


Figura 9 – Floresta explorada (75% da área basal) sub-bloco BIT3 (a), sub-bloco B2T3 (b) e sub-bloco B4T3 (c), dezoito anos após a exploração;

T4 = repetição do T2 sob a chancela do Bionte, explorada entre setembro e outubro de 1993;
T5 = remoção da área basal (anelamento das árvores) em diferentes intensidades, executado em 1985 (BIONTE, 1997).

Neste estudo foram considerados somente os quatro primeiros tratamentos (T0, T1, T2 e T3), onde foram instalados uma amostra em cada tratamento nas 3 repetições.

4.1.2. Clima

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo “Amw”, caracterizado como quente e úmido durante o ano inteiro, é um clima tropical chuvoso; apresentando temperatura, precipitação e umidade relativa elevadas. Os valores médios de temperatura do ar (°C), precipitação (mm) e umidade relativa (%) obtidos na área de estudo por Miranda (2002) foram: 26,2; 8,65 e 72,8, respectivamente. Esses dados foram coletados na estação climática da torre de observação do km 14 na ZF-2.

4.1.3. Solos

Segundo Chauvel (1982), o solo mais frequente nas bacias hidrográficas da “ZF-2” são os Latossolos Amarelos Álicos, argilosos, que ocupam a superfície dos platôs, cuja fase de referência sob floresta é caracterizado pela presença de um horizonte médio, poroso, situado entre dois horizontes pouco porosos, e que este solo é composto pelos sedimentos terciários do Grupo Barreiras, que são constituídos de minerais resistentes à alteração, tais como a caolinita, o quartzo, os óxidos e hidróxidos de ferro e o alumínio.

De acordo com Ferraz *et al.* (1998), os solos dos platôs apresentam textura argilosa; nas encostas, variam de argilo-arenosos próximo aos platôs e areno-argilosos próximo aos baixios e, os solos nas áreas de baixio, apresentam textura arenosa. Nos platôs os solos são classificados como Latossolo Amarelo.

No núcleo “Sessenta”, as unidades amostrais estão localizadas em solo arenoso e latossolo amarelo de textura argilosa (Ranzani, 1980) .

4.1.4. Vegetação

A vegetação dominante nas áreas de estudo é floresta tropical úmida, também denominada de floresta de terra-firme segundo a classificação RADAMBRASIL (1976, 1978) e Veloso *et al.*, (1991). O dossel atinge uma altura entre 30-37 m com árvores emergentes alcançando 45-50 m (Lovejoy e Bierregaard, 1990). As famílias dominantes desta tipologologia florestal são Caesalpiniaceae, seguida das famílias Vochysiaceae, Anacardiaceae, Clusiaceae, Sapotaceae, Myristicaceae, Rutaceae, Malpighiaceae, Anacardiaceae e Lecythidaceae (Huek, 1972).

A floresta amazônica ocorre em terras baixas e em locais com elevada pluviosidade, apresenta diversas fisionomias de vegetação (floresta de igapó, várzea, savanas, campinas e campinaranas, florestas de bambu e floresta de terra-firme que recobre a maior parte da

região) as quais definem essa região como uma província fitogeográfica bem distintas, e de maior biodiversidade do mundo (Ribeiro *et al.*, 1999).

4.2. Caracterização da área de estudo no Estado do Mato Grosso

4.2.1. Localização da área na região de Alta Floresta

Os estudos foram desenvolvidos na Fazenda Caiabi, situada à, aproximadamente, 28 km a Oeste do Município de Alta Floresta, e este a 800 km ao norte de Cuiabá-MT. As coordenadas geográficas da área de estudo são 09°56'40" de latitude S a 56°20'10" de longitude O. A fazenda ocupa uma área de 7.000 ha, sendo limitada pelo rio Santa Helena a leste, e pelo córrego do Neguinho ao sul (Figura 10 e 11). A coleta dos dados foi feita em áreas de floresta primária (FP-H e FP-I) e floresta secundária (FS-A, FS-B, FS-D, e FS-E).

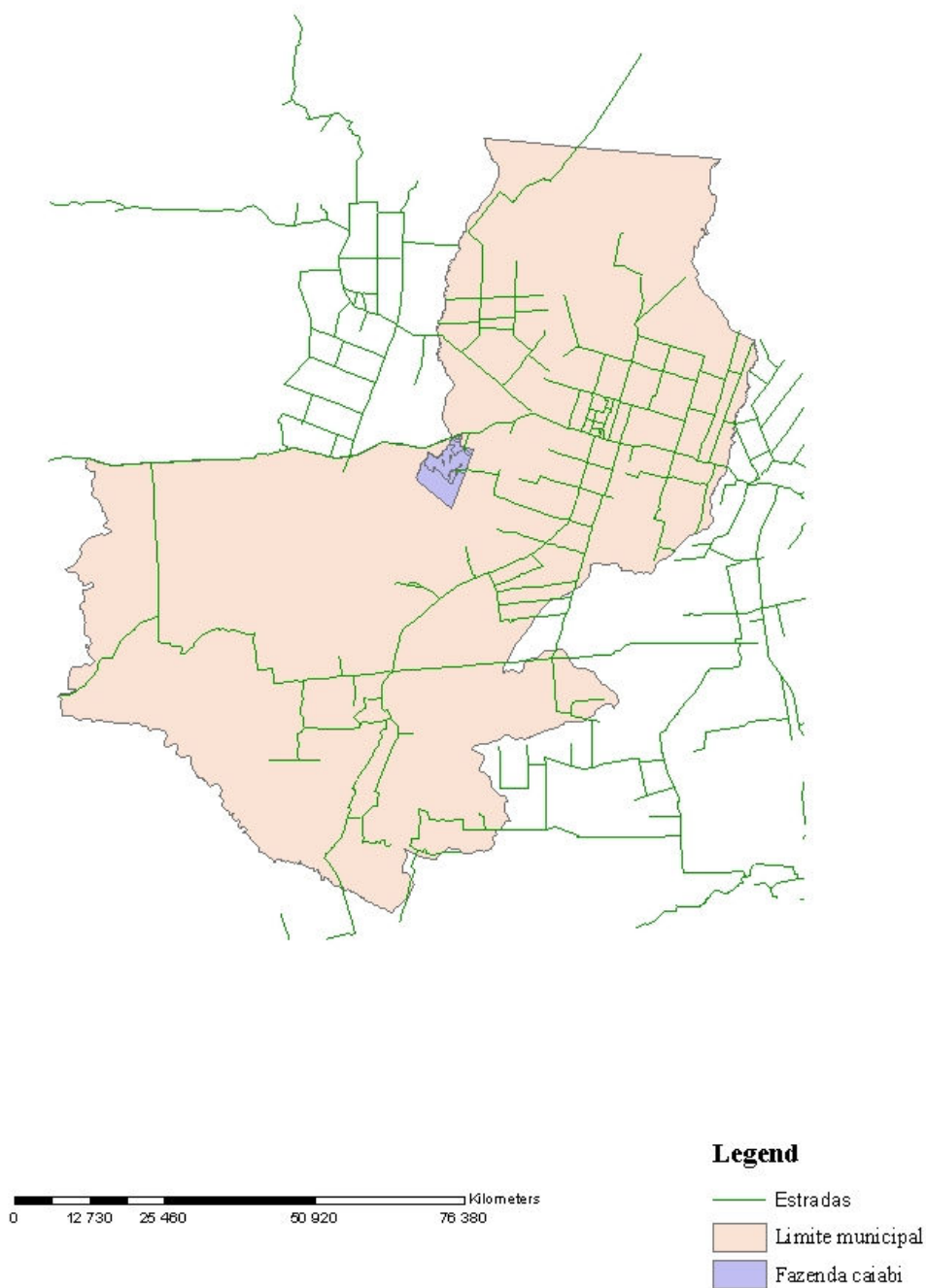
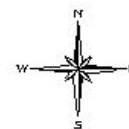


Figura 10 – Mapa do município de Alta Floresta (MT) e da Fazenda Caiabi.

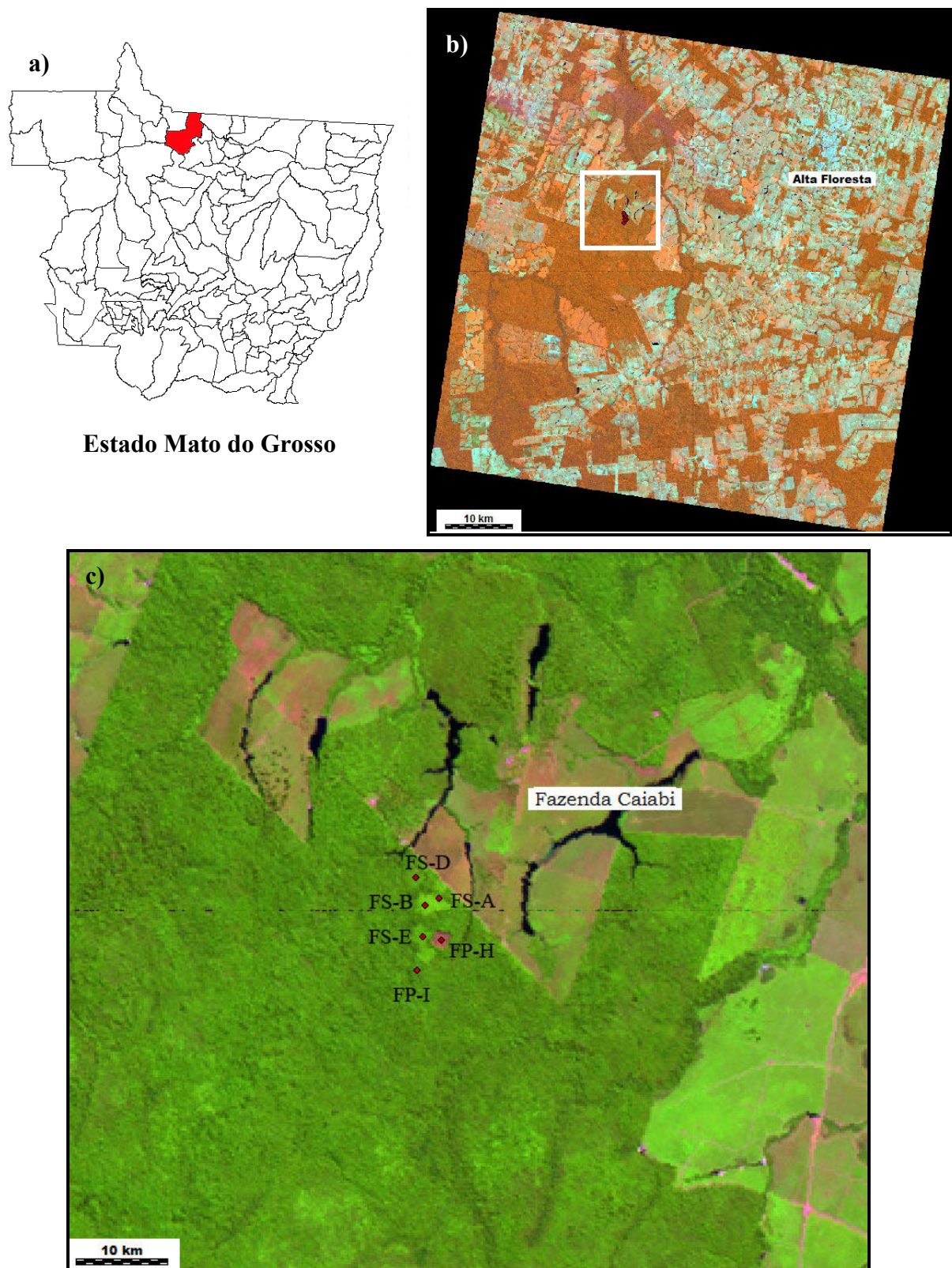


Figura 11 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO NA REGIÃO DE ALTA FLORESTA-MT: a) Estado do Mato Grosso; b) Localização do município de Alta Floresta, banda 3, 5 e 4 (RGB) LANDSAT 5 (12/06/2004); c) Localização das unidades amostrais na Fazenda Caiabi, banda 3, 4 e 5 (RGB) LANDSAT 5.

O histórico e as características principais da cada parcela amostral de capoeira são apresentadas a seguir:

As áreas de floresta secundária (capoeiras) situadas na fazenda Caiabi, foram formadas por diferentes processos envolvendo derrubada e queimada entre os anos de 1997 e 2001, sendo abandonadas após pesquisa sobre consumo de biomassa e características de flamabilidade de floresta adjacente, sem nenhum uso do solo. Os principais resultados desta pesquisa podem ser encontrados na referência Carvalho *et al.* (2001).

A preparação das áreas consistiram: inventário florestal, conduzido antes da derrubada, de todas as áreas centrais de 1 ha. Nesses inventários estão catalogados todos os indivíduos com diâmetro à altura do peito (DAP) superior a 10 cm, tendo como informações a espécie, DAP e altura comercial, assim como, a biomassa morta (troncos caídos e ainda em pé) nas áreas. Em seguida, todas as pequenas árvores com $DAP \leq 5$ cm (altura do peito ~ 1.3 m) foram cortadas no início da estação seca e, um mês depois, efetuou-se o corte de todas as árvores. Após um período de 2 meses de exposição da vegetação (cortada) ao sol, estas áreas foram queimadas e abandonadas (Carvalho *et al.*, 2001).

Características das capoeiras

- FS-A – localizada na interface com um pasto, esta unidade amostral foi cortada e queimada em 1997, ou seja, queimada 3 meses depois do corte, sendo abandonada após a pesquisa de consumo de biomassa, sem uso do solo (Figura 12). O consumo de biomassa foi de 22,7% na parcela.



Figura 12 – Unidade amostral FS-A com 8 anos de idade.

- FS-B – localizada a 400 m dentro da floresta, esta unidade amostral foi cortada e queimada em 1997, ou seja, queimada 3 meses depois do corte, sendo em seguida abandonada sem uso do solo (Figura 13). Esta parcela teve um consumo de biomassa de 19,5%.



Figura 13 – Unidade amostral FS-B com 8 anos de idade.

Os testes aplicados nas áreas FS-A e FS-B foram designados para investigar o efeito da borda com interface com o pasto no consumo de biomassa. O pasto adjacente da área A foi formado em 1994, e a floresta original foi cortada em 1977. No período de 1977 a 1994 a área foi usada para plantação de café (Carvalho *et al.*, 2001).

- FS-D – localizada dentro de uma área desflorestada de 4 hectares, unidade amostral cortada em 1998 e queimada em 1999, ou seja, queimada 15 meses após a derrubada, sendo abandonada sem uso do solo. (Figura 14). O consumo de biomassa nesta parcela foi de 61,5%.



Figura 14 – Unidade amostral FS-D com 5 anos de idade.

- FS-E – localizada dentro de uma área desflorestada de 4 hectares, esta unidade amostral foi cortada e queimada em 1999, ou seja, queimada 3 meses depois do corte, em seguida abandonada sem nenhum uso do solo (Figura 15). O consumo de biomassa foi de 41,8%.



Figura 15 – Unidade amostral FS-E com 5 anos de idade

Nas áreas FS-D e FS-E os testes foram planejados para verificar diferenças entre dois período de recuperação em áreas com bordas largas (áreas de 1 ha localizadas dentro de 4 hectares desmatados).

- FP-H – Área de floresta primária, cortada e queimada em 2004 (Figura 16). Esta parcela encontra-se próxima da área C (situada dentro de uma área desmatada de aproximadamente 9 hectares, a qual foi cortada e queimada em 1998 e abandonada sem uso do solo após o teste);



Figura 16 –Unidade amostral FP-H.

- FP-I – Área de floresta primária (Figura 17). Esta parcela está localizada longe das parcelas de capoeira e do pasto.

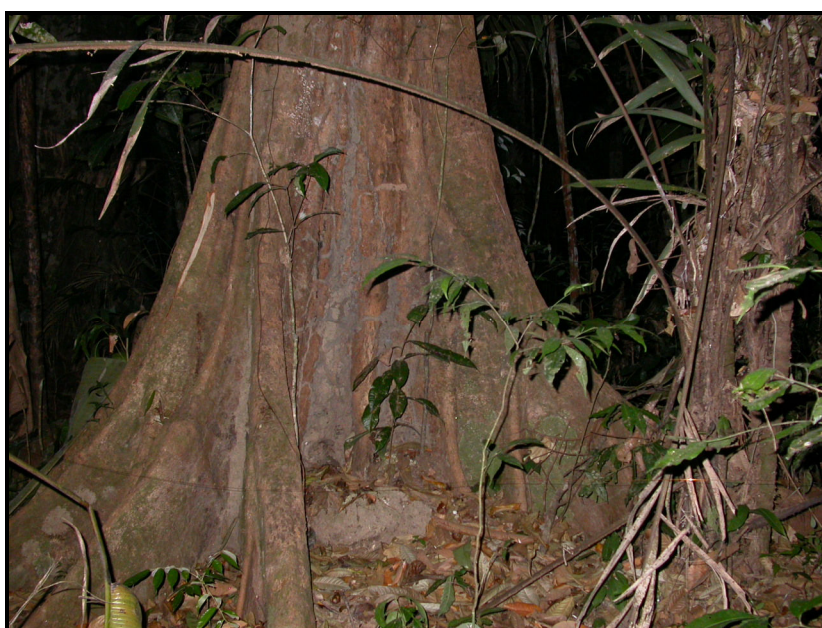


Figura 17–Unidade amostral FP-I.

As parcelas amostrais de floresta secundária da Fazenda Caiabi, fazem parte do Projeto multidisciplinar: “Combustão de Material de Diferentes Tamanhos em Queimadas de Florestas Tropicais” – FAPESP/INPE/UNESP/Forest Service Department of Agriculture/Universidade de Washington/UNB/INPA (Negreiros *et al.*, 2000).

4.2.2. Clima

A região de Alta Floresta apresenta um clima sub-equatorial onde as temperaturas médias oscilam entre 23° e 26° C durante o ano, com máximas diárias de 34 a 37°C (IBGE, 1988). A precipitação atinge valores médios anuais de 2.220 mm, apresentando uma estação seca de 3 meses (junho, julho e agosto) (Dubreuil *et al.*, 2002).

4.2.3. Solos

Os solos encontrados na região de Alta Floresta são do tipo podzólicos vermelho e amarelo distrófico, ocorrendo, como subdominantes na maioria das manchas, o latossolo vermelho escuro distrófico álicos, podzol hidromórficos e solos hidromórficos gleyzados, eutroficados e álicos. O relevo da região corresponde a uma antiga superfície de aplainamento que foi dissecada desde o proterozoico até o paleozóico (Cunha *et al.*, 1980).

4.2.4. Vegetação

Segundo os levantamentos fitoecológicos realizados por Loureiro *et al.*, (1980), os tipos vegetacionais que ocorrem no município de Alta floresta são: floresta ombrófila aberta tropical, floresta densa tropical, savanas e áreas de tensão ecológicas. De acordo com estes mesmos autores, as espécies madeireiras mais exploradas na região são: o angelim, jatobá, canela-amarela, ipê-roxo, cedro, cedrinho e o pinho-cuiabano.

4.3. Coleta de Dados

As amostragens foram instaladas em diferentes tipos florestais: floresta ombrófila densa (região de Manaus) e floresta ombrófila aberta (região de Alta Floresta), ambas em diferentes estádios sucessionais (floresta primária e secundária). Para a floresta explorada, as amostras foram instaladas somente em Manaus, na área do Projeto BIONTE.

Na região de Manaus foram alocadas 15 amostras, com 1 ha cada, sendo:

3 amostras em floresta secundária (duas amostras na EEST-Sessenta e uma amostra no núcleo ZF-2);

3 amostras em floresta primária, designadas por B4T0, B1T0 e B2T0 (EEST-ZF2/Projeto BIONTE) e;

9 amostras em floresta explorada com diferentes intensidades de corte, após 20 anos, designadas por B4T1, B4T2, B4T3, B1T1, B1T2, B1T3, B2T1, B2T2, B2T3 (EEST-ZF2/Projeto BIONTE).

As informações concernentes as idades das floresta secundárias (FS4 e FS9) foram obtidas do estudo realizado por Lima (2002). Para a floresta secundária denominada ZFS26, as informações foram obtidas por comunicação pessoal com um funcionário da reserva ZF-2.

As medições de campo em Manaus foram realizadas em agosto, outubro e novembro de 2006.

Para a região de Alta Floresta (Fazenda Caiabi), foram alocadas 6 amostras, com 1 ha cada, sendo:

4 amostras em floresta secundária (FS-A e FS-B com 8 anos de idade, FS-D e FS-E com 5 anos de idade);

2 amostras em floresta primária (FPA-H e FPA-I)

As medições de campo em Alta Floresta foram realizadas em março-abril/2004 e junho-julho/2005.

Cada amostra de 1 ha corresponde a um quadrado de 100x100m, dividida em 9 sub-amostras de 20x20m plotadas sistematicamente a cada 10m a partir da borda do quadrado de 100x100m (Figura 18).

Dentro das 9 sub-amostras, foram mesurados e identificados pelo nome comum todos os indivíduos com $DAP \geq 5$ cm, no caso das florestas secundárias, e para as florestas primárias, todos os indivíduos com $DAP \geq 10$ cm. Neste estudo não houve coleta botânica.

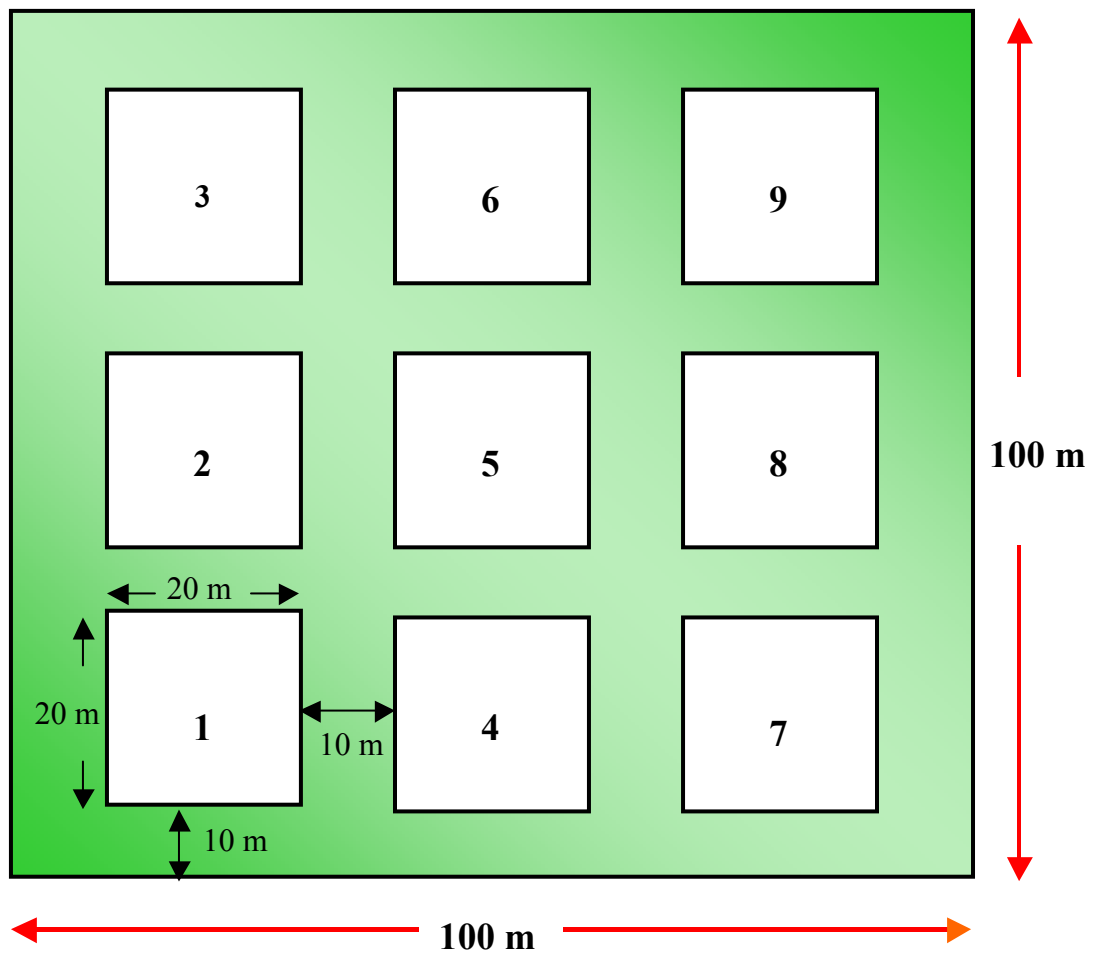


Figura 18 - Desenho esquemático das amostras.

4.4. Análise da estrutura horizontal

A estrutura horizontal foi analisada pelos índices de abundância, dominância e frequência das espécies florestais, nos termos absoluto e relativo de ocorrências. A combinação desses parâmetros fornece o Índice de Valor de Importância – IVI, o qual determina a importância de cada espécie dentro da comunidade florestal. Estes índices foram calculados de acordo com as fórmulas definidas em Lamprecht (1964), Finol (1969) e Cain e Castro (1971).

4.5. Análise de diversidade

A diversidade florística foi avaliada empregando o índice de Shannon (H'), o qual expressa a diversidade de espécies nas diferentes comunidades. Este índice baseia-se na teoria

da informação (Ludwing e Reynolds, 1988) e mede a dificuldade de prever, a identidade do próximo indivíduo da população, se retirado aleatoriamente (Lamprecht, 1990). Quanto maior o valor de H' , maior a diversidade florística da área em estudo, sendo calculado pela seguinte fórmula:

$$H' = (N \log N - \sum_{i=1}^s n_i \log n_i) / N$$

Onde:

H' = índice de diversidade de Shannon;

N = número total de indivíduos amostrados;

N_i = número de indivíduos amostrados para i -ésima espécie;

s = número de espécies amostradas;

\log = logaritmo de base 10.

4.6. Estimativas das variáveis biométricas

As variáveis biométricas neste estudo foram: biomassa seca acima do solo ($t\ ha^{-1}$), área basal ($m^2\ ha^{-1}$) e volume com casca ($m^3\ ha^{-1}$). Estas estimativas foram feitas em função dos indivíduos por hectare e por classe de diâmetro.

Estimativas de Biomassa seca acima do solo

As equações alométricas aplicadas na quantificação da biomassa seca acima do solo ($t\ ha^{-1}$) para a floresta secundária deste trabalho, foram desenvolvidas por Silva (2007) e por Nelson *et al.* (1999). A equação de Nelson foi aplicada para a espécie *Cecropia sciadophylla* Mart, uma das espécies mais comuns que ocorrem em áreas de capoeira na Amazônia Central. As equações estão dispostas no Quadro 1.

Quadro 1 - Equações alométricas para floresta secundária.

| Critério | Idade | Equações alométricas | R^2 |
|--------------------|----------------|---------------------------------------|-------|
| DAP \geq 5 cm | 5, 8 e 11 anos | PF = 0,1063*DAP ^{2,6724} | 0,87 |
| | 23 e 30 anos | PF = 0,4888*DAP ^{2,1816} | 0,84 |
| | Cecropia | ln PS = - 2,5118 + 2,4257. ln(DAP) | 0,98 |

onde:

ln = logaritmo natural

PS = peso seco da biomassa (kg)

PF = Peso fresco da biomassa (kg)

DAP = diâmetro à altura do peito (cm)

R² = Coeficiente de determinação

S_{yx} = o erro padrão da estimativa.

A biomassa seca da floresta secundária foi estimada usando as concentrações de água (igual a 48% - para floresta com 5, 8 e 11 anos de idade e, 51% para a floresta com 23 e 30 anos de idade), considerando somente a parte aérea da árvore (Silva, 2007).

Para a floresta primária a biomassa acima do solo foi quantificada usando a equação alométrica proposta por Silva (2007) apresentada no Quadro 2. Observa-se que a equação apresenta como variável independente o DAP.

Quadro 2 - Equações alométricas para floresta primária.

| Critério | Equações alométricas | R² | S_{yx} |
|-----------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------|
| DAP ≥ 10 cm | PF = 2,2737*DAP ^{1,9156} | 0,85 | 4,20 |

A biomassa seca foi estimada usando a concentração de água (igual a 34,9%) (Silva, 2007).

A concentração de carbono foi estimada por meio do produto da biomassa seca pela concentração de carbono igual a 48%, como recomendado por Higuchi e Carvalho Jr. (1994).

Estimativas de área basal

A estimativa da área basal foi obtida utilizando a seguinte equação:

$$G = (\pi * DAP^2) / 40000$$

onde:

G = área basal (m²);

DAP = diâmetro à altura do peito (cm).

Estimativas do volume com casca

As estimativas do volume com casca (Quadro 3) foram obtidas pela equação desenvolvida por Higuchi *et al.* (1997).

Quadro 3 - Equação alométrica para o volume com casca.

| Critério | Equações alométricas | R ² | S _{yx} |
|------------|-------------------------------------|----------------|-----------------|
| DAP ≥ 5 cm | $\ln V = - 7.335 + 2.121 * \ln DAP$ | 0,95 | 0,27 |

onde:

V = volume com casca (m³);

4.7. Determinação do Índice de Área Foliar utilizando fotografias hemisféricas

Para a realização das medidas do índice de área foliar (IAF, idêntico ao “leaf area index”, LAI) e do índice de abertura do dossel (AD, idêntico a “canopy openness”, CO) foi utilizado o método das fotografias hemisféricas.

O método das fotografias hemisféricas zenitais é um método óptico, tal como o Plant Canopy Analyser LAI-2000, que permite a estimativa de diversos parâmetros estruturais (AD, IAF, etc.) e radiativos (iluminação relativa, direta e difusa, etc.) do dossel (Rich, 1990; Rich: http://en.wikipedia.org/wiki/Hemispherical_photography). Algumas informações derivadas destes parâmetros são de grande interesse na área de sensoriamento remoto. A seguir, será apresentada a descrição deste método.

A técnica das fotografias hemisféricas utiliza uma objetiva grande-angular com um ângulo de visão de 180°, conhecida como “fish-eye”. A objetiva fish-eye produz uma imagem curvilínea, a qual é a projeção do hemisfério sobre um plano (Figura 19), resultando numa imagem circular. Segundo as características da projeção desta objetiva, a distância de um ponto ao centro da imagem é determinada por uma função linear deste ângulo (denominada projeção equidistante ou polar). A projeção equidistante é a mais simples e usada nos estudos ecológicos. A vantagem desta projeção é que os objetos da imagem podem ser facilmente localizados pelas suas coordenadas angulares: ângulo zênital e ângulo azimutal (Mitchell and Whitmore, 1993; Trichon *et al.*, 1998).

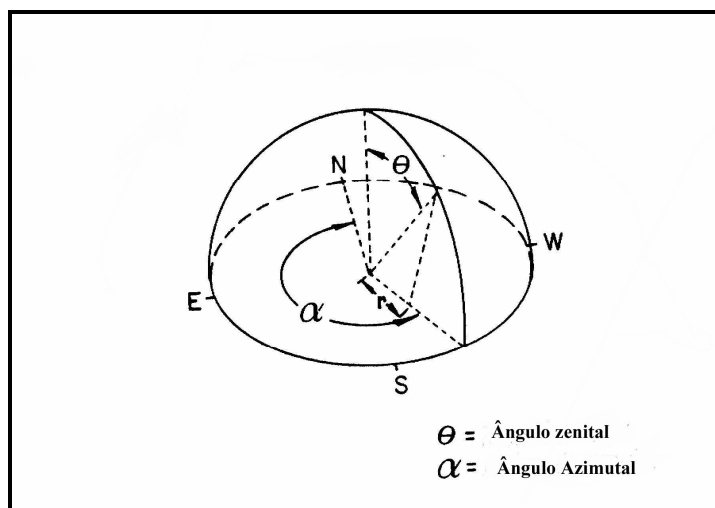


Figura 19 - Características da projeção do hemisfério sobre um plano (Rich, 1990).

A técnica das fotografias hemisféricas implica uma sequência normalizada de procedimentos rigorosos, desde a coleta de dados até à arquivagem das fotografias e interpretação dos resultados das análises. As principais etapas são as seguintes: plano de amostragem e coleta de dados, pré-processamento, processamento e análise das imagens, cálculo, organização e interpretação dos resultados. Várias etapas destes procedimentos são descritas a seguir.

Coleta de dados e aquisição das imagens

A coleta de dados baseia-se no plano de amostragem descrito nas Figuras 18 e 20. A localização precisa com coordenadas $\{x, y\}$ duma determinada fotografia dentro duma parcela corresponde ao “fotosite”. Cada sub-amostra (Figura 20) consta de 9 fotosites dentro da amostra (Figura 18), um total de 81 fotosites com repartição uniforme.

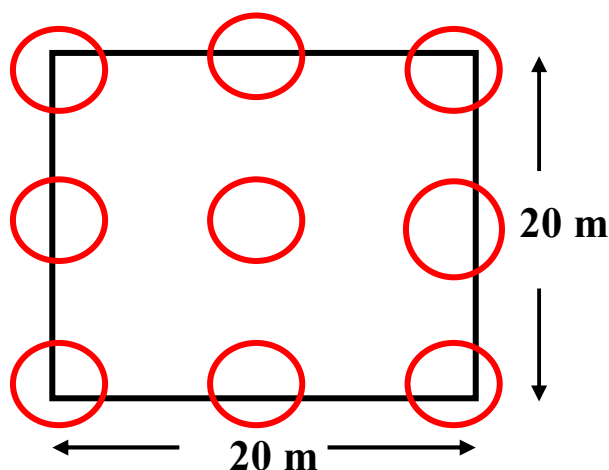


Figura 20 - Localização dos fotosites nas sub-amostras.

As fotografias hemisféricas foram tiradas debaixo do dossel (Figura 21), usando uma máquina fotográfica com sistema digital Nikon Coolpix® 4500 e uma objetiva “converter fish-eye FC-E8 Nikon”, com ampliação $\times 0,21$ e ângulo de visada de 183° . A máquina foi fixada a um tripé a uma altura de 0,80m a 1,50m acima do solo. As fotografias foram tiradas antes do nascer do sol, ou no final da tarde (quando o ângulo de elevação do sol é baixo) ou em dias nublados. A máquina fotográfica foi orientada para o Norte, com ajuda de uma bússola, e um nível à bolha foi colocado sobre a máquina para garantir sua horizontalidade.

As fotografias hemisféricas digitais 8-byte (amplitude dinâmica, “dynamic range”) coloridas foram adquiridas no formato JPEG e resolução “fina” (1280×960 pixels). O diâmetro de cada imagem é ≈ 935 pixels, i.e. uma superfície de $\approx 688\,084$ pixels.

Um fator essencial para ótima qualidade das imagens e precisão no processamento é a determinação exacta das exposição. Por isso, foram tiradas varias fotografias no mesmo fotosite, enquadrando o valor de iluminação medido automaticamente em modo “global” (sub-exposição e super-exposição de 1 a 2 valores, num total de 3–5 fotografias por fotosite).

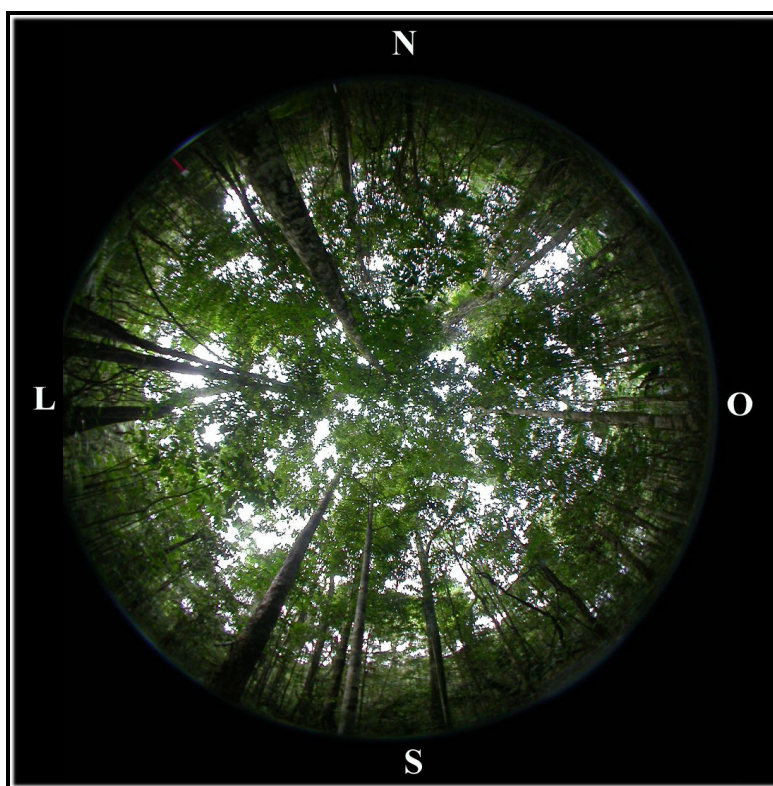


Figura 21 – Fotografia hemisférica do fotosite “FP-H” da floresta primária ombrófila aberta (Alta Floresta).

Pré-processamento: preparação das imagens digitais

O pré-processamento implica sucessivamente a seleção, orientação e delimitação do contorno circular das fotografias. Nesta etapa foi utilizado o software Adobe Photoshop®.

A *seleção da imagem* consta em escolher a “melhor” imagem, baseada no maior contraste e maior amplitude de tonalidade (“tonal range”), ambas verificadas no histograma de cada fotografia. A imagem é constituída de pixels de diferentes valores de cinza (níveis de cinza), em uma escala de 0 (preto) à 255 (branco). O histograma de uma imagem de alta qualidade que presta para análise deve mostrar dois picos bem separados: de um lado 0 e o outro do lado 255. No presente trabalho, foi selecionada a fotografia com maior amplitude de valores de cinza (tonalidade) dentro das 3–5 fotografias de cada fotosite.

O software CIMES-FISHEYE (Walter, 1982-2009) utilizado neste trabalho exige o formato BMP. Daí a conversão das imagens de formato JPEG para o formato BMP. Esta conversão é necessária para os tratamentos posteriores. O processo ocasiona uma descompressão das imagens JPEG, triplicando o tamanho do arquivo digital das mesmas. Esta conversão é indispensável, pois o formato JPEG não permite manipular as imagens sem perda de informações.

Uma vez selecionada a imagem colorida, esta é inicialmente composta de três camadas, ou canais, ou bandas: R, G, B (‘red’, ‘green’, ‘blue’). O objetivo presente é de *selecionar a banda B* (azul), a qual apresenta um maior contraste entre o céu e a vegetação. Essa propriedade é associada à absorção seletiva do azul pelos pigmentos vegetais, as folhagens tendem a ser pretas na imagem.

Na etapa seguinte, a imagem tem que ser *orientada*, conforme os pontos cardeais, exigindo uma rotação da imagem que depende da orientação da câmera no campo. Além disso, uma declinação magnética do sítio para determinado ano necessita uma rotação adicional (Alta Floresta: $\delta = 15^{\circ}52'$ oeste, 2004; Manaus: $\delta = 14^{\circ}35'$ oeste, 2008). Enfim, o contorno da imagem que representa o horizonte, muitas vezes não é visível por causa da obstrução pela vegetação ou pela sub-exposição da imagem. Portanto, é preciso definir o diâmetro do círculo e a posição do centro, uma etapa que não é necessária repetir, uma vez que a imagem digital aparece numa posição fixa e com o mesmo tamanho. O software CIMES-FISHEYE precisa da posição de 3 pontos $\{x, y\}$ no círculo par delimitar o contorno da imagem (Anexo 2).

Uma vez que a imagem está preparada, começa realmente o processamento e análise, transformando a imagem da banda B em níveis de cinza em uma imagem binária para separar a folhagem (preto) do céu (branco), o processo de *classificação* da imagem. Em seguida, a

extração da fração de clareiras (“gap fraction”) constitui a etapa de elaboração dos dados utilizados nos cálculos.

Processamento e análise da imagem

Classificação dos pixels.— Os pixels são em parte, pixels mistos, ou seja, são compostos por uma fração de folhas e uma fração do céu. O problema é obter uma imagem binária separando o último plano (céu) do primeiro plano (vegetação). Por isso, é aplicado um *limiar* (“threshold”) na imagem para separar o céu (em branco) da vegetação e de outros obstáculos à entrada da luz (em preto). Neste etapa foi utilizado o software SideLook 1.1.01 para Windows (Nobis e Hunziker, 2005), o qual consiste em um processamento automático objetivo, que se pode repetir de maneira idêntica, evitando os erros de um processamento manual, essencialmente subjetivo.

Extração da fração de clareiras.— A imagem binária é o alvo de um tratamento específico por meio de um programa adequado, GFA (“Gap Fraction Analysis”, do software CIMES-FISHEYE), o qual utilizamos neste trabalho. É efetuada a extração das frações de clareiras no hemisfério (Anexo 2). As frações de clareiras são obtidas dividindo o número de pixels brancos (céu) pelo número total de pixels (pretos + brancos), de uma superfície definida sobre o plano da imagem, considerando as dimensões da grade de análise (Figura 22) e a resolução (em pixels) empregada no momento da foto tirada no campo. Neste trabalho, foi utilizada uma grade de análise de 9 anéis zenitais de 10° de largura × 24 setores azimutais de 15° de largura, ou seja 216 segmentos hemisféricos. A extração das frações de clareiras é um processo físico simples, onde a precisão depende da qualidade do limiar. Uma vez determinadas as frações de clareiras do dossel, vários modelos e algoritmos estão disponíveis para estimar o AD e o IAF (Welles e Normann, 1991).

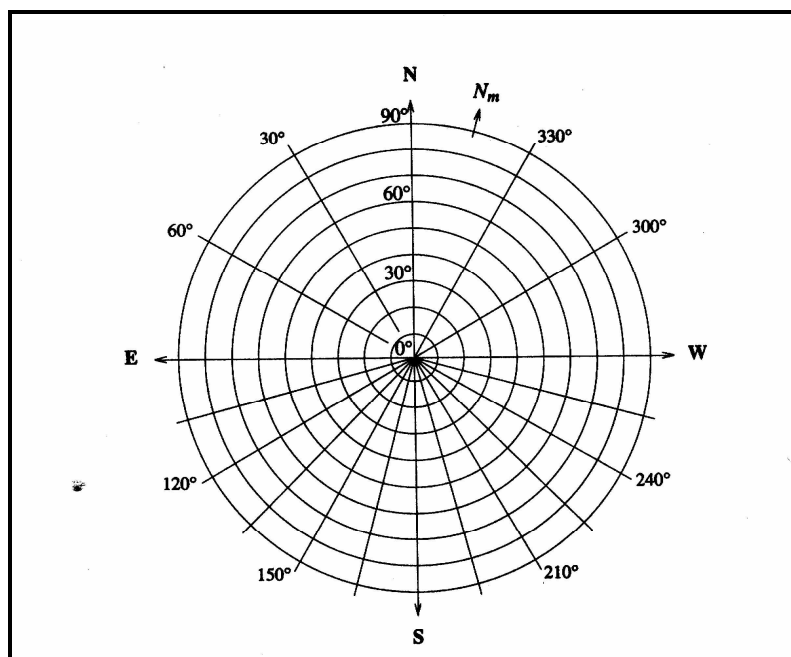


Figura 22 - Análise da imagem hemisférica projetada no plano horizontal, “projeção polar” (Walter, 2008).

Algoritmos e cálculos

A estrutura do dossel é um fator central de interações entre a planta-meio ambiente, a qual está relacionada com intercepção, espalhamento e emissão da radiação (Welles, 1990; Gower *et al.*, 1999). Várias são as características utilizadas para descrever a estrutura do dossel. Dentre as mais usadas e conhecidas estão o AD e o IAF, sendo uns dos principais parâmetros biofísicos e estruturais da vegetação.

O grau de *abertura do dossel*, AD, serve como indicadora da geometria do dossel e do potencial de penetração da radiação solar (Walter e Torquebiau, 1996). A abertura do dossel é definida como sendo a fração ou porcentagem do céu no hemisfério que não é bloqueada pela vegetação, variando de 0 a 1, ou de 0 a 100% (Frazer *et al.*, 1997). É a fórmula geral empregada em CIMES-FISHEYE:

$$CO = \sum_1^N P_0(\varphi, \theta) \cdot [(\cos \theta_1 - \cos \theta_2) / n]$$

onde CO é equivalente a AD (em fração, de 0 a 1), $P_0(j, q)$ é a fração de clareira localizada no segmento de azimute j e zênite q , q_1 e q_2 são o menor e o maior ângulo zenital,

respetivamente, em uma porção do hemisfério, N é o número total de segmentos do hemisfério e n é o número de divisões azimutais. Com a grade 9×24 , $N = 216$ e $n = 24$.

O índice de área foliar, IAF, é definido como a metade da área foliar total projetada por unidade de área horizontal do solo (Chen e Black, 1992; Soudani *et al.*, 2001). Vários trabalhos apresentam diferentes métodos diretos e indiretos para estimar o IAF (e.g., Bréda, 2003; Fournier e Walter, 2003). Uma expressão geral par estimar o IAF é:

$$L_p = \ln [P_0(q)] \cos q / W_E(q) G(q)$$

onde L_p é índice de área de planta, ou vegetal, $P_0(q)$ representa a fração média de clareiras no anel zênital de ângulo q , $G(q)$ é o coeficiente de extinção por unidade de área foliar de um raio de luz inclinado com ângulo q , $W_E(q)$ é o índice de agrupamento foliar ângulo-dependente (“clumping index”), e $\cos q$ é uma correção de distância que um raio de sol incidente com ângulo q percorre através do dossel (“sun path-length”). É importante observar que L_p não é linearmente relacionado com a fração de clareiras, mais sim de maneira logarítmica.

Vários modelos de distribuição de ângulo foliar afetam a expressão de $G(q)$, em particular o modelo de Campbell (1986) citado por Fournier e Walter (2003), definido pela distribuição elipsoidal dos ângulos folhares.

O presente trabalho utiliza os programas CAMSH e CMPSH do software CIMES-FISHEYE. Ambos são baseados no modelo de Campbell. O IAF estimado por CAMSH é o IAF ‘efetivo’ ($L_e = L_p^3 W_E$), ao passo que o IAF estimado por CMPSH é o IAF corrigido por agrupamento foliar ($L_p = \frac{L_e}{W_E}$). O índice de agrupamento foliar W_E não é explicitamente calculado, mas derivado indiretamente da razão $\frac{L_e}{L_p}$, a partir dos valores obtidos por CAMSH e CMPSH, respetivamente. A inversão dos valores de frações de clareiras é ‘global’ com CAMSH, ao passo que a inversão é ‘local’ (ou setorial: 24 setores azimutais) com CMPSH, incluindo o agrupamento folhar (conforme o modelo “finite length averaging method” de Lang e Xiang, 1986). Uma dispersão folhar aleatória implica $W_E = 1$, uma dispersão contagiosa (agrupamento folhar) $W_E < 1$ e uma dispersão uniforme $W_E > 1$.

O valor do IAF efetivo, L_e , é sempre inferior ao índice de área de planta, L_p . L_e não representa o IAF real: L_e tal como L_p , não diferenciam as superfícies fotosintéticas das superfícies não-fotosintéticas, como a casca das árvores. Efetivamente, $L_p = L_f + L_c$, onde L_f é o índice de área folhar real e L_c o índice de área de casca. Só muito recentemente foi descrita uma técnica de fotografias hemisféricas tiradas sem o filtro infra-vermelho que normalmente equipa as cameras digitais (Chapman, 2007). Esta técnica permite diferenciar as folhas da casca das árvores: as cascas aparecem em preto e as folhas em tonalidades claras acinzentadas. Assim, os índices de área folhar L_f e de casca L_c podem ser estimados separadamente.

O IAF efetivo, L_e , é diretamente relacionado aos processos radiativos (Campbell e Norman, 1989), e portanto, justificado por ser correlacionado com os valores digitais das imagens de satélites (índices de vegetação radiométricos). No entanto, somente o L_p , ou índice de área de planta, corrigido por agrupamento folhar W_E , pode ser correlacionado com a área basal, volume e biomassa (correlação entre a superfície fotosintética real e a produção biológica).

No presente trabalho, embora L_p e L_e foram calculados, somente o L_e foi utilizado. O L_p e W_E serão valorizados em publicações ulteriores. Visando analisar as variações estruturais e a distribuição espacial dos dosséis, foram mapeados o IAF efetivo e AD nas parcelas amostrais da região de Manaus (AM) e Alta Floresta (MT). O método de interpolação empregado foi de krigagem, o qual é um processo de estimativa de valores de variáveis distribuídas no espaço, e/ou no tempo, a partir de valores adjacentes enquanto considerados como interdependentes pelo semivariograma (Landim, 2003). O software Surfer® 8.0 (Golden Software, Inc.) foi utilizado na confecção dos mapas.

4.8. Sensoriamento Remoto

O termo sensoriamento remoto corresponde ao sensoriamento remoto da superfície da Terra a partir do espaço, fazendo uso das propriedades das ondas eletromagnéticas emitidas, refletidas ou difratadas pelos objetos sensoriados, com propósito de melhorar a gestão dos recursos naturais renováveis e não-renováveis, o uso da terra e a proteção do meio ambiente (ONU, 1986). É uma ciência que utiliza sensores para aquisição de informações sobre um

objeto ou fenômenos sem que haja o contacto físico entre eles. Os sensores são os equipamentos capazes de coletar energia proveniente do objeto, convertê-la em sinal passível de ser registrado e apresentá-lo em forma adequada à extração de informações (Novo, 1989).

O sensoriamento remoto é uma ferramenta utilizada em diversas áreas do conhecimento, fornecendo informações significativas na obtenção de dados relacionados a investigação de áreas florestais (intacta, explorada, desmatadas, fragmentadas e em regeneração), estudos e gerenciamento costeiro, corpos de água e usos do solo, entre outros. Neste estudo utilizou-se o sensoriamento remoto para investigar áreas de florestas em regeneração (capoeiras), floresta intacta e manejada experimentalmente.

4.8.1. Imagens de satélites

As imagens dos satélites 5 TM e 7 ETM⁺ da série Landsat (Land Remote Sensing Satellite) foram utilizadas nesta pesquisa, sendo disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais e SIGLAB do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA (Tabela 1).

Tabela 1 - Características das imagens de satélites utilizadas na pesquisa.

| Satélite / Sensor | Órbita/Ponto | Data de aquisição | Região |
|-------------------|--------------|-------------------|--------------------|
| LANDSAT 5 TM | | 02/08/1989 | |
| LANDSAT 5 TM | | 22/05/1992 | |
| LANDSAT 5 TM | 231/062 | 07/07/1997 | Manaus - AM |
| LANDSAT 7 ETM + | | 27/08/2001 | |
| LANDSAT 5 TM | | 30/06/2006 | |
| LANDSAT 5 TM | | 12/06/2004 | |
| LANDSAT 5 TM | 227/067 | 30/05/2005 | Alta Floresta - MT |

Para analisar o comportamento espectral das áreas do projeto BIONTE (exploradas experimentalmente) ao longo do tempo, foram selecionadas imagens com sensores TM e ETM⁺ do programa Landsat. A tabela 2 apresenta as características espectrais e espaciais dos respectivos sensores.

Tabela 2 – Característica espectral e espacial dos sensores TM e ETM⁺.

| Sensor | Banda | Resolução espectral (μm) | Região do espectro | Resolução espacial (m x m) |
|------------------|---------|--|---------------------------|-------------------------------|
| TM | 1 | 0,45 – 0,52 | Azul | 30 |
| | 2 | 0,52 – 0,60 | Verde | 30 |
| | 3 | 0,63 – 0,69 | Vermelho | 30 |
| | 4 | 0,79 – 0,90 | Infravermelho próximo | 30 |
| | 5 | 1,55 – 1,75 | Infravermelho médio | 30 |
| | 6 | 10,4 – 12,5 | Infravermelho termal | 120 |
| | 7 | 2,08 – 2,35 | Infravermelho médio | 30 |
| ETM ⁺ | 1 | 0,45 – 0,52 | Azul | 30 |
| | 2 | 0,53 – 0,61 | Verde | 30 |
| | 3 | 0,63 – 0,69 | Vermelho | 30 |
| | 4 | 0,79 – 0,90 | Infravermelho próximo | 30 |
| | 5 | 1,55 – 1,75 | Infravermelho médio | 30 |
| | 6 | 10,4 – 12,5 | Infravermelho termal | 120 |
| | 7 | 2,08 – 2,35 | Infravermelho médio | 30 |
| | 8 (Pan) | 0,52 – 0,90 | VIS infravermelho próximo | 15 |

Fonte: NASA (2009)

4.8.2. Processamento digital das imagens

A função básica do processamento digital é de fornecer ferramentas para facilitar a identificação e a extração da informação contidas nas imagens, para posterior interpretação. O resultado desse processo é a produção de outras imagens, contendo informações específicas, extraídas e realçadas a partir das imagens brutas (Crósta, 1992). Nesse contexto, o processamento digital é uma etapa preparatória e quase sempre obrigatório, da atividade de interpretação das imagens de sensoriamento remoto.

Neste estudo as imagens de satélites foram processadas utilizando os softwares Idrisi®Kilimanjaro (Clark Labs), Spring® 4.3.3 (INPE) e ENVI 4.2.

O pré-processamento das imagens envolveram as seguintes etapas: correção geométrica, correção atmosférica, conversão dos números digitais (ND) para valores de reflectância e correção radiométrica.

4.8.2.1. Correção Geométrica

O georeferenciamento das imagens LANDSAT foi feito utilizando o mosaico LANDSAT ETM + 2000 (Nasa, 2002) composto pelas bandas espectrais 2, 4 e 7 no formato comprimido MrSIDTM com projeção UTM e datum WGS-84, referente as zonas 20 e 21 Sul a qual abrange as áreas de estudo de Manaus e Alta Floresta, respectivamente.

O registro foi feito em cada imagem da série multitemporal de Manaus e Alta Floresta, utilizando 10 pontos de controles distribuídos de maneira uniforme pela imagem para garantir a perfeita sobreposição das cenas. Foi aplicado o modelo matemático polinomial de 1° grau e o método de interpolação *vizinho mais próximo*, o qual preserva o valor original do pixels. De acordo com Mather (1999) a utilização de 10-15 pontos de controles dão bons resultados quando empregado o polinômio de 1° grau em imagens Landsat e SPOT. A confiabilidade da alocação dos pontos de controle foi avaliada pelo menor valor do erro médio quadrático (RMS), sendo inferior a 1/5 de pixel (Daí e Khorram, 1998), o que corresponde a um bom grau de ajuste geométrico e confirma a qualidade dos pontos de controle utilizados.

As imagens 2004 (Alta Floresta) e 1989 (Manaus) georeferenciadas pelo mosaico LANDSAT ETM + 2000 foram utilizadas para co-registrar as demais imagens. Abaixo na Tabela 3, são apresentados os erros médios (RMS) para cada imagem.

Tabela 3 - Erro médio (RMS) das imagens utilizadas no estudo.

| Órbita/Ponto | Data de aquisição | Erro médio (RMS) |
|--------------|-------------------|------------------|
| 231/062 | 02/08/1989 | 0,29 |
| | 22/05/1992 | 0,16 |
| | 07/07/1997 | 0,15 |
| | 27/08/2001 | 0,12 |
| | 30/06/2006 | 0,14 |
| 227/067 | 12/06/2004 | 0,19 |
| | 30/05/2005 | 0,18 |

4.8.2.2. Correção atmosférica

Com objetivo remover os efeitos ou interferências atmosféricas, foi aplicada a correção atmosférica nas quatro primeiras bandas espectrais das imagens LANDSAT 5 TM de 1989 (231/062) e 2004 (227/067), referentes as áreas de Manaus e Alta floresta. Nesta etapa utilizou-se o método COS(TZ) ou COST descrito por Chavez (1996), que utiliza o coseno do ângulo zenital solar. Este método basea-se na subtração do pixel escuro (DOS- “*Dark-Object Subtraction*”) para remover ou diminuir os efeitos atmosféricos (Chavez, 1988). No processamento foi utilizado um algoritmo de linguagem LEGAL (*Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico*) do programa SPRING, baseado no método desenvolvido por Skirvin (2004) (Anexo 1).

As etapas deste processamento consistiram no cálculo da radiância mínima do alvo em cada banda, radiância de fundo igual a 1% , radiância corrigida de névoa e reflectância aparente. As equações de cada etapa são descritas a seguir.

Radiância mínima do alvo

$$R_{\lambda, \min} = L_{\min\lambda} + QCAL * (L_{\max\lambda} - L_{\min\lambda}) / QCALMAX$$

onde:

$R_{\lambda, \min}$ = radiância mínima do alvo ($W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$)

QCAL = o número digital (DN) mínimo ou valor do pixel escuro na banda i ;

$L_{\min\lambda}$ = radiância espectral equivalente ao nível digital mínimo (DN=0);

$L_{\max\lambda}$ = radiância espectral equivalente ao nível digital máximo (DN=255).

O valor do pixel escuro (QCAL) foi selecionado em função da análise do histograma de frequência das bandas espectrais do visível (Bandas 1, 2 e 3) e do infravermelho próximo (Banda 4), por serem as regiões do espectro mais afetadas pela atmosfera (Chavez, 1988). A análise do histograma incluiu somente uma parte da cena, onde estão localizadas as áreas de estudo. O modelo de espalhamento relativo de Rayleigh foi adotado em virtude das condições atmosféricas consideradas “muito limpa” (λ^{-4}).

Radiância de fundo igual a 1%

Uma radiância de fundo igual a 1% de reflectância do pixel escuro (Chavez, 1996) foi processada em cada banda espectral, usando a seguinte equação:

$$R_{\lambda, 1\%} = 0,01 * ESol_{\lambda} * \cos^2 \theta / (\pi * d^2)$$

onde:

L_{λ} = radiância de fundo igual a 1%;

$ESol_{\lambda}$ = irradiância exoatmosférica solar na banda i ;

θ = ângulo zenital solar na data local e hora de aquisição;

d = distância Terra-Sol em unidade astronômicas, no dia da aquisição da imagem.

Radiância corrigida de névoa em cada banda

$$R_{\lambda, \text{nevoa}} = L_{\text{min}\lambda} - L_{\lambda, 1\%} \quad (\text{Chavez, 1996})$$

Reflectância aparente ou superfície

Os valores de radiância obtidos foram convertidos em reflectância aparente (ρ) empregando a equação descrita por Chavez (1996).

$$\rho = \pi * (L_{\lambda} - L_{\lambda, \text{nevoa}}) * d^2 / ESol_{\lambda} * \cos^2 \theta$$

sendo, L_i a radiância bruta recebida pelo sensor expressa pela equação:

$$L_{\lambda} = (ND - \text{Offset}) / \text{Gain}$$

ou expressa por

$$L_{\lambda} = L_{\text{min}\lambda} + ND_{\lambda} * (L_{\text{max}\lambda} - L_{\text{min}\lambda}) / 255$$

onde:

ND_{λ} = valor digital de um pixel na banda i .

As bandas referentes a região do infravermelho próximo (5 e 7), foram convertidas em valores de reflectância aparente, sem a correção atmosférica, devido serem pouco afetadas pelos efeitos atmosféricos segundo Slater (1980). Neste processo, foi usada a equação desenvolvida por Markham e Barker (1986):

$$\rho = \pi * L_i * d^2 * / ESol_i * \cos (\theta)$$

Os valores de radiância espectral L_{min} , L_{max} e irradiância espectral exoatmosférica solar (E_{sol}) para cada banda do satélite LANDSAT 5 TM e ETM são apresentados nas tabelas 4, 5 e 6, respectivamente.

Tabela 4 - Valores radiância espectral, L_{min_λ} e L_{max_λ} ($W / m^2 \cdot sr \cdot \mu m$) Landsat 5 TM

| LANDSAT 5 TM | | | | | | |
|---------------------|-------------------------------|------------------------|--------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Banda | De 01/03/84 à 04/05/03 | | De 05/05/03 à 01/04/007 | | Após 01/04/2007 | |
| | <i>L_{min}</i> | <i>L_{max}</i> | <i>L_{min}</i> | <i>L_{max}</i> | <i>L_{min}</i> | <i>L_{max}</i> |
| 1 | -1,52 | 152,10 | -1,52 | 193,0 | - 1,52 | 169,0 |
| 2 | -2,84 | 296,81 | -2,84 | 365,0 | -2,84 | 333,0 |
| 3 | -1,17 | 204,30 | -1,17 | 264,0 | -1,17 | 264,0 |
| 4 | -1,51 | 206,20 | -1,51 | 221,0 | -1,51 | 221,0 |
| 5 | -0,37 | 27,19 | -0,37 | 30,2 | -0,37 | 30,2 |
| 7 | -0,15 | 14,38 | -0,15 | 16,5 | -0,15 | 16,5 |

Fonte: Chander, Markham e Barsi (2007)

Tabela 5 - Valores radiância espectral, $L_{min,\lambda}$ e $L_{max,\lambda}$ ($W / m^2 \cdot sr \cdot \mu m$) Landsat 7 ETM+

| LANDSAT 7 ETM + | | | | |
|------------------------|-------------------------|--------------------|------------------------|--------------------|
| Banda | Antes 01/07/2000 | | Após 01/07/2000 | |
| | <i>Lmin</i> | <i>Lmax</i> | <i>Lmin</i> | <i>Lmax</i> |
| 1 | - 6,2 | 194,3 | -6,2 | 191,6 |
| 2 | - 6,0 | 202,4 | -6,4 | 196,5 |
| 3 | - 4,5 | 158,6 | -5,0 | 152,9 |
| 4 | - 4,5 | 157,5 | -5,1 | 157,4 |
| 5 | -1,0 | 31,76 | -1,0 | 31,06 |
| 7 | -0,35 | 10,932 | -0,35 | 10,80 |

Fonte: NASA (2007)

Tabela 6 - Valores de irradiância exoatmosférica solar ($ESol_{\lambda}$) utilizados na transformação dos número digitais (ND) para valores de reflectância aparente.

| Banda | LANDSAT TM 5 ($W/(m^2 \cdot \mu m)$) | LANDSAT 7 ETM+ ($W/(m^2 \cdot \mu m)$) |
|-------|--|--|
| 1 | 1957 | 1969 |
| 2 | 1826 | 1840 |
| 3 | 1554 | 1551 |
| 4 | 1036 | 1044 |
| 5 | 215,0 | 225,7 |
| 7 | 80,67 | 82,07 |

Fonte: Chander e Markham (2003) e NASA (2006)

4.8.2.3. Correção Radiométrica

Este processo consiste na normalização dos valores radiométricos das imagens adquiridas em diferentes datas ou por diferentes sensores e em diferentes condições atmosférica. De acordo com Ya'allah e Saradjian (2005) a normalização diminui as diferenças nas condições de imageamento, retificando radiometricamente as imagens de modo como se elas tivessem sido adquiridas sob as mesmas condições. Segundo Hall *et al.* (1991), a retificação compensa as diferenças de calibração dos sensores, a atmosfera e os diferentes ângulos de iluminação entre as imagens.

Neste estudo o método de Hall *et al.* (1991) foi usado para minimizar os efeitos dos diferentes ângulos de iluminação entre as imagens, condições atmosféricas diferentes entre outros, no conjunto de imagens multitemporal de Mananus e Alta Floresta. Este método consiste basicamente em dois passos:

(1) Formação de um conjunto de pontos de controle com pouca ou nenhuma variação média de reflectância. Os membros desse conjunto não são necessariamente os mesmos pixels das imagens a serem normalizadas ou retificadas, mas dos extremos não-vegetais das imagens *greenness* e *brightness* obtidos por meio de uma transformação de Kauth-Thomas (KT) (Kauth e Thomas, 1976);

(2) Retificação das imagens, usando uma transformação linear por meio do cálculo dos coeficientes de retificação radiométrica usados para igualar as médias das bandas individuais dos conjuntos de pontos de controle selecionados em cada imagem.

O método é descrito pela seguinte equação:

$$T_i = m_i * x_i + b_i$$

Onde:

T_i = imagem retificada;

x_i = valor de reflectância da imagem original;

m_i e b_i = coeficientes de retificação.

Os coeficientes de retificação (m_i e b_i) são dados pelas seguintes equações:

$$m_i = (B_{Ri} - D_{Ri}) / (B_{Si} - D_{Si})$$

$$b_i = (D_{Ri} * B_{Si} - D_{Si} * B_{Ri}) / (B_{Si} - D_{Si})$$

Onde:

B_{Ri} = média de reflectância dos alvos *claros* da imagem de referência;

D_{Ri} = média de reflectância dos alvos *escuros* da imagem de referência;

B_{Si} = média de reflectância dos alvos *claros* da imagem a ser retificada e,

B_{Ri} = média de reflectância dos alvos *escuro* da imagem á ser retificada.

A Figura 23 ilustra as etapas necessárias para a retificação ou normalização radiométrica.

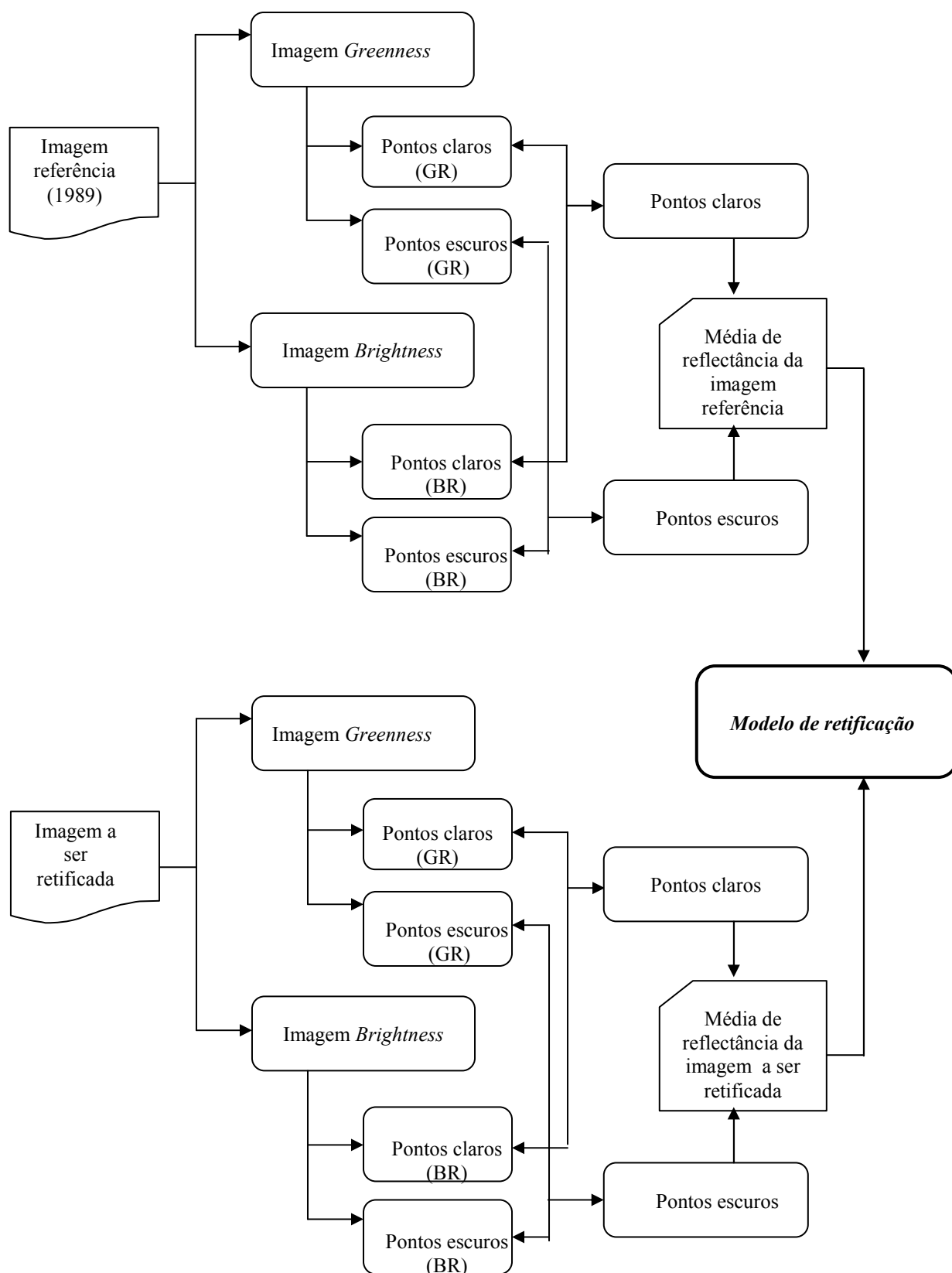


Figura 23 – Esquema das etapas da retificação radiométrica.

Fonte: Graça (2004) – adaptado de Lorena (2001).

4.8.2.4. Índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI)

Estudos iniciais no monitoramento da vegetação demonstraram que o uso das bandas vermelha e infravermelho próximo foram particularmente bem combinadas no estudo da vegetação. As diferentes combinações entre estas bandas são chamadas de índices de vegetação. Os índices de vegetação são fórmulas matemáticas desenvolvidas para avaliar a cobertura vegetal qualitativamente e quantitativamente, usando medidas espectrais (Bannari *et al.*, 1995). De acordo com Ponzoni (2001), os índices de vegetação são considerados como indicadores de crescimento e vigor da vegetação, e podem ser usados para diagnosticar vários parâmetros biofísicos com os quais apresentam altas correlações (índice de área foliar, biomassa, atividade fotossintética, porcentagem de cobertura do solo e produtividade).

Uma grande variedade de índices de vegetação é proposto na literatura para estimar a biomassa e espacializar a sua distribuição na superfície terrestre, dentre os diversos índices, o NDVI (*Índice de vegetação da diferença normalizada*) tem sido o mais usado no estudo da vegetação. Este índice foi desenvolvido por Rouse *et al.* (1974), onde o cálculo do NDVI é realizado usando os valores de reflectância das bandas do vermelho e infravermelho próximo.

$$\text{NDVI} = (\text{IVP}) - (\text{V}) / (\text{IVP}) + (\text{V})$$

Onde:

IVP = reflectância na banda do infravermelho próximo;

V = reflectância na banda do vermelho.

4.8.2.5. Índice de vegetação ajustado para efeito do solo (SAVI)

Com o objetivo de promover a melhor caracterização da floresta primária (densa e aberta) e da floresta secundária, para cada imagem foi também empregado o índice de vegetação SAVI, proposto por Huete (1988) que visa reduzir as influências do solo sob os dosséis parcialmente cobertos. O SAVI é expresso pela seguinte fórmula:

$$\text{SAVI} = (\text{IVP} - \text{V}) / (\text{IVP} + \text{V} + \text{L}) \cdot (1 + \text{L})$$

Onde:

IVP = reflectância na banda do infravermelho próximo;

V= reflectância na banda do vermelho;

L = fator de cobertura/exposição do solo.

Neste estudo utilizou-se o L=0.5 (densidade intermediária) e L=0.25 (Alta densidade).

4.8.2.6. Modelo Linear de Mistura espectral

O modelo linear de mistura espectral (MLME) foi usado neste estudo com objetivo de estimar ou isolar a proporção dos componentes solo, vegetação e sombra, dentro de cada pixel, a partir da resposta espectral das 6 bandas do satélite Landsat 5 TM e Landsat 7 ETM+, gerando as imagens-fração. Na geração das imagens-fração, para cada área amostral, aplicou-se o método dos mínimos quadrados (Shimabukuro e Smith, 1991). A determinação dos valores espectrais de cada um dos componentes do modelo, foi realizada através da escolha de alvos puros (*endmembers*) dentro das imagens, como solo nu para a componente solo, áreas de capoeira para a componente vegetação e água sem sedimentos para a componente sombra.

O modelo linear de mistura espectral foi determinado pela equação descrita por Shimabukuro *et al.* (1997):

$$r_i = a*vegetação_i + b*solo_i + c*sombra_i + e_i$$

onde:

r_i = resposta do pixel na banda i

a = proporção de vegetação

b = proporção do solo

c = proporção da sombra (ou água)

$vegetação_i$, $solo_i$ e $sombra$, são as respostas espectrais de cada um destes componentes na banda i e,

e_i = erro na banda i .

As aplicações do modelo de mistura espectral no monitoramento da vegetação e do uso do solo têm apresentado resultados satisfatórios e eficientes nos últimos anos, principalmente, nas propostas de avaliação de áreas desmatadas e de exploração seletiva na Amazônia (Shimabukuro *et al.*, 1997, 1999; Souza e Barreto, 2000 e Monteiro *et al.*, 2003).

4.8.3. Obtenção dos valores digitais nas imagens e derivadas

As parcelas de campo foram sobrepostas às imagens de reflectância, imagens NDVI, SAVI e imagens proporção vegetação e sombra, geradas para cada satélite, onde foram extraídos os valores digitais de 14 pixels correspondentes a cada parcela (100 x 100m).

4.9. Análise estatística

Foi feita análise de variância (ANOVA), comparação entre as médias dos fatores estudados nos diferentes tipos florestais com base no teste de Tukey e modelos de regressão. Para execução das análises estatísticas foi usado o programa SYSTAT, versão 10.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Composição florística e análise estrutural de uma floresta secundária e primária na Amazônia matogrossense (Região de Alta Floresta)

5.1.1. Composição florística

Florestas secundárias

Nas 4 parcelas de florestas secundárias estudadas na Fazenda Caiabi foram amostrados um total de 2.105 indivíduos com DAP \geq 5 cm, sendo 298 e 431 indivíduos nas parcelas com 5 anos de idade, denominadas FS-D e FS-E, respectivamente. Nas parcelas com 8 anos de idade, denominadas FS-A e FS-B foram registrados 646 e 730 indivíduos, respectivamente. Os indivíduos amostrados nestas parcelas pertencem a 24 famílias, 43 gêneros e 55 espécies.

Nas duas parcelas com 5 anos de idade (FS-D e FS-E) foram registrados 729 indivíduos, distribuídos em 18 famílias, 28 gêneros e 33 espécies. Na área FS-D as famílias com maior número de espécies foram: Apocynaceae (4), Caesalpiniaceae e Mimosaceae (3), Annonaceae (2), Cecropiaceae e Sterculiaceae (1) (Figura 24).

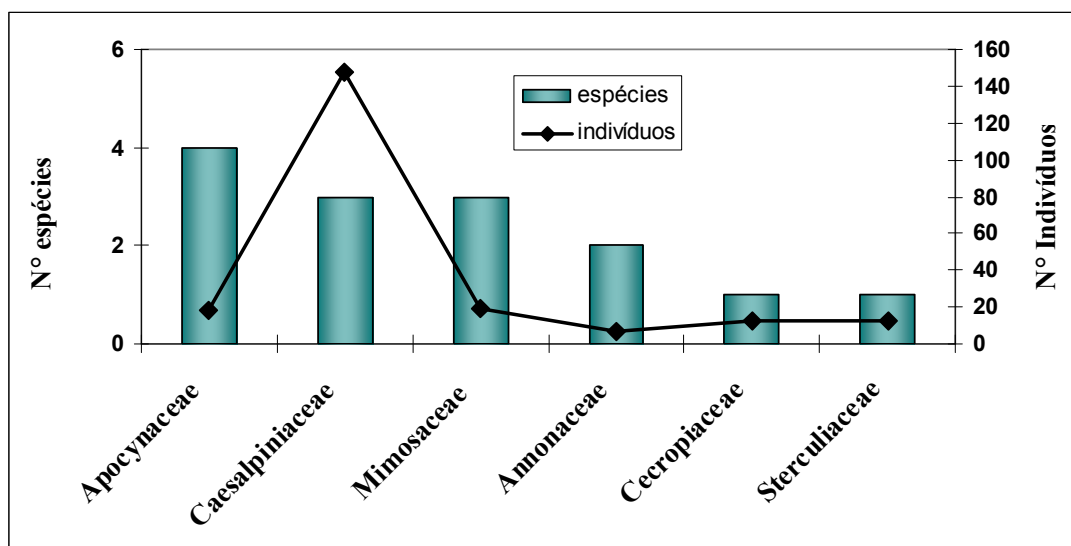


Figura 24 - Número de espécies e indivíduos por família na floresta secundária com 5 anos de idade (FS-D).

Verifica-se ainda na Figura 24, que as famílias Apocynaceae, Caesalpiniaceae, Mimosaceae, Annonaceae, Cecropiaceae e Sterculiaceae foram as mais representativas, com 18, 148, 19, 7, 12 e 12 indivíduos, respectivamente. Estas famílias representam 72,48% de todos os indivíduos amostrados. Nesta parcela observou-se a dominância da espécie

Sclerolobium paniculatum Vogel (carvoeiro) da família Caesalpiniaceae e, poucos indivíduos do gênero *Cecropia* (12). O baixo número de indivíduos de *Cecropia* pode está relacionado ao tempo entre o corte raso e a queima, ou seja, esta parcela foi cortada em 1998 e queimada em 1999 e em seguida abandonada sem uso do solo. No intervalo entre o corte e a queima, as *Cecropia* provavelmente invadiram a parcela mas foram eliminadas pelo fogo, pois estas espécies não são resistentes ao fogo (Uhl e Jordan, 1984). Nesta parcela a severidade do fogo foi maior (consumo de biomassa de 61,5%) do que nas outras parcelas do experimento “Combustão de Material de Diferentes Tamanhos em Queimadas de Florestas Tropicais” (Carvalho *et al.*, 2001).

Na parcela FS-E as famílias com maior número de espécies foram: Caesalpiniaceae (6), Mimosaceae (3), Annonaceae, Lauraceae, Annonaceae e Apocynaceae (2), Cecropiaceae, Myrtaceae, Solanaceae, Bombacaceae e Bignoniaceae (1) (Figura 25).

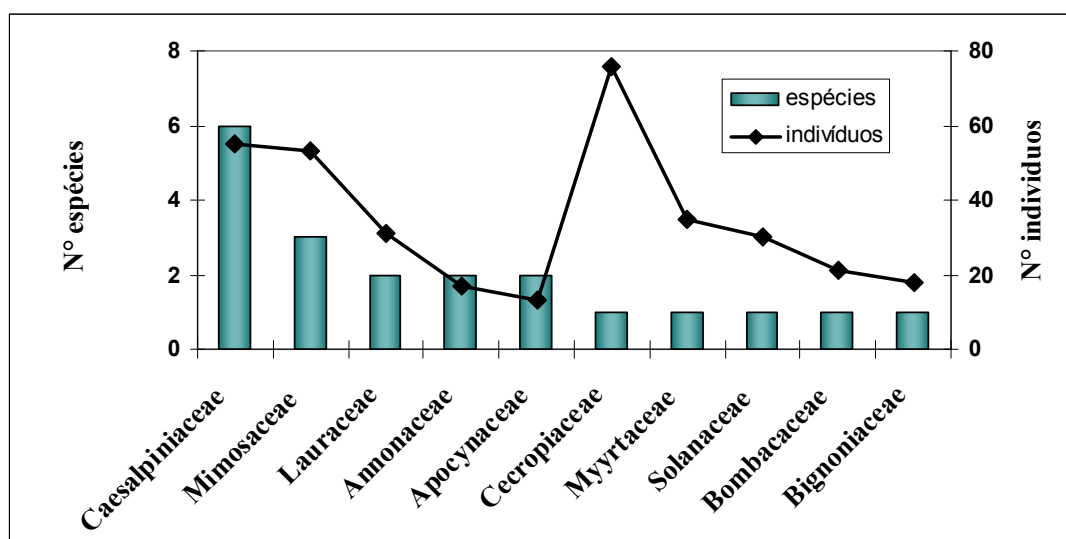


Figura 25 - Número de espécies e indivíduos por família na floresta secundária com 5 anos de idade (FS-E).

Observa-se na Figura 25, que as famílias Caesalpiniaceae, Mimosaceae, Lauraceae, Annonaceae, Apocynaceae, Cecropiaceae, Myrtaceae, Solanaceae, Bombacaceae e Bignoniaceae foram as mais representativas, com 55, 53, 31, 17, 13, 76, 35, 30, 21 e 18 indivíduos, respectivamente. Estas famílias representam 80,97% de todos os indivíduos amostrados.

Araújo (1999) estudando áreas de floresta secundária com idades entre 4 a 6 anos em Roraima, catalogou um total de 45 espécies distribuídas 33 famílias, estes valores foram

superiores ao encontrado nas parcelas amostrais de floresta secundária com 5 anos de idade realizadas neste estudo.

Nas parcelas com com 8 anos de idade (FS-A e FS-B) foram registados 1376 indivíduos, distribuídos em 20 famílias, 35 gêneros e 41 espécies. Na parcela FS-A as famílias com maior número de espécies foram: Caesalpiniaceae (5), Apocynaceae, Lauraceae e Mimosaceae (3), Cecropiaceae e Euphorbiaceae (2) e Burseraceae (1) (Figura 26).

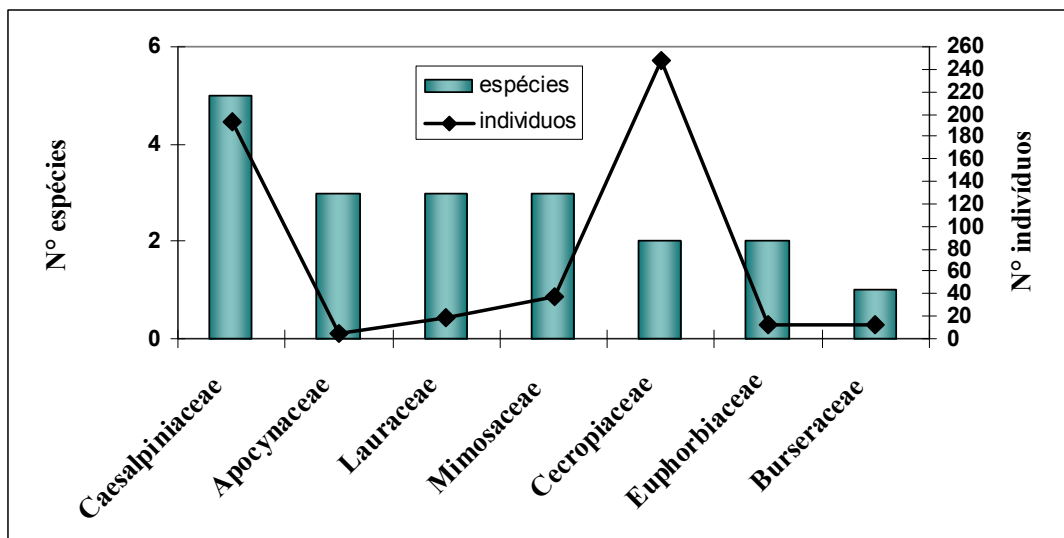


Figura 26 - Número de espécies e indivíduos por família na floresta secundária com 8 anos de idade (FS-A).

Nessa área, as famílias Caesalpiniaceae, Apocynaceae, Lauraceae, Mimosaceae, Cecropiaceae, Euphorbiaceae e Burseraceae foram as mais representativas, com 193, 4, 18, 37, 248, 13 e 12 indivíduos, respectivamente. Estas famílias representam 81,3% de todos os indivíduos amostrados.

Na área FS-B as famílias com maior número de espécies foram: Mimosaceae (3) Apocynaceae, Bignoniaceae, Caesalpiniaceae, Cecropiaceae e Moraceae (2) e Burseraceae (1) (Figura 27).

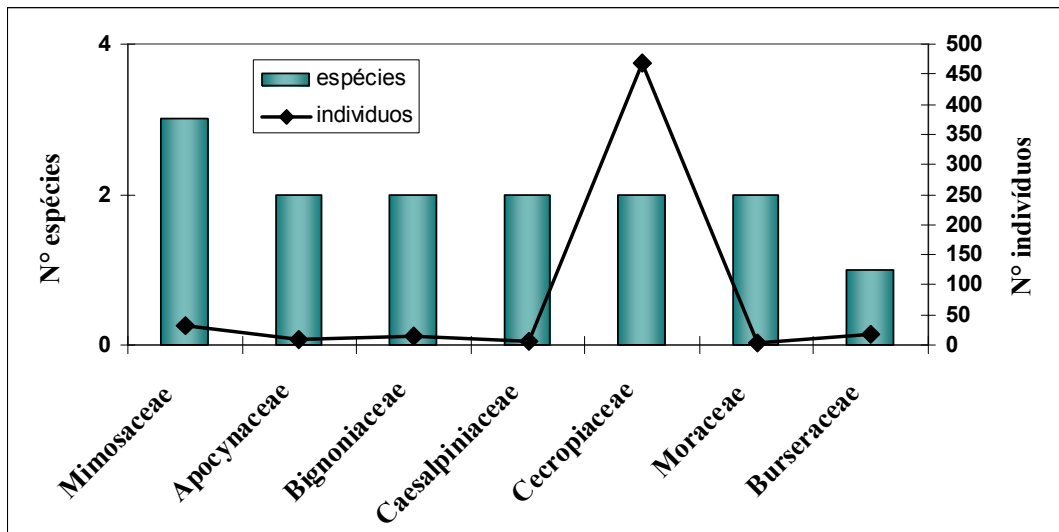


Figura 27 - Número de espécies e indivíduos por família na floresta secundária com 8 anos de idade (FS-B).

Observa-se ainda na Figura 27 que as famílias Mimosaceae, Apocynaceae, Bignoniaceae, Caesalpiniaceae, Cecropiaceae, Moraceae e Burseraceae foram as mais representativas, com 33, 8, 14, 5, 468, 4 e 18 indivíduos, respectivamente. Estas famílias representam 75,3% de todos os indivíduos amostrados.

As famílias que tiveram a maior riqueza em espécies nas 4 capoeiras amostradas foram Apocynaceae na área denominada FS-D (5 anos), Caesalpiniaceae na área FS-E (5 anos) e FS-A (8 anos) e na área FS-B (8 anos), Mimosaceae.

Floresta ombrofila aberta (primária)

Nas duas áreas amostrais de florestas primárias (FP-H e FP-I) foram inventariados um total de 305 indivíduos com DAP ≥ 10 cm, sendo 156 indivíduos na floresta primária denominada (FP-H) e 149 indivíduos na floresta primária (FP-I), pertencentes a 19 famílias, 35 gêneros e 49 espécies.

Na floresta primária (FP-H) foram registrados 156 indivíduos, distribuídos em 15 famílias, 19 gêneros e 24 espécies. As famílias com maior número de espécies foram: Annonaceae (3), Apocynaceae, Caesalpiniaceae, Cecropiaceae, Meliaceae, Mimosaceae e Lauraceae (2), Sterculiaceae e Moraceae (1) (Figura 28). Verifica-se que estas famílias representam conjuntamente 58,3% de todos os indivíduos amostrados. Nesta parcela, a família Cecropiaceae destacou-se quanto ao número de indivíduos, ou seja, pela presença

dominante das espécies pioneiras embaúba-vermelha (*Cecropia sciadophylla* Mart.) e embaúba (*Cecropia* sp). Esta dominância do gênero *Cecropia* pode ser explicada, provavelmente, pela proximidade da parcela com o pasto e com a parcela C (área desflorestada para o teste em carbono, cortada e queimada em 1998 sendo em seguida abandonada sem uso do solo) (Carvalho *et al.*, 2001). No levantamento realizado por Malheiros (2000) na área da fazenda Caiabi, o autor também verificou que a espécie *Cecropia* sp obteve o maior número de indivíduos em área de floresta primária.

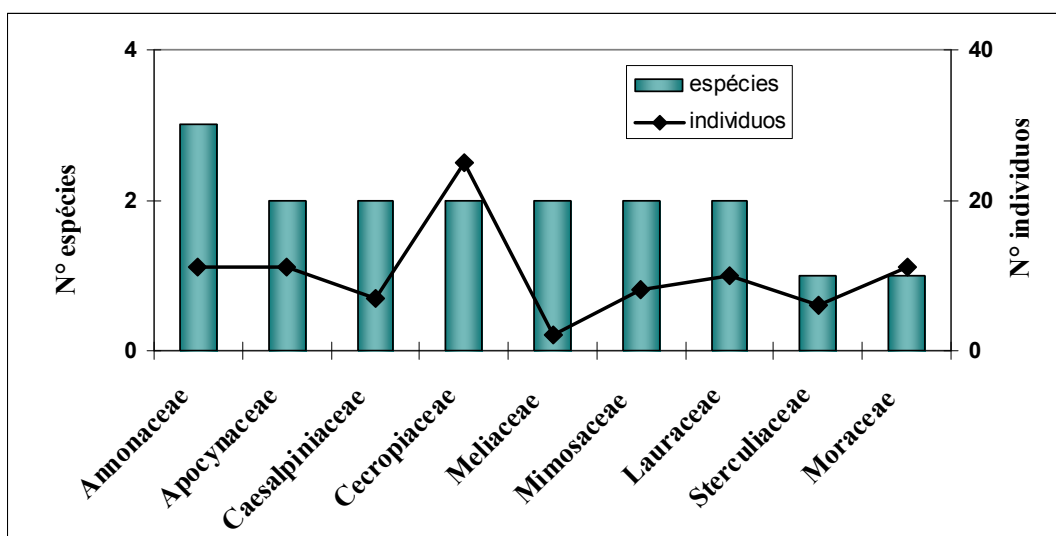


Figura 28 - Número de espécies e indivíduos por família na floresta primária (FP-H).

Na floresta primária (FP-I) foram inventariados 149 indivíduos, distribuídos em 16 famílias, 24 gêneros e 35 espécies. As famílias com maior número de espécies foram: Apocynaceae (5), Caesalpinaceae, Fabaceae e Moraceae (4), Burseraceae e Lauraceae (3), Mimosaceae (2), Annonaceae, Cecropiaceae e Meliaceae (1) (Figura 29).

Observa-se ainda na Figura 29 que estas famílias foram as mais representativas, com 17, 5, 9, 35, 18, 8, 7, 6, 6 e 6 indivíduos, respectivamente. Estas famílias representam conjuntamente 78,5% de todos os indivíduos inventariados.

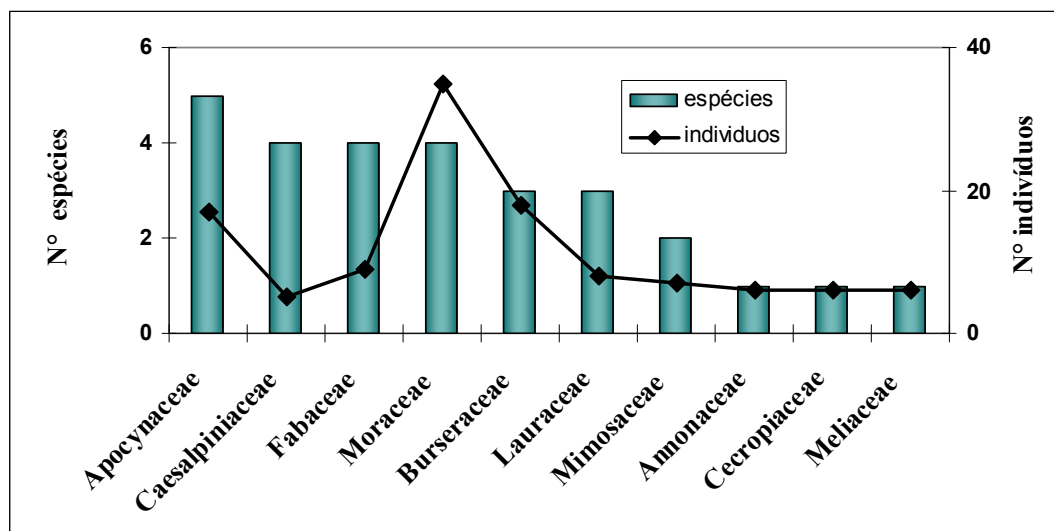


Figura 29 - Número de espécies e indivíduos por família na floresta primária (FP-I).

As famílias que obtiveram a maior riqueza de espécies nas duas parcelas amostradas foram Annonaceae com 3 espécies na área FP-H e na área FP-I, Apocynaceae com 5 espécies.

Nas parcelas amostrais de florestas primárias deste estudo, o número de espécie e famílias foram menores que o encontrado na floresta primária de Roraima, onde Araújo (1999) catalogou 141 espécies pertencentes a 45 famílias.

5.1.2. Parâmetros dendrométricos

As estimativas descritivas para o número de indivíduos, área basal (AB), volume (V), biomassa seca e do estoque de carbono (C) por hectare, para os indivíduos com DAP ≥ 5 cm, nas florestas secundárias (capoeiras) e DAP ≥ 10 cm nas florestas primária são apresentadas na tabela 7.

Tabela 7 – Dados descritivos dos parâmetros dendrométricos por hectare de cada amostras inventariadas.

| Floresta | Nº de Ind. | AB (m ²) | V (m ³) | Pseco (t) | C (t) |
|-----------------------|-------------|----------------------|---------------------|---------------|---------------|
| 5 anos (FS-D) | 827 | 7,10 | 79,94 | 27,51 | 13,20 |
| 5 anos (FS-E) | 1197 | 10,04 | 113,42 | 36,67 | 17,60 |
| 8 anos (FS-A) | 1794 | 14,49 | 162,30 | 51,62 | 24,78 |
| 8 anos (FS-B) | 2027 | 21,85 | 250,20 | 73,16 | 35,12 |
| Flor. primária (FP-H) | 433 | 13,38 | 163,06 | 192,94 | 93,58 |
| Flor. primária (FP-I) | 413 | 16,98 | 210,56 | 242,01 | 117,37 |

Número de indivíduos

Na fazenda Caiabi em Alta Floresta (Mato Grosso), as parcelas amostrais de florestas secundárias (capoeiras) com 1 ha cada denominadas de área FS-D, FS-E, FS-A e FS-B, apresentaram 298, 431, 646 e 730 indivíduos respectivamente.

Nas florestas secundárias (capoeiras FS-D e FS-E) com 5 anos de idade a distribuição diamétrica dos 729 indivíduos em relação às classes de $DAP \geq 5$ cm, apresenta a forma de um “J” invertido (Figura 30), com maior número de indivíduos na classe diamétrica ($5 \leq DAP < 10$), correspondendo em termos percentuais a 60,4% e 66,6% respectivamente.

Nas florestas secundárias (capoeiras FS-A e FS-B) com 8 anos de idade, verificou-se o mesmo comportamento da floresta secundária com 5 anos de idade. A classe diamétrica de $5 \leq DAP < 10$ concentrou o maior número de indivíduos, sendo 411 para a floresta FS-A e 395 para a floresta FS-B. Em termos percentuais isso corresponde, respectivamente, a 63,6% e 54,1%.

As capoeiras estudadas em Alta Floresta (MT) obtiveram o mesmo comportamento que as capoeiras de Manaus (MT), com relação a distribuição dos indivíduos em várias classes diamétricas.

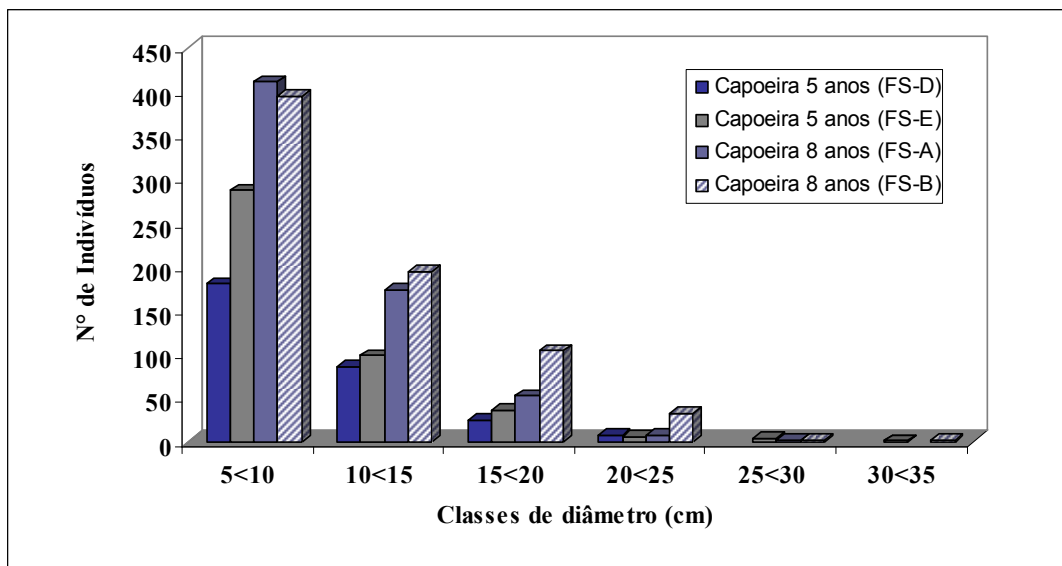


Figura 30 - Número total de indivíduos por classe de diâmetro nas áreas de capoeiras.

Nas parcelas amostrais de floresta primária denominadas “FP-H” e “FP-I” foram inventariados 156 e 149 indivíduos, respectivamente, distribuídos em várias classes de diâmetro. Na floresta “FP-H” 107 indivíduos encontram-se na menor classe diamétrica ($10 \leq$

DAP < 20), correspondendo em termos percentuais a 68,6 % (Figura 31). A floresta primária “FP-I” apresentou o mesmo comportamento da área “FP-H”, com 81 indivíduos na primeira classe de diâmetro, correspondendo em termos percentuais a 54,4%. Malheiros (2000) estudando duas parcelas de 1 ha cada de floresta primária na Fazenda Caiabi, constatou um total de 1101 indivíduos distribuídos em várias classes diamétricas (DAP ≥ 10 cm). Os resultado encontrado por este autor foi o mesmo obtido nas áreas amostrais de floresta primária realizadas neste estudo, onde o maior número de indivíduos encontram-se nas classes de menor diâmetro.

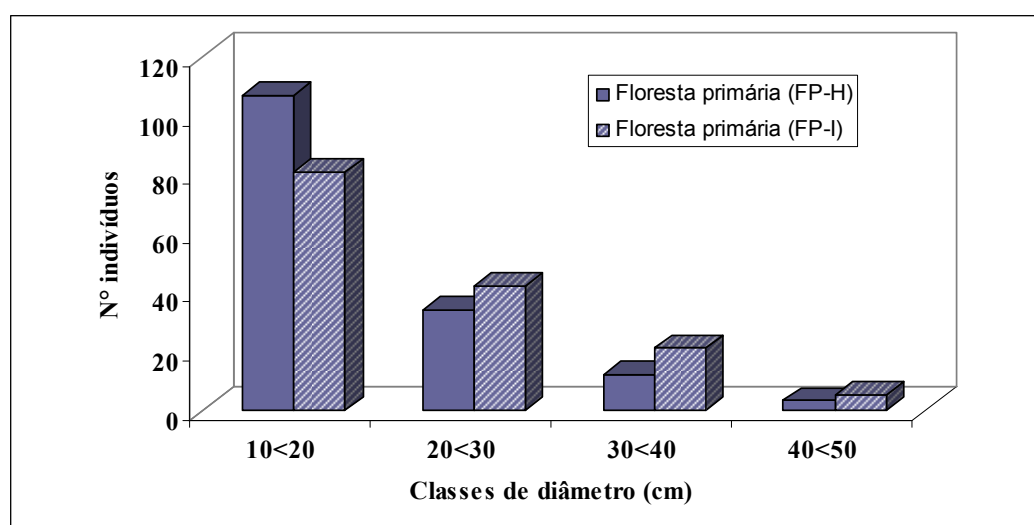


Figura 31 - Número total de indivíduos por classe de diâmetro nas áreas de floresta primária (MT)

Área basal

Neste estudo a área basal total variou de 7,10 m².ha⁻¹, para a floresta secundária com 5 anos de idade (FS-B) à 21,8 m² ha⁻¹, para a floresta secundária com 8 anos de idade. A área basal total para as florestas primárias FP-H e FP-I com DAP ≥ 10, respectivamente, foram: 13,38 e 16,98 m² ha⁻¹ (Figura 32).

As espécies que apresentaram maior área basal foram: *Sclerolobium paniculatum* Vogel (carvoeiro) com 3,41 m² ha⁻¹ (capoeira com 5 anos - FS-D), *Cecropia sciadophylla* Mart. (Embaúba-vermelha) com 3,21, 5,04 e 17,95 m² ha⁻¹ (capoeira com 5 anos - FS-E, 8 anos – FS-A e 8 anos – FS-B), respectivamente), *Brosimum guianense* (Aubl.) Huber (Leiteira) com 1,89 m² ha⁻¹ (floresta primária FP-H) e *Brosimum angustifolium* Ducke (Leiteira inharé) com 2,93 m² ha⁻¹ (floresta primária FP-I).

A área basal média da floresta primária de $15,18 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, encontrada neste trabalho, foi menor que a média estimada por Malheiros (2000) para a mesma área de floresta com $26,61 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ e Matos (2006) que registrou uma média de área basal de $31,75 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ em floresta ombrófila densa de terra firme em Manaus. No Estado do Pará, Ribeiro *et al.* (1999) encontraram $15,41 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ em Carajás e, $17,35 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ em Marabá. O valor encontrado em Carajás foi praticamente o mesmo obtido neste trabalho. No Acre, Amaro (1993) obteve $17,71 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ para indivíduos com $\text{DAP} \geq 20 \text{ cm}$. Em Carajás-PA, Salomão *et al.* (1988) encontraram um valor de $21,59 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ em uma floresta de terra firme, o mesmo valor encontrado por Silva e Rosa (1989), também na região de Carajás ($21,46 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$).

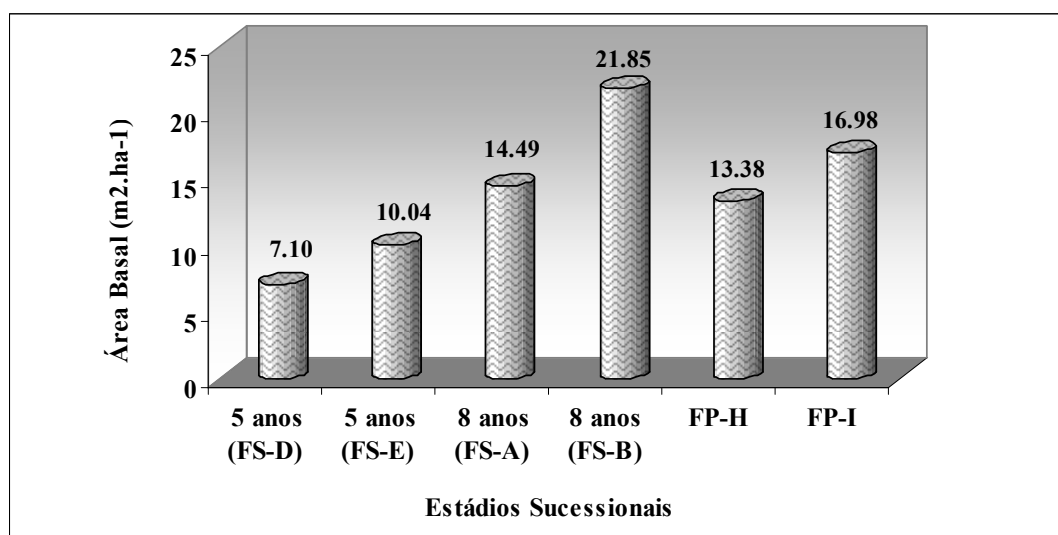


Figura 32 - Área basal total por hectare dentro de cada estágio sucessionais na região de Alta Floresta (MT).

Volume

Considerando as espécies com $\text{DAP} \geq 5 \text{ cm}$ e 10 cm inventariadas, o volume total por hectare para as capoeiras FS-D, FS-E (5 anos), FS-A e FS-B (8 anos), respectivamente, foram: $79,9$, $113,4$, $162,3$ e $250,2 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Para as florestas primárias FP-H e FP-I o volume registrado foram: $163,1$ e $210,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (Figura 33).

O volume total encontrado nas duas áreas de floresta primária foi de $186,85 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, o valor para volume do presente trabalho é inferior ao levantamento realizado por Malheiros (2000) na mesma área, de $304,74 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Em Rondônia, Maciel e Lisboa (1989) registraram um volume de $320,82 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, para $\text{DAP} \geq 9,55 \text{ cm}$, este valor foi superior ao encontrado

neste estudo. Segundo Higuchi *et al.* (1985) a média do volume para Amazônia é de 200 m³ ha⁻¹ para árvores com DAP ≥ 25 cm.

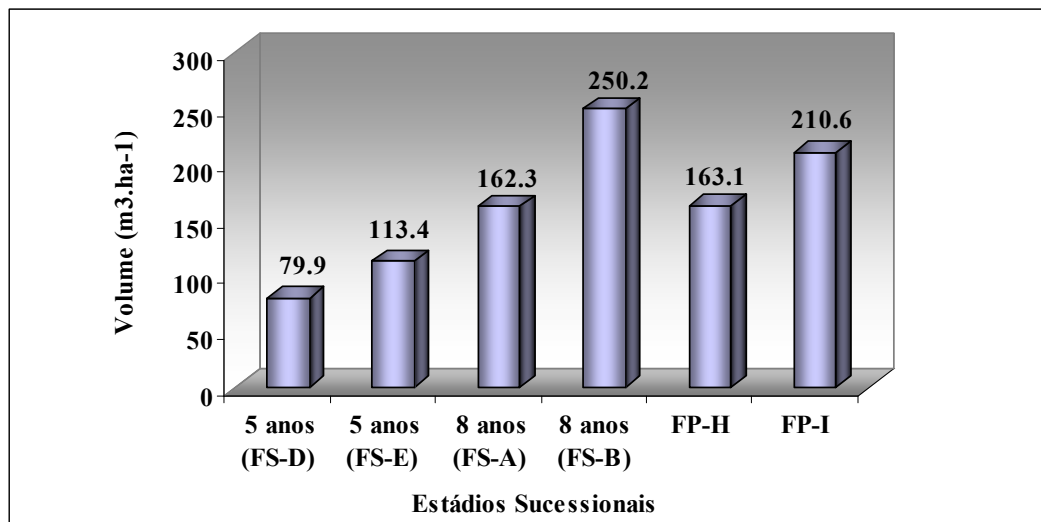


Figura 33 - Volume total por hectare em cada estádios sucessional na região de Alta Floresta (MT).

Biomassa seca e Carbono

A biomassa seca total estimada, acima do solo, para florestas secundárias com 5 anos de idade (FS-D e FS-E) foram 27,5 t ha⁻¹ e 36,7 t ha⁻¹, respectivamente. Para as florestas secundárias com 8 anos de idade (FS-A e FS-B), a biomassa seca total foram de 51,6 t. ha⁻¹ e 73,2 t ha⁻¹, respectivamente (Figura 34). A biomassa média encontrada e intervalo de confiança em cada classe de idade estudada, FS-D, FS-E, FS-A e FS-B, respectivamente, foram: 27,51 t ha⁻¹ ± 13,3 ; 36,67 t ha⁻¹ ± 5,9; 51,62 t ha⁻¹ ± 14,6 e 73,18 t ha⁻¹ ± 9,3. Constatou-se nos resultados que quanto mais velha a capoeira, maior é a biomassa acumulada nas plantas.

Pereira (1996) estudando capoeiras com 5 e 9 anos, obteve valores de biomassa superiores ao estimado neste estudo (77,0 e 112,4 Mg. ha⁻¹, respectivamente).

Nas áreas de floresta primária, denominadas FP-H e FP-I as estimativas da biomassa seca total foram: 192,9 t ha⁻¹ e 242,0 t ha⁻¹, respectivamente (Figura 34). As médias de biomassa seca encontrada e intervalo de confiança em cada área de floresta primária, respectivamente, foram: 192,94 t ha⁻¹ ± 47,4 e 242,01 t ha⁻¹ ± 74,6.

O estoque de carbono total por hectare determinado para cada parcela amostral de capoeira (FS-D, FS-E, FS-A e FS-B) foram: de 13,2; 17,6; 24,78 e 35,12 tC ha⁻¹,

respectivamente. Nas parcelas amostrais de floresta ombrófila aberta (FP-H e FP-I) o estoque de carbono total por hectare foram, respectivamente, 192,9 e 242,0 tC ha⁻¹. A média do estoque de carbono encontrada neste estudo para a floresta ombrófila aberta (217,45 Mg ha⁻¹) foi maior do que a média encontrada por Matos (2006) em floresta de terra firme na região de Manaus (164, 67 Mg ha⁻¹).

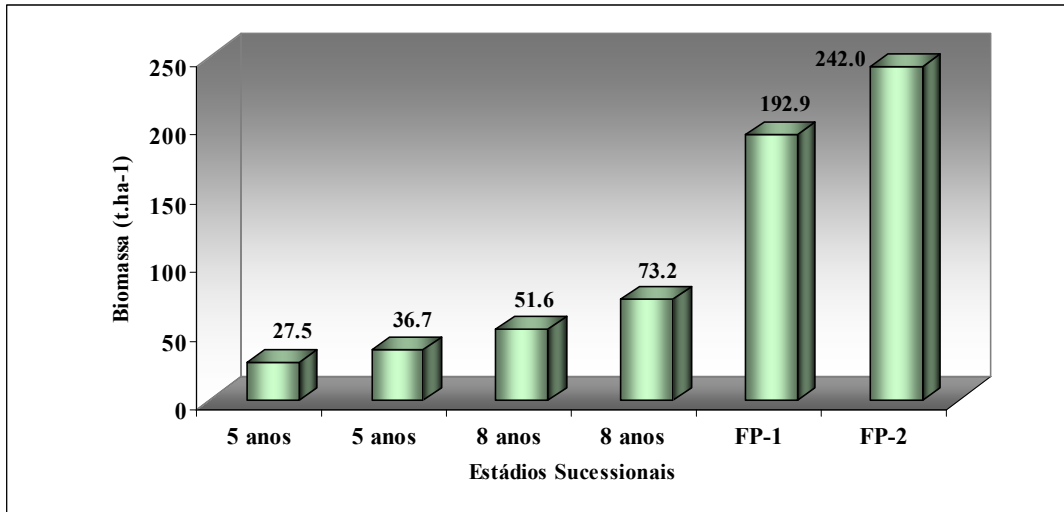


Figura 34 - Biomassa seca total por hectare nos diferentes estádios sucessionais na região de Alta Floresta (MT).

Aplicando a análise de variância (ANOVA) para biomassa seca, tabela 8, verificou-se uma alta significância ($p < 0,001$), ou seja, existem diferenças entre os diferentes estádios sucessionais na região de Alta Floresta. Quando comparados um a um, no pós-teste Tukey (tabela 9), este evidenciou que entre as florestas secundárias não há diferenças significativas em termo de biomassa seca entre uma floresta secundária de 5 anos e outra de 8 anos de idade. Consequentemente, o estoque de carbono também não é diferente entre as capoeiras. Entretanto, a comparação entre as capoeiras e as duas florestas primárias são significantes ($p < 0.01$). A comparação entre as duas florestas primárias é significativa ($p=0.04$).

Tabela 8 – Quadro da Análise de variância (ANOVA) para biomassa seca entre os estádios sucessionais (FS-D, FS-E, FS-A, FS-B, FP-H e FP-I) em Alta Floresta-MT.

| Fontes de Variação | SQ | GL | MQ | F | P |
|-----------------------|-------|----|-------|--------|-------|
| Estádios sucessionais | 2.734 | 5 | 0.547 | 74.219 | 0.000 |
| Erro | 0.354 | 48 | 0.007 | | |

Tabela 9 – Matriz de probabilidade de comparação múltipla “Tukey” para biomassa seca.

| | FS-D | FS-E | FS-A | FS-B | FP-H | FP-I |
|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| FS-D | 1.000 | | | | | |
| FS-E | 1.000 | 1.000 | | | | |
| FS-A | 1.000 | 1.000 | 1.000 | | | |
| FS-B | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | | |
| FP-H | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | |
| FP-I | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.041 | 1.000 |

Entre as duas áreas de floresta primária (tabela 10), a análise de variância evidenciou que não existe diferenças significativas entre as mesmas ($p=0,09$).

Tabela 10 – Quadro da Análise de variância (ANOVA) para biomassa seca entre as duas florestas primárias da região de Alta Floresta-MT.

| Fontes de Variação | SQ | GL | MQ | F | P |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| Florestas primárias | 0.069 | 1 | 0.069 | 3.158 | 0.095 |
| Erro | 0.347 | 16 | 0.022 | | |

5.1.3. Estrutura horizontal

A estrutura horizontal foi analisada utilizando-se os parâmetros de densidade, dominância, frequência absoluta e relativa e pelo índice de valor de importância (IVI). O resultado obtido destes parâmetros foi concentrado nas cinco espécies de maior IVI dentro de cada unidade amostral de um hectare.

Florestas secundárias

Floresta secundária com 5 anos de idade

Nesta área amostral denominada FS-D, o grupo das cinco espécies mais representativas atingiram 59,40% da densidade relativa total, 65,04 % da dominância relativa

e 40,28% da frequência relativa total. O IVI que é a combinação ou a soma destes três parâmetros, totalizou 54,54% para as cinco espécies mais importantes desta unidade.

A espécie que teve o maior valor expressivo do IVI nessa unidade foi *Sclerolobium paniculatum* (Caesalpiniaceae) com 32,23%. As outras espécies importantes nesta unidade amostral foram: *Bauhinia rufa* (Caesalpiniaceae), IVI=7,78%; *Cecropia sciadophylla* (Cecropiaceae), IVI=6,0%; *Inga nobilis* (Mimosaceae), IVI=4,34% e *Theobroma* sp. (Sterculiaceae), IVI=4,20% (Tabela 11).

Na área denominada FS-E, as cinco espécies mais importantes incluíram 46,40% da densidade relativa total, 59,67% da dominância relativa e 35,48% da frequência relativa total. As cinco espécies mais importante representam 47,18% dos IVIs de todas as espécies inventariadas nesta capoeira.

As espécies que mais se destacaram nesta unidade amostral em termo do índice de valor de importância (IVI) foram: *Cecropia sciadophylla* (Cecropiaceae), IVI=19,77%; *Inga nobilis* (Mimosaceae), IVI=8,58%; *Bauhinia rufa* (Caesalpiniaceae), IVI=8,14%; *Eugenia* sp. (Myrtaceae), IVI=5,67% e *Enterolobium maximum* (Mimosaceae), IVI=5,03% (Tabela 11).

Floresta secundária com 8 anos de idade

O grupo de espécies na capoeira FS-A atingiu 72,91% da densidade relativa total, 71,44% da dominância relativa e 31,09% da frequência total. As cinco espécies mais importante representam 58,48% do IVI total.

As espécies com os maiores IVI encontradas nesta unidade foram: *Cecropia sciadophylla* (Cecropiaceae), IVI=26,03%; *Sclerolobium paniculatum* (Caesalpiniaceae), IVI= 18,49%; *Inga nobilis* (Mimosaceae), IVI=6,09%; *Bauhinia macrostachya* (Caesalpiniaceae), IVI=4,77% e *Pourouma* sp. (Cecropiaceae), IVI=3,10% (Tabela 11).

Na capoeira denominada FS-B, as cinco espécies mais com os maiores índices de valores de importância (IVI), compreenderam 72,19% da densidade relativa, 86,99% da dominância relativa e 35,24% da frequência relativa total. O grupo dessas espécies mais destacadas nesta unidade atingiu 64,81% do total do IVI.

A espécie com maior IVI foi *Cecropia sciadophylla* (Cecropiaceae) com IVI de 50,83% do total, seguida de *Inga nobilis* (Mimosaceae), IVI=4,38%; *Trattinnickia lawrencei* (Burseraceae), IVI=3,68%; *Pourouma* sp. (Cecropiaceae), IVI=3,35% e *Guarea silvatica* (Meliaceae), IVI=2,57% (Tabela 11).

Altos valores do IVI para *Cecropia* também foram encontrados por Lucas *et al.* (2002), em floresta secundárias jovens na Amazônia Central. Segundos os autores, capoeiras

com 2 a 16 anos de idades foram dominadas pelo gênero *Cecropia*, com IVI entre 23 a 95%. Alves *et al.* (1997) também registrou adominância do gênero *Cecropia* em áreas de floresta secundária em Rondônia.

Neste estudo verificou-se que as capoeiras dominadas por *Cecropia* apresentaram um menor consumo de biomassa pelo fogo (FS-E, 41,8%; FS-A, 22,7% e FS-B, 19,5%) que a capoeira com maior consumo de biomassa pelo fogo, ou seja, a parcela FS-D apresentou um maior consumo de biomassa (61,5%) (Carvalho *et al.*, 2001). Este resultado demonstra que a severidade do fogo influenciou a dominância do gênero *Cecropia* nas parcelas amostrais. Lucas *et al.* (2002), verificaram que o gênero *Cecropia* foi tolerante ao fogo nas áreas de pesquisa PDBFF. Embora, Uhl e Jordan (1984) e Bazzaz (1991) sugerem que a habilidade da *Cecropia* a sobreviver ao fogo depende da severidade e do período da queimada.

Florestas primárias

Floresta primária denominada FP-H

As cinco espécies mais importantes alcançaram 30,77% da densidade relativa, 41,86% da dominância e 32,05% da frequência relativa total. O IVI relativo das cinco espécies somou 34,89% do total do IVI.

Cecropia sp. (Cecropiaceae) foi a espécie mais representativa nesta unidade amostral, alcançando IVI de 10,84% do total. As demais espécies com maior valor de importância fitossociológica foram: *Brosimum guianense* (Moraceae), IVI=9,63%; *Tachigali paniculata* (Caesalpiniaceae), IVI=5,78%; *Cecropia sciadophylla* (Cecropiaceae), IVI=4,53% e *Nectandra robusta* (Lauraceae), IVI=4,12% (Tabela 11).

Floresta primária denominada FP-I

Nesta unidade amostral o grupo das espécies mais relevantes alcançaram 36,24% da densidade relativa, 45,64% da dominância relativa e 26,47% da frequência relativa total.

A espécie com maior IVI foi *Brosimum angustifolium* (Moraceae) com IVI de 11,84%. As demais espécies foram *Brosimum* sp. (Moraceae), IVI=9,29%; *Aspidosperma discolor* (Apocynaceae), IVI=6,95%; *Inga nobilis* (Mimosaceae), IVI=4,08% e *Pourouma* sp. (Cecropiaceae), IVI=3,95%. O IVI relativo das cinco espécies foi de 36,12% (Tabela 11).

Tabela 11 – Parâmetros fitossociológico das cinco espécies mais representativas de cada unidade amostral inventariadas no município de Alta Floresta-MT (Fazenda Caiabi), por ordem decrescente de valores de IVI.

| Tipos | Espécies | Família | De | Do | Fr | IVI |
|--------------------------------|--|-----------------|-----------|-----------|-----------|------------|
| 5 anos (FS-D) | <i>Sclerolobium paniculatum</i> Vogel | Caesalpiniaceae | 40,60 | 47,97 | 8,33 | 32,23 |
| | <i>Bauhinia rufa</i> (Bong.) Steud. | | 7,38 | 6,48 | 9,72 | 7,78 |
| | <i>Cecropia sciadophylla</i> Mart. | Cecropiaceae | 4,03 | 4,52 | 9,72 | 6,00 |
| | <i>Inga nobilis</i> Willd. | Mimosaceae | 3,36 | 4,25 | 5,56 | 4,34 |
| | <i>Theobroma</i> sp. | Sterculiaceae | 4,03 | 1,81 | 6,94 | 4,20 |
| 5 anos (FS-E) | <i>Cecropia sciadophylla</i> Mart. | Cecropiaceae | 17,63 | 31,99 | 9,68 | 19,77 |
| | <i>Inga nobilis</i> Willd. | Mimosaceae | 8,58 | 7,49 | 9,68 | 8,58 |
| | <i>Bauhinia rufa</i> (Bong.) Steud. | Caesalpiniaceae | 9,51 | 7,37 | 7,53 | 8,14 |
| | <i>Eugenia</i> sp. | Myrtaceae | 7,66 | 5,06 | 4,30 | 5,67 |
| | <i>Enterolobium maximum</i> Ducke | Mimosaceae | 3,02 | 7,76 | 4,30 | 5,03 |
| 8 anos (FS-A) | <i>Cecropia sciadophylla</i> Mart. | Cecropiaceae | 35,76 | 34,77 | 7,56 | 26,03 |
| | <i>Sclerolobium paniculatum</i> Vogel | Caesalpiniaceae | 25,39 | 24,19 | 5,88 | 18,49 |
| | <i>Inga nobilis</i> Willd. | Mimosaceae | 5,11 | 6,45 | 6,72 | 6,09 |
| | <i>Bauhinia macrostachya</i> Benth. | Caesalpiniaceae | 4,02 | 4,40 | 5,88 | 4,77 |
| | <i>Pourouma</i> sp. | Cecropiaceae | 2,63 | 1,64 | 5,04 | 3,10 |
| 8 anos (FS-B) | <i>Cecropia sciadophylla</i> Mart. | Cecropiaceae | 61,78 | 82,14 | 8,57 | 50,83 |
| | <i>Inga nobilis</i> Willd. | Mimosaceae | 4,11 | 2,37 | 6,67 | 4,38 |
| | <i>Trattinnickia lawrencei</i> Standl. ex Sw. | Burseraceae | 2,47 | 0,95 | 7,62 | 3,68 |
| | <i>Pourouma</i> sp. | Cecropiaceae | 2,33 | 1,04 | 6,67 | 3,35 |
| | <i>Guarea silvatica</i> C. DC. | Meliaceae | 1,51 | 0,49 | 5,71 | 2,57 |
| FP-H | <i>Cecropia</i> sp. | Cecropiaceae | 11,54 | 13,28 | 7,69 | 10,84 |
| | <i>Brosimum guianense</i> (Aubl.) Huber | Moraceae | 7,05 | 14,16 | 7,69 | 9,63 |
| | <i>Tachigali paniculata</i> Aubl. | Caesalpiniaceae | 3,85 | 8,36 | 5,13 | 5,78 |
| | <i>Cecropia sciadophylla</i> Mart. | Cecropiaceae | 4,49 | 3,97 | 5,13 | 4,53 |
| | <i>Nectandra robusta</i> Chanc | Lauraceae | 3,85 | 2,10 | 6,41 | 4,12 |

| | | | | | | |
|-------------|--|--------------|-------|-------|------|-------|
| | <i>Brosimum angustifolium</i> Ducke | Moraceae | 11,41 | 17,26 | 6,86 | 11,84 |
| FP-I | <i>Brosimum</i> sp. | | 10,74 | 10,28 | 6,86 | 9,29 |
| | <i>Aspidosperma discolor</i> A. DC. | Apocynaceae | 6,71 | 9,24 | 4,90 | 6,95 |
| | <i>Inga nobilis</i> Willd. | Mimosaceae | 3,36 | 3,97 | 4,90 | 4,08 |
| | <i>Pourouma</i> sp. | Cecropiaceae | 4,03 | 4,90 | 2,94 | 3,95 |

De= densidade ou abundância relativa (%); Do= dominância relativa (%); Fr=frequência relativa (%) e IVI= índice de valor de importância (%).

5.1.4. Análise de diversidade de Shannon

Nas parcelas de floresta secundária (capoeiras) o índice de diversidade de Shannon-Weaver (H') foi maior nas capoeiras com 8 anos de idade FS-A e FS-B com um índice 3,81 e 3,47 respectivamente. Na capoeira com 5 anos de idade denominada FS-D o índice obtido foi 3,30, sendo que na unidade amostral FS-E verificou-se a menor diversidade (3,26).

Na floresta primária o índice de diversidade de Shannon na unidade amostral denominadas FP-H foi de 3,33 e 3,61 na unidade FP-I.

Os valores obtidos sugerem que as áreas de capoeiras apresentam uma diversidade florística semelhante da floresta primária. Este fato pode estar relacionado com a proximidade entre as mesmas, a qual facilita a dispersão de sementes e o aparecimento de novas espécies.

Neste estudo o índice de diversidade obtido na região de Alta Floresta foi menor do que o encontrado na região de Manaus e também foi menor do que o encontrado no município de Lábrea ($H'= 4,7$), onde a floresta é caracterizada com floresta aberta e floresta densa (Pereira *et al.*, 2005). Porém, os valores obtidos nas áreas de Alta Floresta foram próximos dos valores registrados por Ribeiro *et al.* (1999) na região de Carajás e Marabá (Pará). Próximos também que o encontrado por Lima (2002) em uma capoeira com 25 anos de idade.

5.2. Composição florística e análise estrutural em floresta primária, secundária e explorada na Amazônia Central.

5.2.1. Composição florística

Florestas secundárias

Nas florestas secundárias estudadas foram amostrados um total de 1.409 indivíduos com DAP \geq 5 cm, sendo 340 indivíduos na floresta secundária com 11 anos de idade, 596 indivíduos na floresta secundária com 23 anos idade e 473 indivíduos na floresta secundária com 30 anos de idades, pertencentes a 44 famílias, 86 gêneros e 122 espécies.

Na floresta secundária com 11 anos de idade (FS-4) foram registrados 340 indivíduos, distribuídos em 26 famílias, 43 gêneros e 53 espécies. As famílias com maior número de espécies foram: Mimosaceae (8), Cecropiaceae (4), Melastomataceae (4), Annonaceae (3) e Clusiaceae (3) (Figura 35).

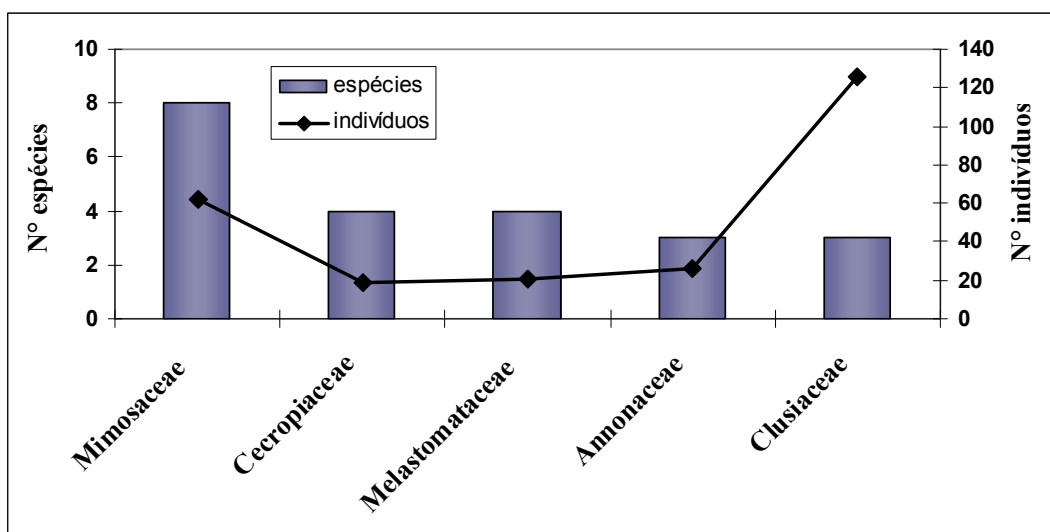


Figura 35 - Número de espécies e indivíduos por família na floresta secundária com 11 anos de idade.

Observa-se ainda na Figura 35, que as famílias Clusiaceae, Mimosaceae, Annonaceae, Melastomataceae e Cecropiaceae foram as mais representativas, com 126, 62, 26, 21 e 19 indivíduos, respectivamente. Estas famílias representam 74,7% de todos os indivíduos amostrados. O número total de indivíduos obtidos na floresta secundária com 11 anos de idade é superior ao encontrado por Perreira (1996) que observou, em uma floresta secundária de 9 anos, no município de Marabá, no Pará, um total de 194 indivíduos com DAP \geq 5 cm.

O número total de espécies registradas nesta capoeira com 11 anos, foi igual ao encontrado por Lima *et al.* (2007) em Manaus, em uma floresta secundária com aproximadamente 10 anos, que sofreu corte raso seguida de queimada. Neste mesmo trabalho, estes autores observaram que as famílias que mais se destacaram em números de espécies foram: Annonaceae (5), Melastomataceae (4) e Mimosaceae (4).

Nesta pesquisa o gênero *Inga* foi o mais representativo com 4 espécies. A espécie *Vismia japurensis* Reichardt (lacre vermelho) foi a mais representativa com 82 indivíduos.

Lima (2002) estudando esta mesma área FS-4, com a idade de 6 anos encontrou 403 indivíduos, distribuídos em 18 famílias e 28 espécies diferentes, onde as famílias que mais se destacaram foram: Cecropiaceae, Fabaceae e Melastomataceae com 3 espécies cada, sendo a espécie dominante *Cecropia sciadophylla* Mart. (embaúba gigante) com 206 indivíduos. Este mesmo autor constatou a presença dominante da espécie pioneira *Cecropia sciadophylla* Mart. em uma capoeira de 10 anos, na região de Manaus.

Na floresta secundária com 23 anos de idade (ZF-S26) foram registrados 596 indivíduos, distribuídos em 41 famílias, 64 gêneros e 90 espécies. As famílias com maior números de espécies foram: Mimosaceae (8), Euphorbiaceae (7), Melastomataceae (7), Annonaceae (5), Sapotaceae (4), Burseraceae (3), Cecropiaceae (3), Clusiaceae (3), Flacourtiaceae (3), Myristicaceae (3) e Myrtaceae (3). Com relação ao número de indivíduos as famílias mais representativas são Flacourtiaceae, Euphorbiaceae, Annonaceae, Mimosaceae, Burseraceae e Cecropiaceae, com 86, 84, 66, 56, 43 e 40 indivíduos, correspondendo a 63% do total de indivíduos amostrados. A Figura 36 mostra a distribuição do número de espécies e indivíduos por família.

O gênero *Miconia* foi o mais representativo nesta capoeira com 4 espécies. A espécie mais representativa foi *Laetia procera* (Poepp.) Eichler (periquiteira amarela) com 79 indivíduos.

O número total de espécies amostrados nesta floresta é superior ao encontrado por Lima (2002) em Manaus, em uma floresta com 25 anos de idade após derruba e queima, que foi de 73 espécies.

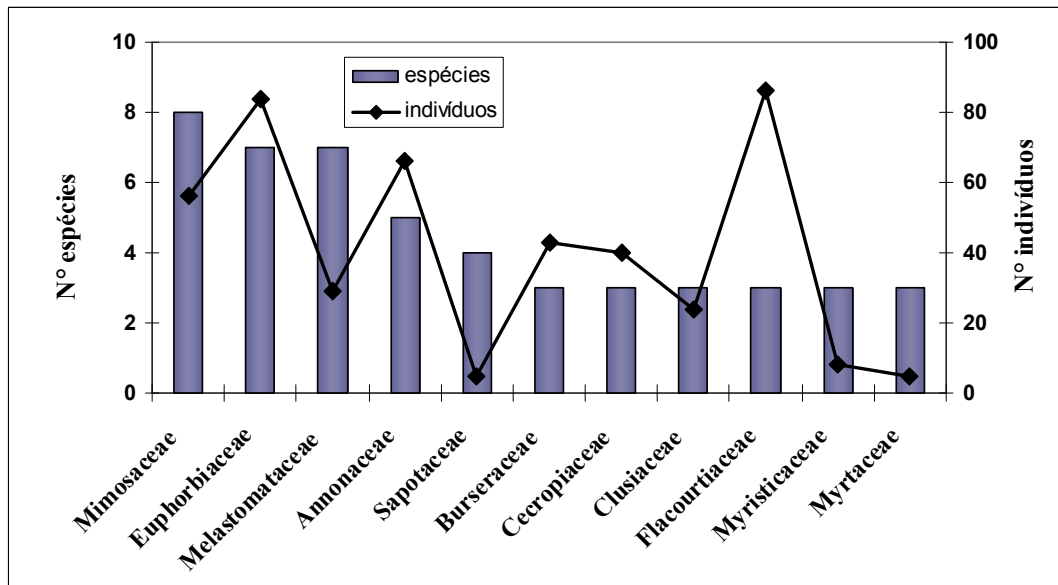


Figura 36 - Número de espécies e indivíduos por família na floresta secundária com 23 anos de idade.

Na floresta secundária com 30 anos de idade (FS-9) foram registrados 473 indivíduos, distribuídos em 33 famílias, 53 gêneros e 67 espécies. As famílias com maior números de espécies foram: Annonaceae (7), Mimosaceae (5), Sapotaceae (5), Burseraceae (4), Euphorbiaceae (4), Apocynaceae (3), Cecropiaceae (3), Lauraceae (3) e Lecythidaceae (3) (Figura 37).

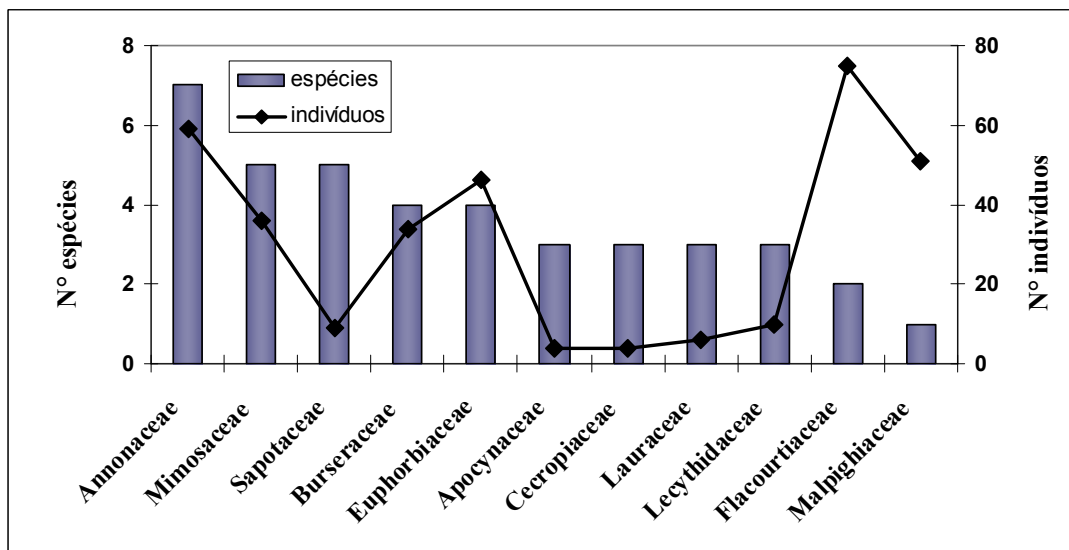


Figura 37 - Número de espécies e indivíduos por família na floresta secundária com 30 anos de idade.

Observa-se na Figura 36 que as famílias Flacourtiaceae, Annonaceae, Malpighiaceae, Euphorbiaceae, Mimosaceae e Burseraceae foram as mais representativas, com 75, 59, 51, 46, 36 e 34 indivíduos, respectivamente. Estas famílias representam 63,3% de todos os indivíduos amostrados.

O gênero *Protium* foi o mais representativa nesta capoeira com 4 espécies. A espécie mais representativa foi *Laetia procera* (Poepp.) Eichler família Flacourtiaceae (periquiteira amarela) com 61 indivíduos.

Os resultados obtidos nesta pesquisa, com relação ao número total de espécies, família e gêneros, foi bem próximo daqueles encontrados por Lima (2002) nesta mesma área.

Verifica-se que a floresta secundária com 23 anos de idades apresenta um maior número de indivíduos, família, gênero e espécie por hectare em relação a floresta secundária com 30 anos, esses dados podem esta relacionado ao fato da floresta de 23 anos ter sido derrubada e abandonada, enquanto que a floresta de 30 anos foi formada após derrubada, queimada e abandonada.

Oliveira e Jardim (1998) estudando florestas secundárias de diferentes idades variando de 15 a 30 anos no município de Igarapé-Açu, estado do Pará, constatou um total de 99 espécies distribuídas em 81 gêneros e 46 famílias. Os resultados encontrados por estes autores foram superiores ao dados obtidos nas áreas de floresta secundária realizadas neste estudo.

As famílias que tiveram a maior riqueza em espécies nas 3 capoeiras amostradas foram Mimosaceae nas capoeiras de 11 anos e 23 anos de idade, e na capoeira com 3 anos de idade, Annonaceaea.

Floresta primária (testemunha ou controle)

Nos três sub-blocos de floresta primária (B1T0, B2T0 e B4T0) foram amostrados um total de 683 indivíduos com DAP \geq 10 cm, sendo 221 indivíduos no sub-bloco denominada B1T0, 242 indivíduos no sub-bloco B2T0 e 220 indivíduos na B4T0, pertencentes a 42 famílias, 116 gêneros e 188 espécies.

SUB-BLOCO BIT0

Neste sub-bloco foram registados 221 indivíduos, distribuídos em 37 famílias, 76 gêneros e 114 espécies. As famílias com maior número de espécies foram: Sapotaceae (12), Mimosaceae e Lecythidaceae (9), Moraceae (7), Lauraceae e Euphorbiaceae (6), Apocynaceae e Chrysobalanaceae (5), Annonaceae e Myrtaceae (4), Elaeocarpaceae, Fabaceae, Flacourtiaceae, Melastomataceae e Myristicaceae (3) (Figura 38).

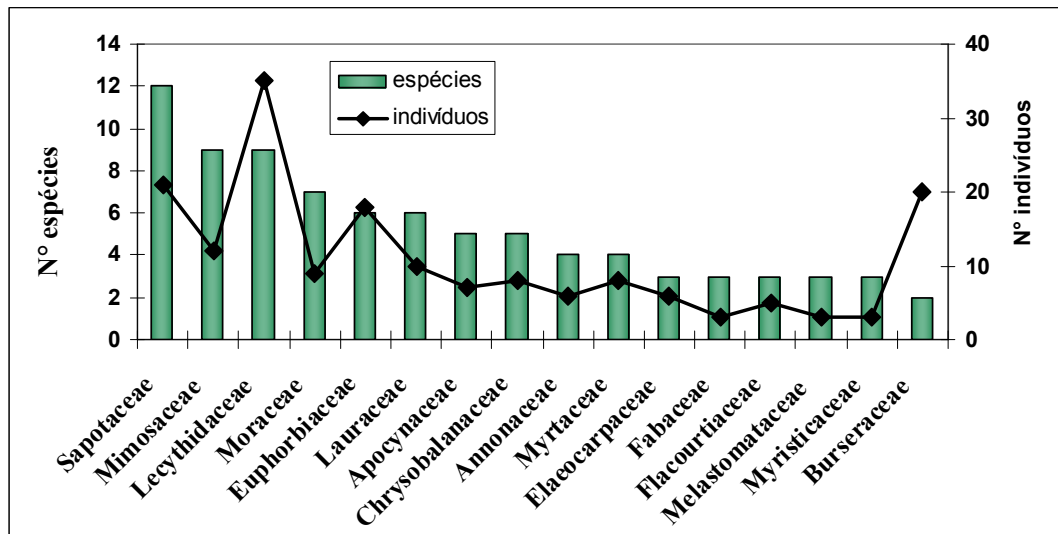


Figura 38 - Número de espécies e indivíduos por família na floresta primária (BIT0).

Observa-se ainda na Figura 38 que as famílias Lecythidaceae, Sapotaceae, Burseraceae, Euphorbiaceae, Mimosaceae e Lauraceae e foram as mais representativas, com 35, 21, 20, 18, 12 e 10 indivíduos, respectivamente. Estas famílias representam 52,5% de todos os indivíduos amostrados.

O gênero *Pouteria* foi o mais representativo nesta floresta com 5 espécies. A espécie mais representativa foi *Eschweilera coriacea* (DC.) S.A. Mori (matámatá amarelo) com 18 indivíduos.

SUB-BLOCO B2T0

No sub-bloco B2T0 foram inventariados 242 indivíduos, distribuídos em 36 famílias, 73 gêneros e 103 espécies. As famílias com maior número de espécies foram: Lecythidaceae e Sapotaceae (10), Caesapiaceae (9), Fabaceae e Lauraceae (6), Euphorbiaceae e Moraceae (5), Melastomataceae, Mimosaceae e Rubiaceae (4), Apocynaceae, Burseraceae, Chrysobalanaceae, Myristicaceae, Myrtaceae (3) (Figura 39).

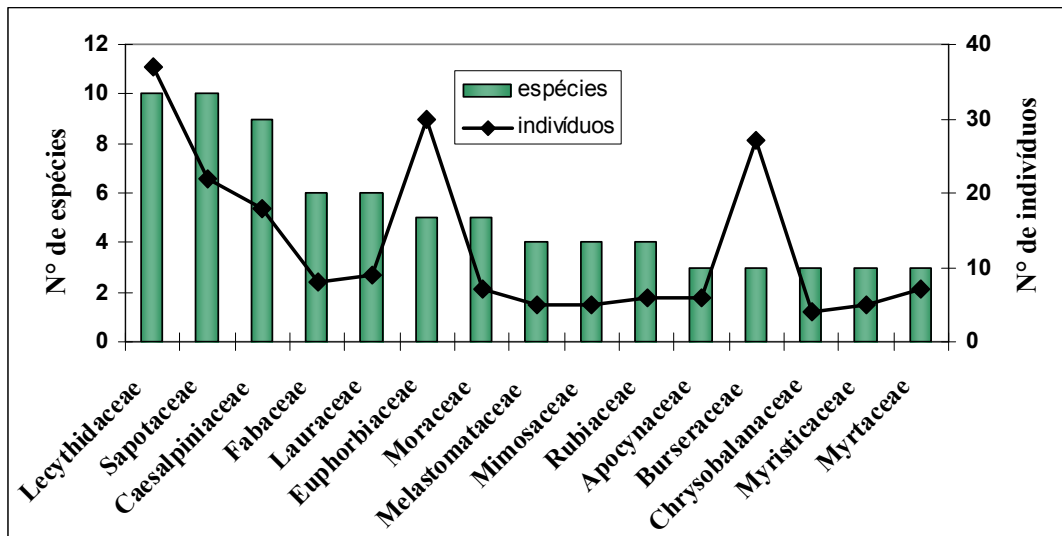


Figura 39 - Número de espécies e indivíduos por família na floresta primária (B2T0).

Verifica-se na Figura 39 que as famílias Lecythidaceae, Euphorbiaceae, Burseraceae, Sapotaceae e Caesalpiniaceae foram as mais representativas, com 37, 30, 27, 22 e 18 indivíduos, respectivamente. Estas famílias representam 55,37% de todos os indivíduos amostrados.

Os gêneros com maior riqueza florística foram *Eschweilera* e *Pouteria* com 5 espécies cada. A espécie mais representativa foi *Protium apiculatum* Swart (breu vermelho) com 22 indivíduos. Esta espécie apresenta interesse medicinal e ecológico (Oliveira e Amaral, 2004).

SUB-BLOCO B4T0

No sub-bloco B4T0 foram registrados 220 indivíduos, distribuídos em 34 famílias, 74 gêneros e 104 espécies. As famílias com maior número de espécies foram: Sapotaceae (11), Lecythidaceae (9), Lauraceae (8), Moraceae (7), Fabaceae (6), Mimosaceae (5), Burseraceae, Caesalpiniaceae e Myristicaceae (4), Annonaceae, Apocynaceae, Bombacaceae e Chrysobalanaceae (3) (Figura 39). Observa-se na Figura 40 que as famílias Lecythidaceae, Sapotaceae, Fabaceae, Burseraceae e Caesalpiniaceae foram as mais representativas, com 50, 21, 12, 11 e 11 indivíduos, respectivamente. Estas famílias representam conjuntamente 47,7% de todos os indivíduos amostrados.

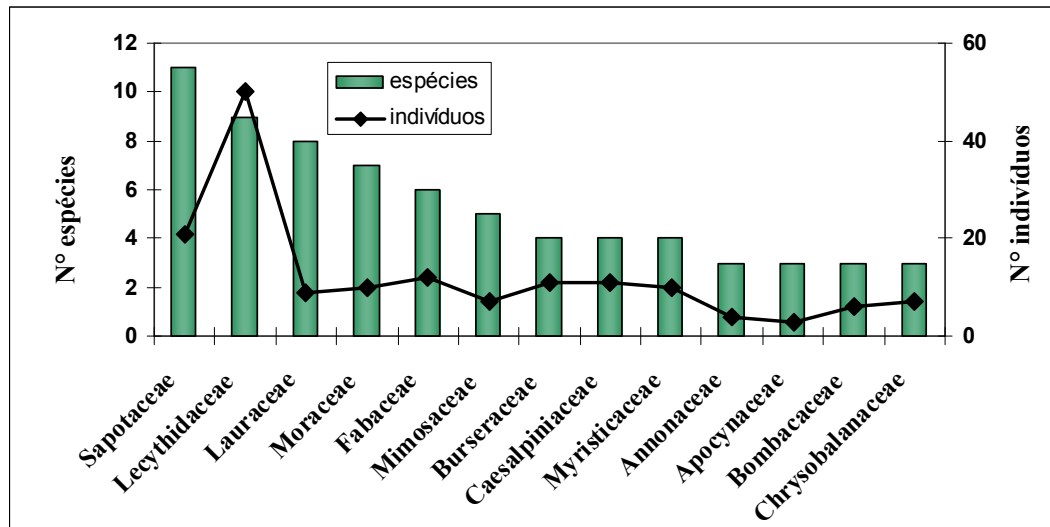


Figura 40 - Número de espécies e indivíduos por família na floresta primária (B4T0).

As famílias que mais se destacaram nos sub-blocos de floresta primária encontram-se representadas nas figuras 38, 39 e 40. Os resultados demonstram que a família Sapotaceae teve maior riqueza em espécies nos três sub-blocos quando comparada com as outras famílias, ratificando outros trabalhos realizados na Amazônia (Lima *et al.* 2007, Carneiro, 2004, Oliveira e Amaral, 2004, Lima Filho *et al.* 2001 e Higuchi *et al.* 1998).

De acordo com Ribeiro *et al.* (1999) esta família apresenta ampla distribuição nas regiões tropicais americanas, apresentando sempre uma alta diversidade em vários ambientes, principalmente em florestas úmidas localizadas em regiões de baixa altitude.

Em relação ao número de indivíduos vale destacar a presença da família Lecythidaceae que obteve o maior número de indivíduos nos três sub-blocos. Esta família foi a segunda mais importante em números de indivíduos (Titular e Reserva) presente na regeneração natural, antes da exploração (Higuchi *et al.*, 1985).

O gênero *Pouteria* foi o mais representativo nos três sub-blocos de floresta primária (“B1T0” “B2T0” e “B4T0”) com 5, 5 e 6 espécies, respectivamente. A espécie mais representativa nos sub-blocos B1T0 e B4T0 foi *Eschweilera coriacea* (DC.) S.A. Mori (matámatá amarelo) com 18 e 24 indivíduos. Esta espécie apresenta interesse ecológico segundo Oliveira e Amaral (2004).

Floresta manejada experimentalmente

Dezenove anos após a exploração, os blocos explorados (B1, B2 e B4) com diferentes intensidades de corte (remoção de 25% da área basal = T1; remoção de 50% da área basal = T2 e remoção de 75% da área basal = T3) registraram um total de 1.993 indivíduos com DAP ≥ 10 cm, pertencentes a 48 famílias, 122 gêneros e 191 espécies.

T1 (remoção de 25% da área basal)

No sub-bloco B1T1 foram registrados 248 indivíduos, distribuídos em 39 famílias, 73 gêneros e 104 espécies. As famílias com maior número de espécies foram: Sapotaceae (9), Fabaceae (8), Lecythidaceae e Mimosaceae (7), Lauraceae e Melastomaceae (6), Euphorbiaceae e Moraceae (5), Apocynaceae, Burseraceae e Cecropiaceae (4), Annonaceae, Chrysobalanaceae e Myristicaceae (3) (Figura 41).

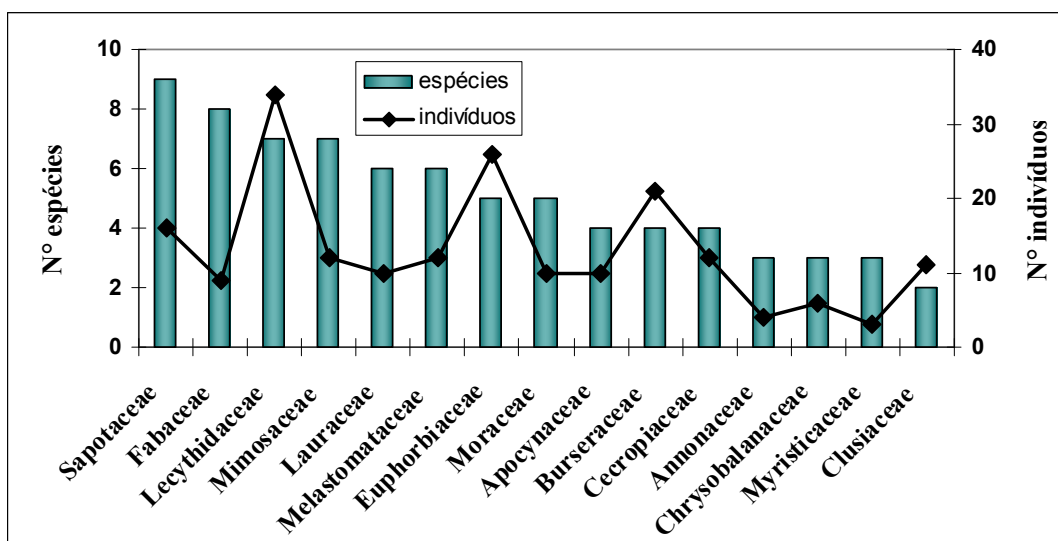


Figura 41 - Número de espécies e indivíduos por família na floresta explorada (B1T1).

Observa-se na Figura 41 que as famílias Lecythidaceae, Euphorbiaceae, Burseraceae, Sapotaceae, Cecropiaceae, Melastomataceae, Mimosaceae, Clusiaceae, Apocynaceae, Lauraceae e Moraceae foram as mais representativas, com 34, 26, 21, 16, 12, 12, 12, 11, 10, 10 e 10 indivíduos, respectivamente. Estas famílias representam conjuntamente 70,2% de todos os indivíduos amostrados.

Os gêneros *Eschweilera* e *Pouteria* foram os mais representativos nesta parcela com 5 espécies de cada gênero. A espécie mais representativa foi dima (*Croton lanjouwensis* Jabl.) com 22 indivíduos.

No sub-bloco B2T1 foram inventariados 215 ndvíduos, distribuídos em 40 famílias, 86 gêneros e 114 espécies. As famílias com maior número de espécies foram: Sapotaceae (10), Euphorbiaceae (8), Caesalpiniaceae (7), Moraceae (6), Annonaceae, Cecropiaceae, Fabaceae e Mimosaceae (5), Burseraceae, Chrysobalanaceae, Lauraceae, Lecythidaceae, Melastomataceae e Myristicaceae (4), Bombacaceae (3) (Figura 42).

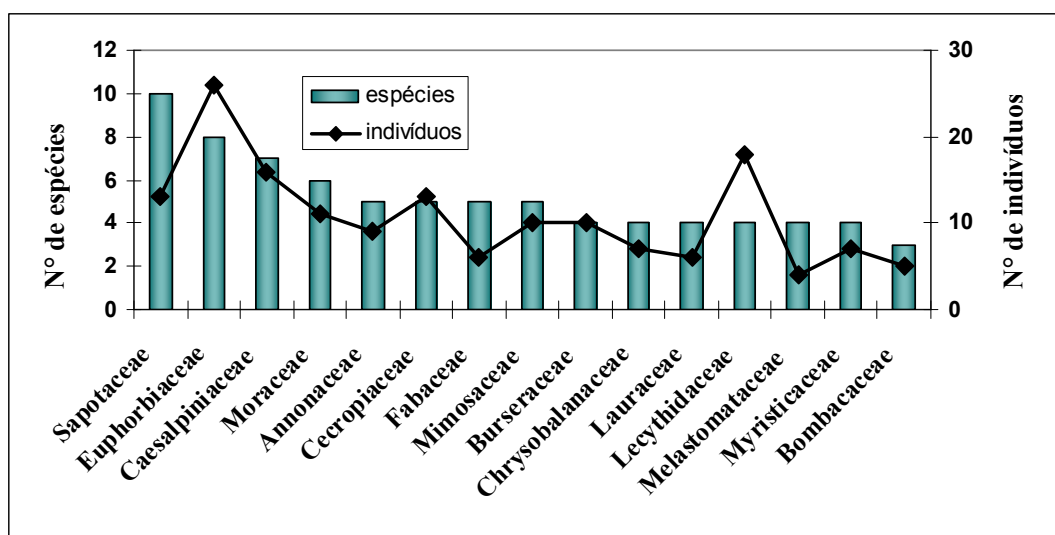


Figura 42 - Número de espécies e indivíduos por família na floresta explorada (B2T1).

Verifica-se na Figura 42 que as famílias Euphorbiaceae, Lecythidaceae, Caesalpiniaceae, Sapotaceae, Cecropiaceae, Moraceae, Mimosaceae e Burseraceae foram as mais representativas, com 26, 18, 16, 13, 13, 11, 10 e 10 indivíduos, respectivamente. Estas famílias representam conjuntamente 54,42% de todos os indivíduos amostrados.

Os gêneros *Cecropia*, *Eschweilera*, *Pouteria* e *Protium* foram os mais representativos nesta área com 4 espécies de cada gênero. A espécie mais representativa foi *Eschweilera coriacea* (DC.) S.A. Mori (matámatá amarelo) com 12 indivíduos.

No sub-bloco B4T1 foram registrados 212 indivíduos, distribuídos em 31 famílias, 71 gêneros e 102 espécies. As famílias com maior número de espécies foram: Sapotaceae (9), Melastomataceae (8), Fabaceae, Lecythidaceae e Mimosaceae (7), Caesalpiniaceae,

Cecropiaceae e Lauraceae (6), Euphorbiaceae (4), Apocynaceae, Burseraceae, Chrysobalanaceae, Clusiaceae, Moraceae, Myristicaceae e Vochysiaceae (3) (Figura 43).

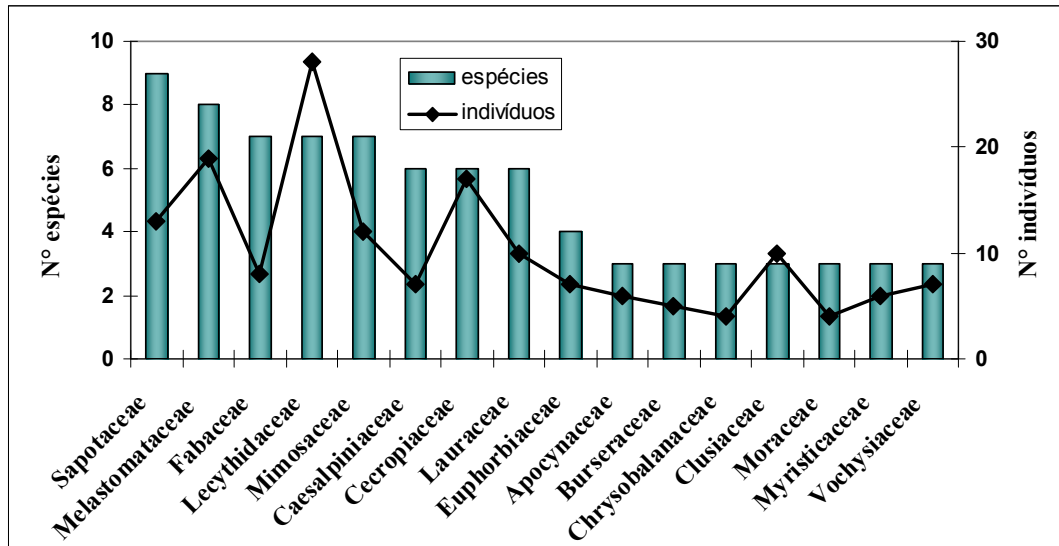


Figura 43 - Número de espécies e indivíduos por família na floresta explorada (B4T1).

Observa-se na Figura 43 que as famílias Lecythidaceae, Melastomataceae, Cecropiaceae, Sapotaceae, Mimosaceae, Clusiaceae e Lauraceae foram as mais representativas, com 28, 19, 17, 13, 12 e 10 indivíduos, respectivamente. Estas famílias representam 51,4% de todos os indivíduos amostrados.

O gênero *Pouteria* foi o mais representativo nesta área com 5 espécies, respectivamente. A espécie mais representativa foi *Eschweilera coriacea* (DC.) S.A. Mori (matámatá amarelo) com 19 indivíduos.

A família Sapotaceae teve maior riqueza em espécies nos três sub-blocos quando comparada com as outras famílias, este resultado demonstra que estas áreas manejada são semelhantes a floresta primária em termos de famílias com maior números de espécies.

T2 (remoção de 50% da área basal)

No sub-bloco B1T2 foram registrados 179 indivíduos, distribuídos em 38 famílias, 68 gêneros e 91 espécies. As famílias com maior número de espécies foram: Lecythidaceae e Sapotaceae (8), Mimosaceae (7), Euphorbiaceae (6), Lauraceae (5), Cecropiaceae, Moraceae e Myristicaceae (4), Annonaceae, Burseraceae, Caesalpinaceae, e Humiriaceae (3) (Figura 44).

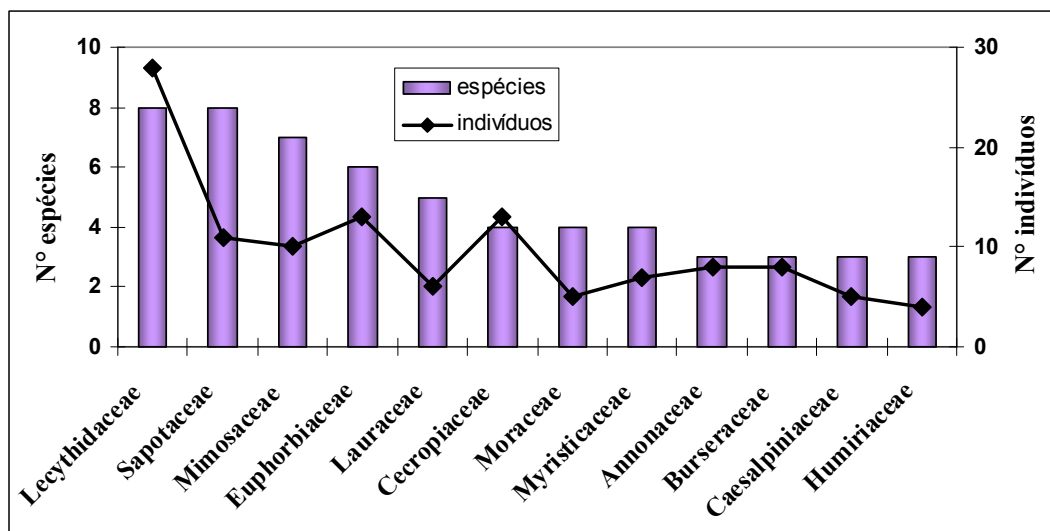


Figura 44 - Número de espécies e indivíduos por família na floresta explorada (BIT2).

Observa-se na Figura 44 que as famílias Lecythidaceae, Cecropiaceae, Euphorbiaceae, Sapotaceae e Mimosaceae foram as mais representativas, com 28, 13, 13, 11 e 10 indivíduos, respectivamente. Estas famílias representam, aproximadamente, 42% de todos os indivíduos amostrados.

O gênero *Pouteria* foi o mais representativo nesta área com 5 espécies. A espécie mais representativa foi *Eschweilera coriacea* (DC.) S.A. Mori (matámatá amarelo) com 14 indivíduos.

No sub-bloco B2T2 foram registrados 228 indivíduos, distribuídos em 35 famílias, 79 gêneros e 107 espécies. As famílias com maior número de espécies foram: Lecythidaceae e Sapotaceae (9), Caesalpinaceae (8), Chrysobalanaceae, Euphorbiaceae, Melastomataceae, Mimosaceae e Vochysiaceae (5), Annonaceae e Fabaceae (4), Anacardiaceae, Apocynaceae, Burseraceae, Cecropiaceae, Clusiaceae, Humiriaceae, Lauraceae e Moraceae (3) (Figura 45).

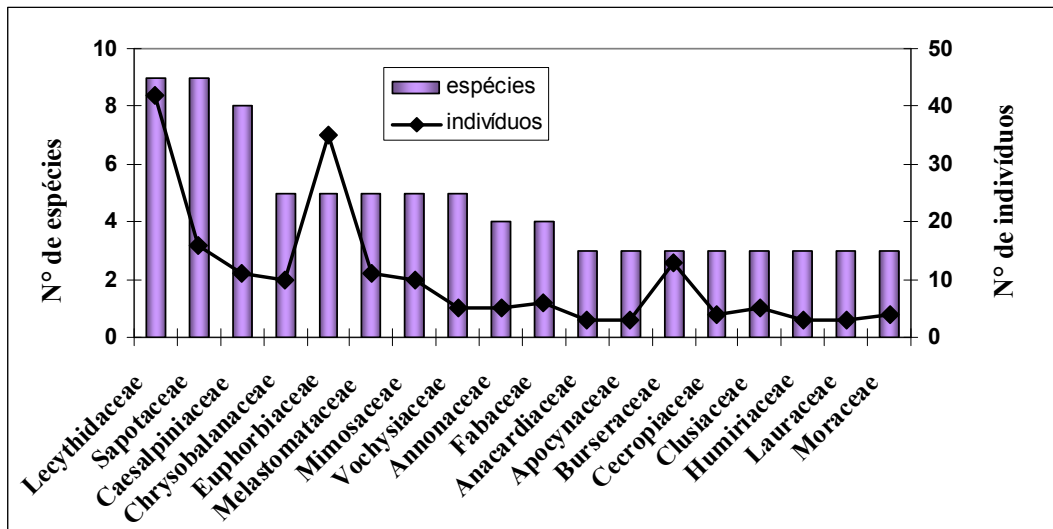


Figura 45 - Número de espécies e indivíduos por família na floresta explorada (B2T2).

Observa-se na Figura 45 que as famílias Lecythidaceae, Euphorbiaceae, Sapotaceae, Burseraceae, Caesalpiniaceae, Melastomataceae, Chrysobalanaceae e Mimosaceae foram as mais representativas, com 42, 35, 16, 13, 11, 11, 10 e 10 indivíduos, respectivamente. Estas famílias representam, aproximadamente, 64,91% de todos os indivíduos amostrados.

O gênero *Pouteria* foi o mais representativo nesta área com 5 espécies. A espécie mais representativa foi dima (*Croton lanjouwensis* Jabl.) com 17 indivíduos.

No sub-bloco B4T2 foram inventariados 218 indivíduos, distribuídos em 33 famílias, 72 gêneros e 103 espécies. As famílias com maior número de espécies foram: Sapotaceae (12), Mimosaceae e Moraceae (8), Lauraceae (6), Caesalpiniaceae, Euphorbiaceae, Fabaceae e Lecythidaceae (5), Burseraceae e Chrysobalanaceae (4), Cecropiaceae, Myristicaceae, Myrtaceae, Violaceae e Vochysiaceae (3) (Figura 46).

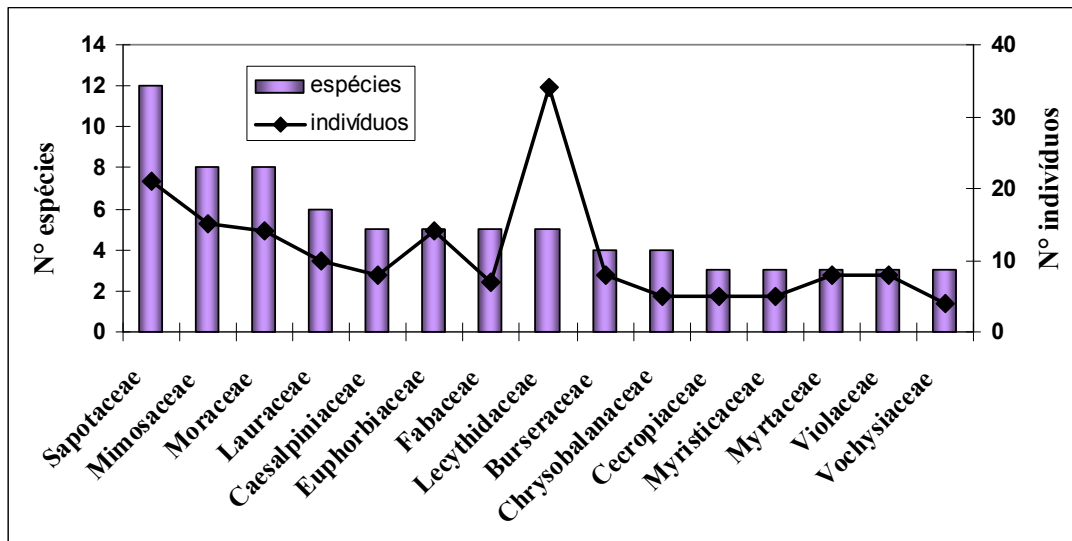


Figura 46 - Número de espécies e indivíduos por família na floresta explorada (B4T2).

Observa-se na Figura 46 que as famílias Lecythidaceae, Sapotaceae, Mimosaceae, Euphorbiaceae, Moraceae, Lauraceae, foram as mais representativas, com 34, 21, 15, 14, 14 e 10 indivíduos, respectivamente. Estas famílias representam 49,5% de todos os indivíduos amostrados.

Os gêneros *Licaria*, *Pouteria* e *Swartzia* foram os mais representativos nesta área com 4 espécies de cada gênero. A espécie mais representativa foi *Eschweilera coriacea* (DC.) S.A. Mori (matámatá amarelo) com 17 indivíduos.

As famílias que tiveram maior riqueza em espécies nos três sub-blocos foram Sapotaceae e Lecythidaceae, estes resultados demonstram que estes sub-blocos manejados são semelhantes a floresta primária e aos sub-blocos (*remoção de 25% da área basal-B1T1, B2T1 e B4T1*) em termos de famílias com maior números de espécies.

T3 (remoção de 75% da área basal)

No sub-bloco B1T3 foram registados 241 indivíduos, distribuídos em 34 famílias, 67 gêneros e 103 espécies. As famílias com maior número de espécies foram: Lecythidaceae (9), Mimosaceae (8), Cecropiaceae, Moraceae e Sapotaceae (6), Annonaceae, Burseraceae, Caesalpinaceae, Fabaceae e Melastomataceae (5), Chrysobalanaceae, Euphorbiaceae e Lauraceae (4), Apocynaceae, Elaeocarpaceae e Myrtaceae (3) (Figura 47).

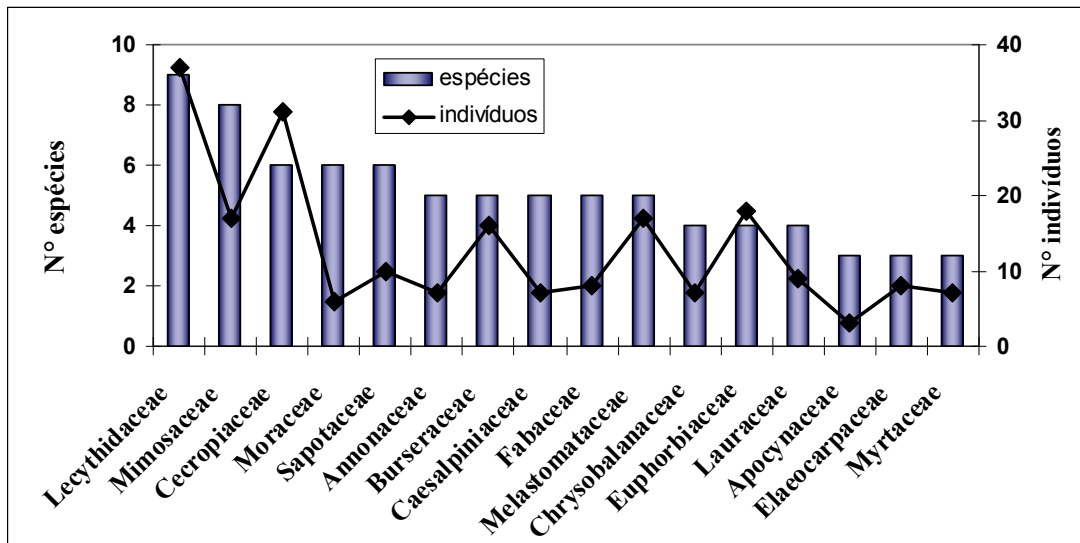


Figura 47 - Número de espécies e indivíduos por família na floresta explorada (BIT3).

Observa-se na Figura 47 que as famílias Lecythidaceae, Cecropiaceae, Euphorbiaceae, Melastomataceae, Mimosaceae, Burseraceae e Sapotaceae, foram as mais representativas, com 37, 31, 18, 17, 17, 16 e 10 indivíduos, respectivamente. Estas famílias representam conjuntamente 60,6% de todos os indivíduos amostrados.

O gênero *Eschweilera* foi o mais representativo nesta área com 5 espécies. A espécie mais representativa foi *Cecropia sciadophylla* Mart. (embaúba gigante) com 19 indivíduos.

No sub-bloco B2T3 foram inventariados 215 indivíduos, distribuídos em 31 famílias, 71 gêneros e 100 espécies. As famílias com maior número de espécies foram: Sapotaceae (11), Lecythidaceae (10), Melastomataceae (7), Euphorbiaceae e Mimosaceae (6), Annonaceae e Clusiaceae (5), Apocynaceae, Fabaceae, Lauraceae e Moraceae (4), Burseraceae, Flacourtiaceae e Myristicaceae (3) (Figura 48).

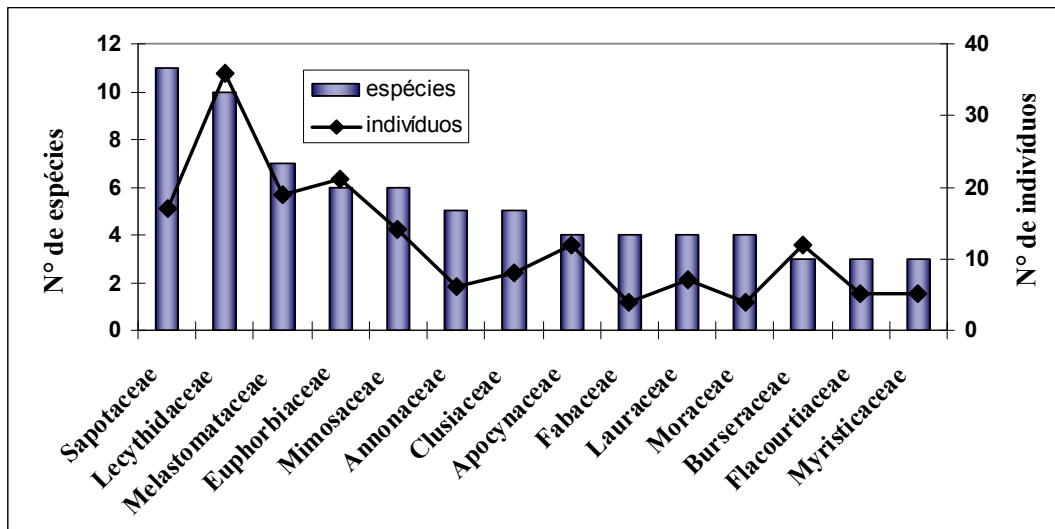


Figura 48 - Número de espécies e indivíduos por família na floresta explorada (B2T3).

Verifica-se na Figura 48 que as famílias Lecythidaceae, Euphorbiaceae, Melastomataceae, Sapotaceae, Mimosaceae, Apocynaceae e Burseraceae foram as mais representativas, com 36, 21, 19, 17, 14, 12 e 12 indivíduos, respectivamente. Estas famílias representam conjuntamente 60,93% de todos os indivíduos amostrados.

Os gênero *Eschweilera* e *Pouteria* foram os mais representativo nesta área com 5 espécies cada. A espécie mais representativa foi *Eschweilera coriacea* (DC.) S.A. Mori (matámatá amarelo) com 11 indivíduos.

No sub-bloco B4T3 (B4T3) foram registados 237 indivíduos, distribuídos em 36 famílias, 76 gêneros e 110 espécies. As famílias com maior número de espécies foram: Sapotaceae (13), Fabaceae, Lauraceae, Lecythidaceae e Mimosaceae (7), Annonaceae (6), Caesalpinaceae, Euphorbiaceae e Melastomataceae (5), Vochysiaceae (4), Apocynaceae, Cecropiaceae, Chrysobalanaceae, Clusiaceae, Moraceae, Myrtaceae e Violaceae (3) (Figura 49).

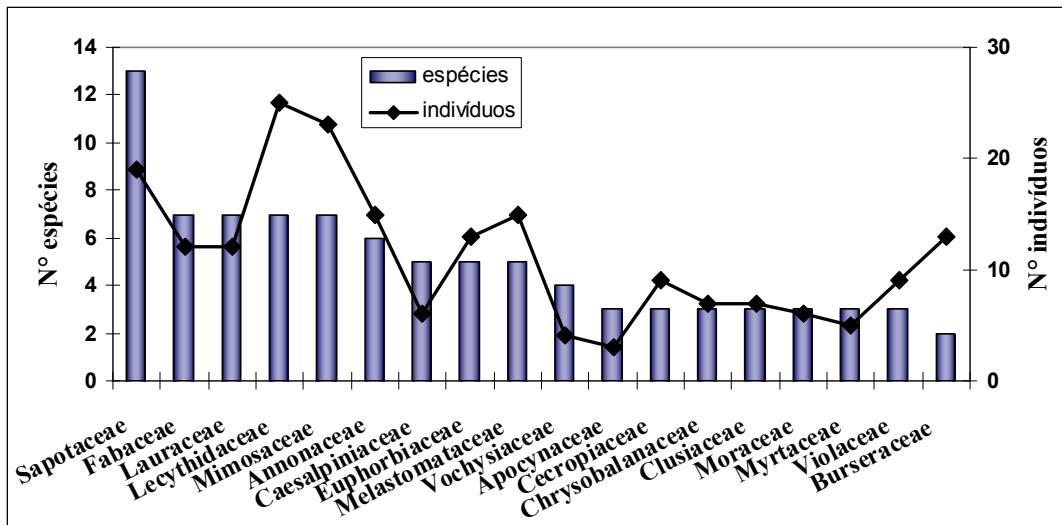


Figura 49 - Número de espécies e indivíduos por família na floresta explorada (B4T3).

Observa-se na Figura 49 que as famílias Lecythidaceae, Mimosaceae, Sapotaceae, Annonaceae, Melastomataceae, Euphorbiaceae, Burseraceae, Fabraceae e Lauraceae, foram as mais representativas, com 25, 23, 19, 15, 15, 13, 13, 12 e 12 indivíduos, respectivamente. Estas famílias representam 62,02% de todos os indivíduos amostrados.

Os gêneros *Pouteria* e *Swartzia* foram os mais representativos nesta área com 5 espécies de cada gênero. A espécie mais representativa foi *Eschweilera coriacea* (DC.) S.A. Mori (matámatá amarelo) com 13 indivíduos.

Sapotaceae foi a família com maior riqueza em espécies nos dois sub-blocos (B2T3 e B4T3), demonstrando uma similaridade com a floresta primária, aos sub-blocos (*remoção de 25% da área basal-B1T1, B2T1 e B4T1*) e aos sub-blocos (*remoção de 50% da área basal-B1T2, B2T2 e B4T2*) em termos de famílias com maior números de espécies. Este resultado encontra respaldo em observações realizadas por Jardim e Hosokawa (1986).

Os gêneros mais representativos nos três sub-blocos foram *Eschweilera* e *Pouteria*, evidenciando que estas áreas são similares a floresta primária. A espécie *Eschweilera coriacea* (DC.) S.A. Mori (matámatá amarelo) foi a mais representativa nos sub-blocos (B2T3 e B4T3).

5.2.2. Parâmetros dendrométricos

A Tabela 12 apresenta as estimativas descritivas para o número de indivíduos, área basal (AB), volume (V), biomassa seca (Pseco) e do estoque de carbono por hectare, para os

indivíduos com $DAP \geq 5$ cm, nas florestas secundárias (capoeiras) e $DAP \geq 10$ cm nas florestas primária e explorada.

Tabela 12 – Dados descritivos dos parâmetros dendrométricos por hectare de cada amostras inventariadas.

| <i>Floresta</i> | <i>Nº de Ind.</i> | <i>AB (m²)</i> | <i>V (m³)</i> | <i>Pseco (t)</i> | <i>C (t)</i> |
|----------------------------|-------------------|---------------------------|--------------------------|------------------|--------------|
| 11 anos | 944 | 9,64 | 109,89 | 39,25 | 18,84 |
| 23 anos | 1655 | 23,22 | 273,85 | 116,83 | 56,08 |
| 30 anos | 1313 | 20,08 | 239,63 | 105,39 | 50,59 |
| Flor. primária (B1T0) | 631 | 33,31 | 431,19 | 461,56 | 223,85 |
| Flor. primária (B2T0) | 672 | 35,56 | 451,71 | 497,79 | 241,43 |
| Flor. primária (B4T0) | 611 | 28,81 | 367,00 | 403,67 | 195,78 |
| Flor. explorada 25% (B1T1) | 688 | 34,73 | 445,35 | 484,32 | 234,90 |
| Flor. explorada 25% (B2T1) | 597 | 21,38 | 263,84 | 305,77 | 148,30 |
| Flor. explorada 25% (B4T1) | 588 | 29,38 | 374,58 | 411,18 | 199,42 |
| Flor. explorada 50% (B1T2) | 497 | 24,60 | 310,44 | 346,49 | 168,05 |
| Flor. explorada 50% (B2T2) | 633 | 30,1 | 382,88 | 421,46 | 204,41 |
| Flor. explorada 50% (B4T2) | 605 | 24,46 | 303,81 | 348,30 | 168,93 |
| Flor. explorada 75% (B1T3) | 669 | 30,22 | 382,26 | 425,36 | 206,30 |
| Flor. explorada 75% (B2T3) | 597 | 28,52 | 362,14 | 400,15 | 194,07 |
| Flor. explorada 75% (B4T3) | 658 | 29,19 | 367,75 | 411,82 | 199,73 |

Número de indivíduos

A Figura 50 mostra a distribuição do número de indivíduos por classe diamétrica nas florestas secundárias estudadas.

Na floresta secundária (capoeira) com 11 anos de idade foram encontrados 340 indivíduos distribuídos em várias classes diamétricas, sendo que 183 indivíduos encontram-se na menor classe diamétrica ($5 \leq DAP < 10$), correspondendo em termos percentuais a 53,8 %.

Nas florestas secundárias (capoeiras) com 23 e 30 anos de idade, observou-se o mesmo comportamento da floresta secundária com 11 anos de idade. A classe diamétrica de $5 \leq DAP < 10$ concentrou o maior número de indivíduos, sendo 319 para a floresta com 23 anos de idade e 268 para a floresta com 30 anos de idade. Em termos percentuais isso corresponde, respectivamente, a 53,5% e 56,7%. A distribuição diamétrica dos 1409 indivíduos inventariados nas capoeiras em relação às classes de $DAP \geq 5$ cm, apresenta a

forma de “J” invertido, onde alta concentração de indivíduos ocorre nas menores classes de diâmetro e redução acentuada no sentido das classes maiores (Figura 50).

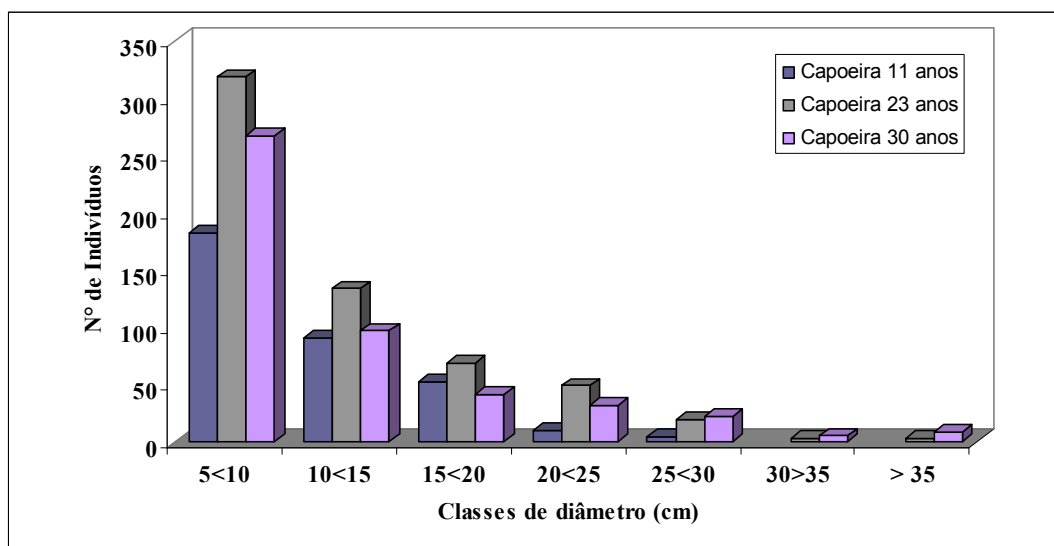


Figura 50 - Número total de indivíduos por classe de diâmetro nas áreas de capoeiras.

Nas áreas de floresta primária “B1T0”, “B2T0” e “B4T0” foram inventariados 221, 242 e 220 indivíduos, respectivamente, distribuídos em várias classes de diâmetro. Na floresta “B1T0” 133 indivíduos encontram-se na menor classe diamétrica ($10 \leq \text{DAP} < 20$), correspondendo em termos percentuais a 60,2 % (Figura 51). Na área de floresta primária “B2T0” a classe diamétrica $10 \leq \text{DAP} < 20$ registrou o maior número de indivíduos (132), correspondendo a 54,55% do total. A floresta primária “B4T0” apresentou o mesmo comportamento da área B1T0 e B2T0, com 133 indivíduos na primeira classe de diâmetro.

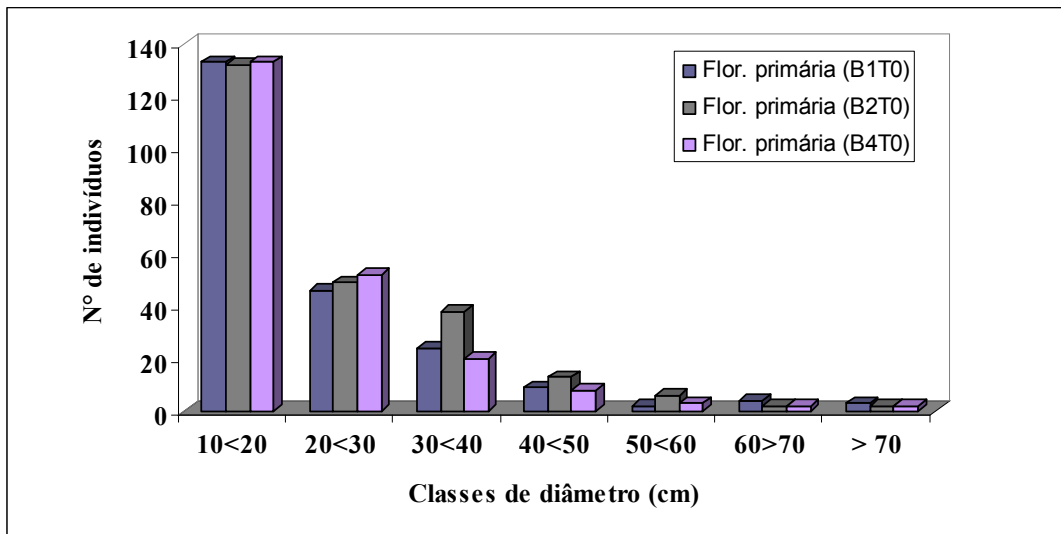


Figura 51 - Número total de indivíduos por classe de diâmetro nas áreas de floresta primária (AM).

Nas áreas exploradas “ B1T1, B2T1, B4T1, B1T2, B2T2, B4T2, B1T3, B2T3 e B4T3” o número total de indivíduos, respectivamente, foram: 248, 215, 212, 179, 228, 218, 241, 215 e 237. A distribuição diamétrica dos indivíduos em relação às classes de DAP ≥ 10 cm, apresenta a forma de um “J” invertido (Figura 52), com maior número de indivíduos localizados nas classes de menor diâmetro, e menor número de indivíduos nas classes de maior diâmetro. Na classe diamétrica ($10 \leq \text{DAP} < 20$), aproximadamente, 60% dos indivíduos das áreas exploradas encontram-se nesta classe.

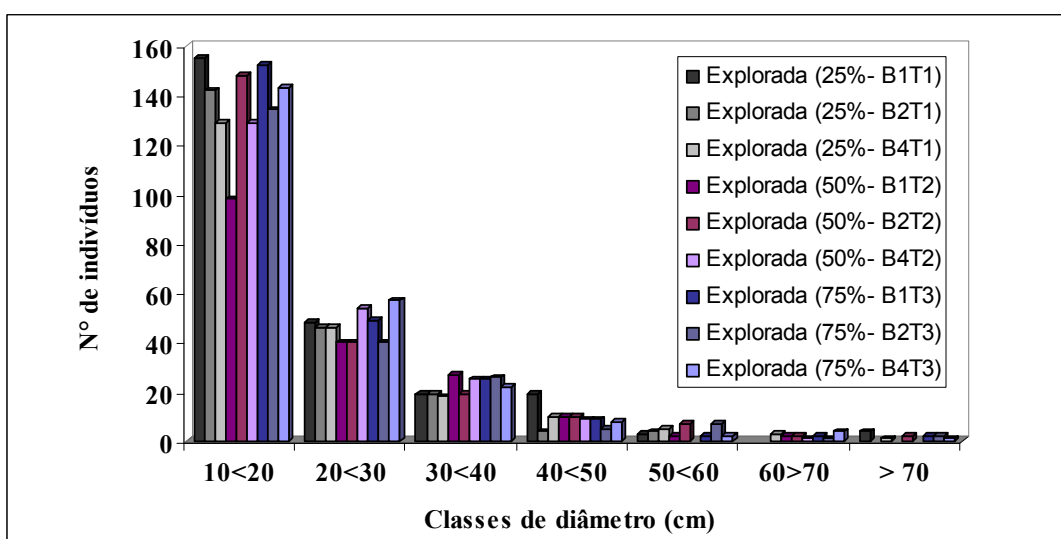


Figura 52 - Número total de indivíduos por classe de diâmetro nas áreas exploradas.

Área basal

Nas florestas secundárias (capoeiras) com 11, 23 e 30 anos de idade, a área basal total por hectare, respectivamente, foram: 9,64, 23,22 e 20,08 m² ha⁻¹. Para as florestas primárias a área basal total para as árvores com DAP ≥ 10 cm foram, 33,31 m² ha⁻¹ (B1T0), 35,53 m² ha⁻¹ (B2T0) e 28,81 m² ha⁻¹ (B4T0) (Figura 53). As espécies com maior área basal foram: *Vismia japurensis* Reichardt (lacre vermelho) com 2,56 m² ha⁻¹ (capoeira de 11 anos de idade), *Croton matourensis* Aubl. (dima) com 3,28 m² ha⁻¹ (capoeira com 23 anos de idade), *Byrsonima* sp. (murici-da-mata) com 4,91 m² ha⁻¹ (capoeira com 30 anos de idade), *Duckeodendron cestroides* Kuhlm. (pupunharana) com 3,24 m² ha⁻¹ (B1T0), *Micrandropsis scleroxylon* W.Rodr. (piãozinho) com 2,63 m² ha⁻¹ (B2T0), e *Sextonia rubra* (Mez) van der Werff (louro gamela) com 2,27 m² ha⁻¹ (B4T0).

A capoeira com 11 anos de idade foi inventariada por Lima em 2001 com a idade de 6 anos, o qual obteve uma área basal de 7,5 m² ha⁻¹ (Lima, 2002).

Neste estudo o resultado da área basal total por hectare da floresta secundária de 11 anos de idade foi menor ao estimado por Lima (2002) em uma floresta secundária de 10 anos (12,8 m² ha⁻¹). Em Rondônia, Alves *et al.* (1997) registrou uma área basal de 14,3 m² ha⁻¹ para uma capoeira com 11 anos de idade, este valor foi superior ao encontrado neste estudo.

Os valores de área basal total por hectare das áreas floresta primária são superiores ao encontrado por Salomão *et al.* (1988) em uma floresta pluvial de terra firme em Carajás, município de Marabá no Pará, onde os autores encontraram uma área basal total de 21, 5891 m² ha⁻¹, dos 484 indivíduos inventariados, tendo uma média de 0,0446 m²/indivíduo. Silva *et al.* (1987) estimaram para esta mesma região de Carajás, nas proximidades do Rio Gelado, uma área basal de 17,63 m² h⁻¹. Lima (2002) estudando áreas de floresta primária, próxima da floresta de 11 anos de idade (FPS4) e (FPS8), encontrou uma área basal de 31,6 m² ha⁻¹ para cada área.

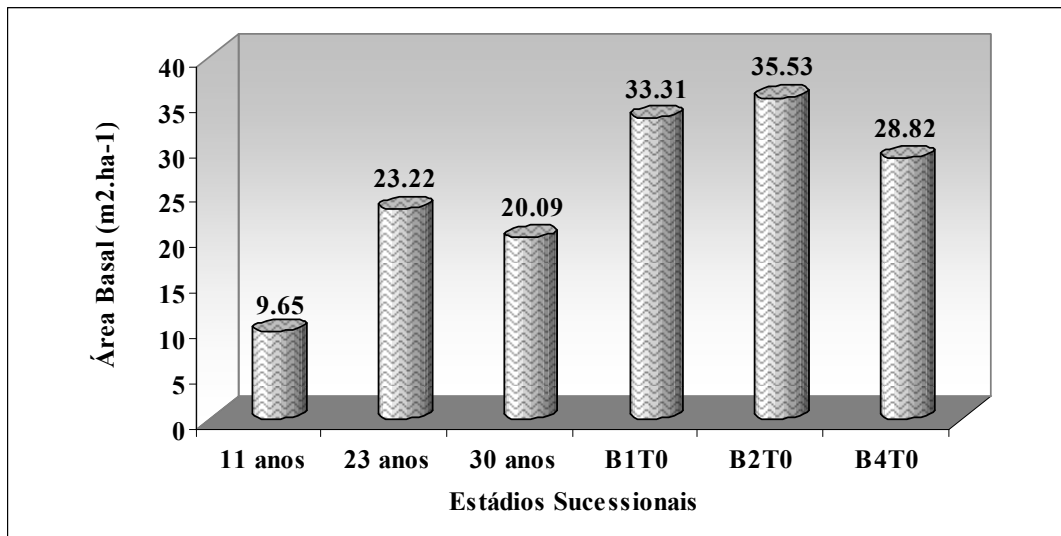


Figura 53 - Área basal total por hectare dentro de cada estágio sucessional.

Nas áreas exploradas “B1T1, B2T1, B4T1, B1T2, B2T2, B4T2, B1T3, B2T3 e B4T3” a área basal total por hectare para as árvores com DAP ≥ 10 cm, respectivamente, foram: 34,73; 21,38; 29,39; 24,61; 30,08; 24,46; 30,23; 28,52 e 29,20 m² ha⁻¹ (Figura 54). A espécie com maior área basal foi *Eschweilera coriacea* (DC.) S.A. Mori (Matamatá amarelo) com 1,49 m² ha⁻¹ (B2T1), 1,88 m² ha⁻¹ (B4T1), 2,32 m² ha⁻¹ (B1T2), 1,63 m² ha⁻¹ (B2T2), 1,56 m² ha⁻¹ (B4T2), 1,83 m² ha⁻¹ (B1T3) e 2,39 m² ha⁻¹ (B4T3). *Duckeodendron cestroides* Kuhl. (pupunharana) foi a espécie com maior área basal ocorrida na área B1T1 com 2,43 m² ha⁻¹. Na área B2T3 a espécie *Geissospermum argenteum* Woodson (aquaricara branca) obteve a maior área basal por hectare (2,12 m²).

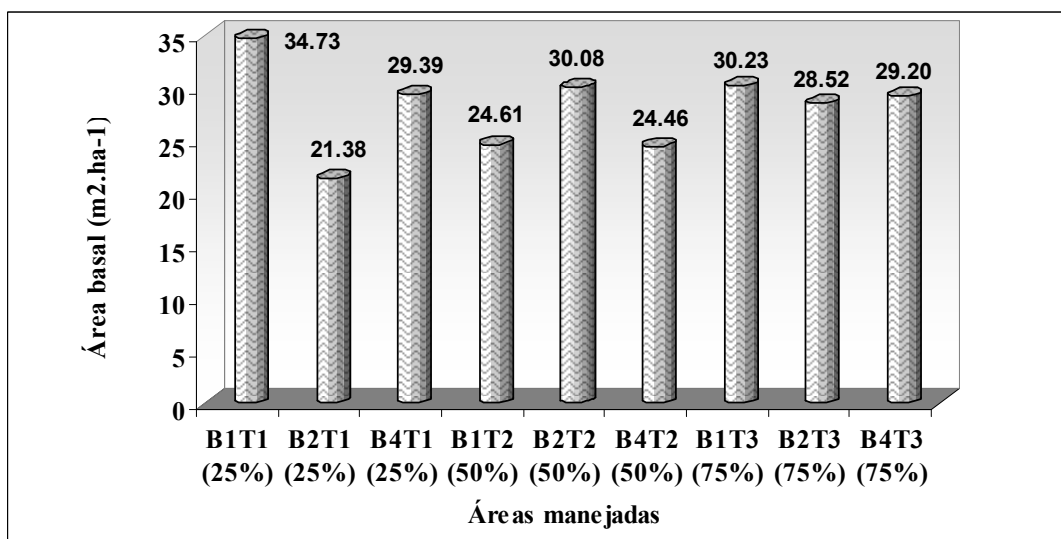


Figura 54 - Área basal total por hectare das áreas manejadas experimentalmente.

Volume

O volume total estimado por hectare nas florestas secundárias foi de 623,37 m³ ha⁻¹, sendo 109,89 m³ ha⁻¹ para a capoeira com 11 anos, 273,85 m³ ha⁻¹ para a capoeira com 23 anos e 239,63 m³ ha⁻¹ para capoeira com 30 anos. Para as florestas primárias o volume total para as árvores com DAP ≥ 10 cm foi de 798,2 m³ ha⁻¹, sendo 431,19 m³ ha⁻¹ na área “B1T0” e 367,01 m³ ha⁻¹ na área “B4T0” (Figura 55).

Na floresta secundária com 11 anos de idade a classe diamétrica que obteve o maior volume foi 15 ≤ DAP < 20 com 13,42 m³, correspondendo em termos percentuais a 33,9 % do total. Para a floresta secundária com 23 anos de idade a classe diamétrica que se destacou foi 20 ≤ DAP < 25 com 22,50 m³ correspondendo a 22,8% do total. A classe diamétrica 25 ≤ DAP < 30 foi a que obteve maior volume na floresta com 30 anos de idade com 16,26 m³. Em termos percentuais isso corresponde a 18,85% do total de volume.

Nas áreas de floresta primária “B1T0, B2T0 e B4T0 as classes diamétricas com maior volume, respectivamente, foram: com DAP ≥ 70 cm (30,72 m³), 30 ≤ DAP < 40 (44,1 m³) e 20 ≤ DAP < 30 (29,81 m³).

Ao comparar os resultados de volume de madeira total por hectare da floresta primária com outros valores obtidos para diferentes localidades da Amazônia, verificou-se que os mesmos são superiores ao estimado por Salomão *et al.* (1988) no Município de Marabá no Pará (206,544 m³ ha⁻¹), ainda em Carajás, nas proximidades do Rio Gelado, foi estimado um total de 143,10 m³ ha⁻¹ de madeira com casca para árvores com CAP ≥ 0,30 m, sendo a espécie que mais se destacou foi *Bertholletia excelsa* Humb. B. Boupi. (castanheira) que com apenas uma árvore apresentou 23,98 m³ (Silva *et al.*, 1987).

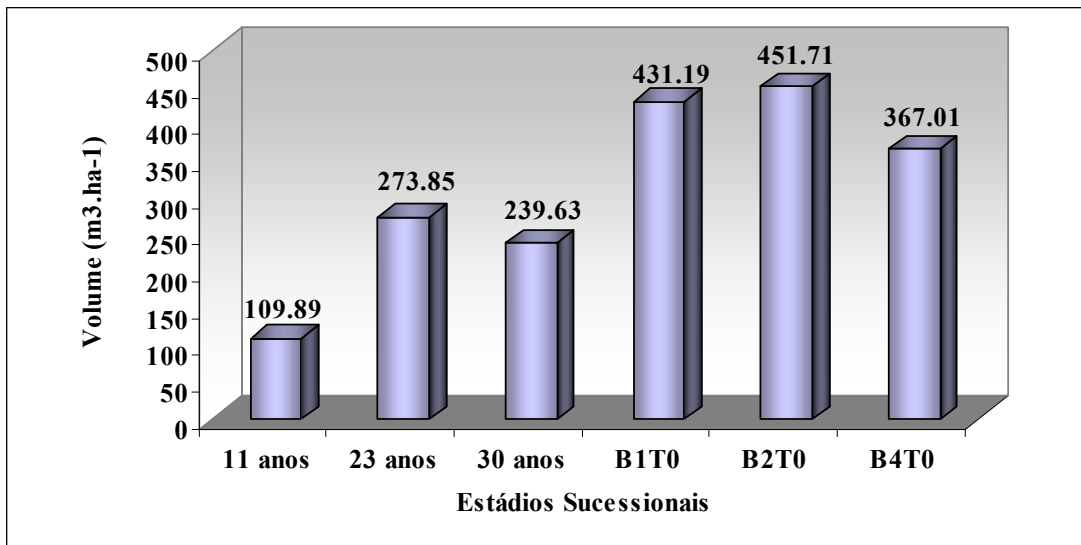


Figura 55 - Volume total por hectare em cada estágio sucessional.

Nas áreas exploradas “B1T1, B2T1, B4T1, B1T2, B2T2, B4T2, B1T3, B2T3 e B4T3” o volume total por hectare para as árvores com DAP ≥ 10 cm, respectivamente, foram: 445,36; 263,84; 374,58; 310, 45; 382,88; 303,82; 382, 26; 362,14 e 367,75 m³ ha⁻¹ (Figura 56). Na área B1T1 a classe diamétrica que obteve o maior volume foi $40 \leq \text{DAP} < 50$ com 39,44 m³, correspondendo a 24,6% do total. Na área B2T1 a classe diamétrica com maior volume foi $20 \leq \text{DAP} < 30$ (27,59 m³), em termos percentuais este valor correspondente a 29,04% do total. Na área B4T1 as classes diamétricas $20 \leq \text{DAP} < 30$ e $10 \leq \text{DAP} < 20$ obtiveram o maior volume com 25,79 m³ e 25,26 m³. Em termos percentuais as duas classes juntas correspondem a 37,86% do total. Nas áreas B1T2, B2T2 e B4T2 as classes que obtiveram o maior volume, respectivamente foram $30 \leq \text{DAP} < 40$ (33,02 m³), $10 \leq \text{DAP} < 20$ (28,24 m³) e $20 \leq \text{DAP} < 30$ (31,33 m³). As classes diamétricas com maior volume na área B1T3 foram $30 \leq \text{DAP} < 40$ (30,53 m³), e $10 \leq \text{DAP} < 20$ (30,22 m³). Na área B2T3 a classe diamétrica $30 \leq \text{DAP} < 40$ obteve o maior volume (32,36 m³). Na área B4T3 o maior volume encontra-se na classe diamétrica $20 \leq \text{DAP} < 30$ com 33,21 m³.

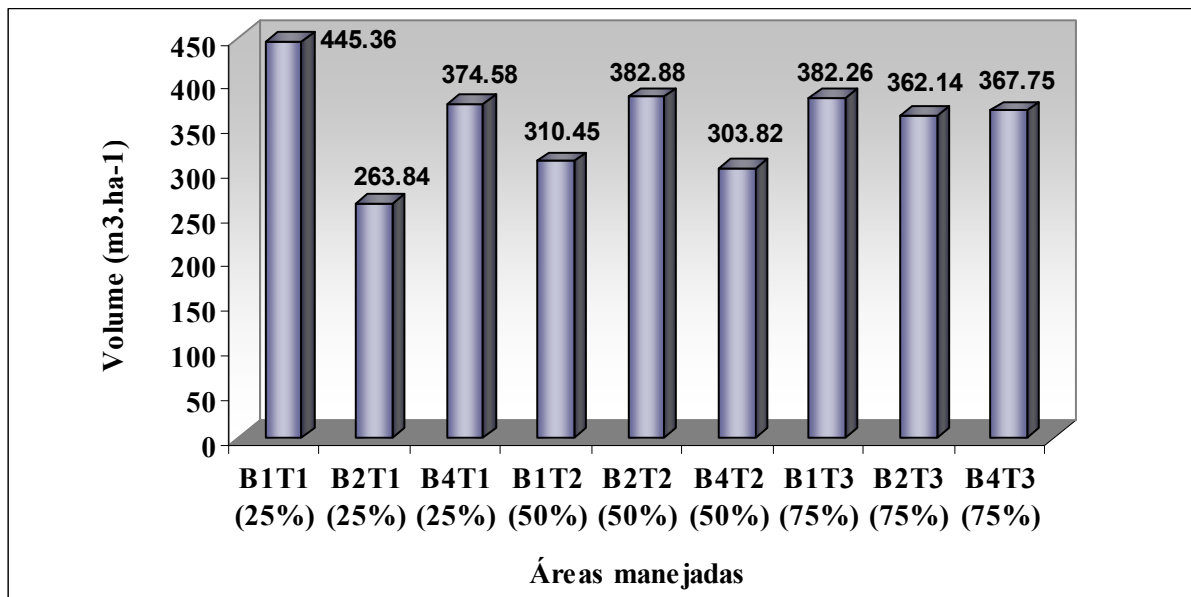


Figura 56 - Volume total por hectare nas áreas manejadas experimentalmente.

Biomassa seca e Carbono

A biomassa total estimada (peso seco) para florestas secundárias com 11, 23 e 30 anos de idade, respectivamente foram: 39,25 t ha⁻¹, 116,83 t ha⁻¹ e 105,39 t ha⁻¹ (Figura 57). As médias e o intervalo de confiança (95%) obtidos para cada classe de idade estudada foram: 37,96 t ha⁻¹ ± 9,8, 123,29 t ha⁻¹ ± 17,7 e 111,47 t ha⁻¹ ± 13,7, respectivamente.

Lima (2002) estudando uma capoeira com 10 anos de idade na região de Manaus, obteve uma média de 56,2 t ha⁻¹ ± 12,0 de biomassa seca. Este valor é superior ao encontrado neste estudo para a capoeira de 11 anos. Provavelmente, este fato pode estar relacionado ao número de indivíduos inventariados na capoeira de 10 anos, onde o autor registrou 459 indivíduos arbóreos com DAP ≥ 5 cm. Neste estudo, obteve-se 340 indivíduos com DAP ≥ 5 cm. Observou-se que esta área, capoeira com 11 anos de idade (FS-4), foi dominada pela espécie *Mimosa pudica* L. var. *unijuga* (Duchass. & Walp.) Barneby, que provavelmente impediu o aparecimento de outras espécies arbóreas. Este mesmo autor estudando a capoeira FS-4 com 6 anos de idade, obteve uma média de biomassa seca de 26,3 t ha⁻¹ ± 6,5, o qual representou, aproximadamente 7,5% do estoque inicial quando comparado com a floresta primária (testemunha). O estoque de biomassa desta mesma capoeira, após 4 anos, representa, atualmente, 10,8% do estoque original (floresta primária).

Nas áreas de floresta primária a biomassa total estimada foram: 461,56 t ha⁻¹ (B1T0) 497,79 t ha⁻¹ (B2T0) e 403,67 t ha⁻¹ (B4T0) (Figura 56), médias de 416,02 t ha⁻¹ ± 138,2; 497,80 t ha⁻¹ ± 114,94 e 403,67 t ha⁻¹, ± 109,6. Os valores médios de biomassa seca obtidos neste estudo, são superiores a outros trabalhos realizados na região de Manaus, para áreas de floresta primária. Por exemplo, a estimativa para Estação Experimental de Silvicultura Tropical (Lima, 2002), Reserva Florestal Ducke (Castilho, 2004) e Matos (2006) foi 345,65 t ha⁻¹, 319,9 t ha⁻¹ e 343,05 t ha⁻¹, respectivamente.

O estoque de carbono total por hectare obtido para cada parcela de capoeira com 11, 23 e 30 anos de idade foram: de 18,84; 56,08 e 50,59 tC ha⁻¹, respectivamente. Nas parcelas de floresta primária densa (B1T0, B2T0 e B4T0) o estoque de carbono total por hectare, respectivamente, foram: 221,55; 241,43 e 195,78 tC ha⁻¹. Alves *et al.* (1997) estimando a biomassa em floresta secundária em Rondônia, obteve 16, 25, 34, 42, 51 e 60 tC ha⁻¹ em capoeiras com 3, 6, 9, 12, 15 e 18 anos de idade, respectivamente.

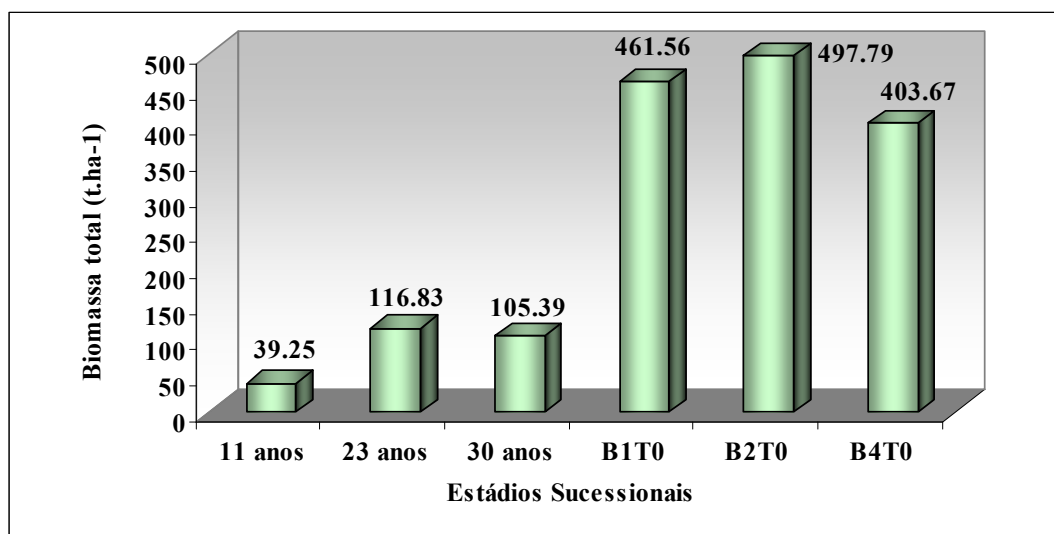


Figura 57 - Biomassa seca total por hectare nos diferentes estádios sucessionais.

Nas florestas manejadas experimentalmente sob diferentes intensidades de corte (baixo, médio e alto), denominadas áreas B1T1, B2T1, B4T1, B1T2, B2T2, B4T2, B1T3, B2T3 e B4T3 as estimativas da biomassa seca total foram 484,32 t ha⁻¹, 305,77 t ha⁻¹, 411,18 t ha⁻¹, 346,49 t ha⁻¹, 421,46 t ha⁻¹, 348,30 t ha⁻¹, 425,36 t ha⁻¹, 400,15 t ha⁻¹ e 411,82 t ha⁻¹, respectivamente (Figura 58). As médias de biomassa seca obtidas para cada área supracitada, respectivamente foram: 484,32 t ha⁻¹ ± 81,8; 305,77 t ha⁻¹ ± 58,83; 411,18 t ha⁻¹ ± 61,5; 346,49 t ha⁻¹ ± 87,8; 421,46 t ha⁻¹ ± 71,7; 348,30 t ha⁻¹ ± 49,7; 425,36 t ha⁻¹ ± 51,9; 400,15 t ha⁻¹ ± 64,80 e 411,82 t ha⁻¹ ± 62,7 respectivamente.

Nas parcelas exploradas o estoque de carbono total por hectare foi de 234,90 tC ha⁻¹ (B1T1); 148,29 tC ha⁻¹ (B2T1); 199,42 tC ha⁻¹ (B4T1); 168,05 tC ha⁻¹ (B1T2); 204,41 tC ha⁻¹ (B2T2); 168,93 tC ha⁻¹ (B4T2); 206,30 tC ha⁻¹ (B1T3); 194,08 tC ha⁻¹ (B2T3) e 199,73 tC ha⁻¹ (B4T3).

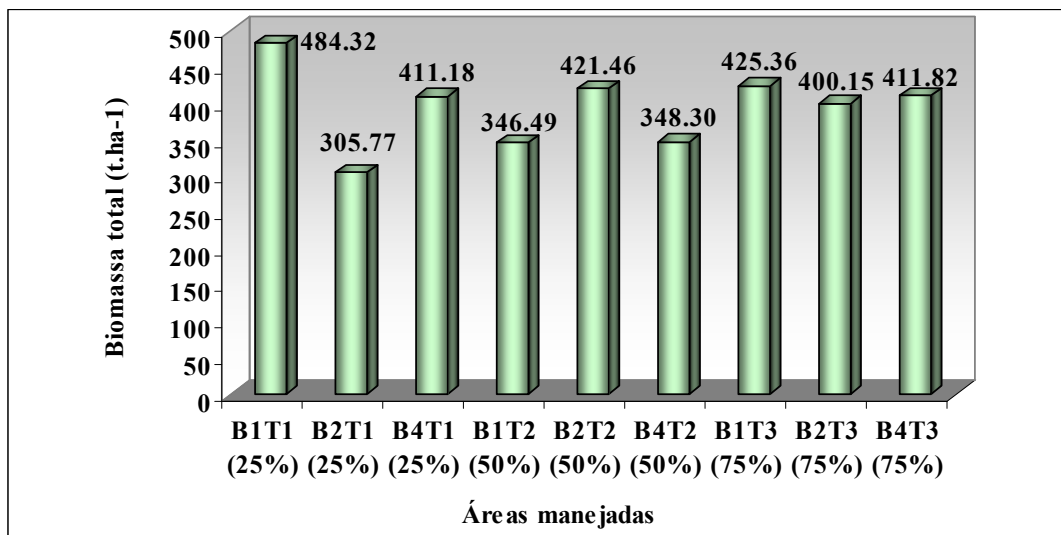


Figura 58 - Biomassa seca total por hectare nas áreas manejadas experimentalmente sob diferentes intensidades de corte (baixo “25%”, médio “50%” e alto “75%”).

Aplicando a análise de variância (ANOVA) apenas para biomassa seca, tabela 13, observou-se uma alta significância ($p < 0,01$) entre os diferentes estádios sucessionais na região de Manaus. Quando aplicado o teste Tukey de comparação múltipla (tabela 14), este demonstrou que entre as florestas secundárias não há diferenças significativas, ou seja, são estatisticamente iguais em termo de biomassa seca. Observou-se o mesmo comportamento entre as floresta primária ($p=0,78$ e $p=0,83$).

Tabela 13 – Quadro da Análise de variância (ANOVA) para biomassa seca entre os estádios sucessionais (FS-4, FS-Z26, FS-9, B1T0, B2T0 e B4T0) em Manaus-AM.

| Fontes de Variação | SQ | GL | MQ | F | P |
|-----------------------|-------|----|-------|--------|-------|
| Estádios sucessionais | 5.808 | 5 | 1.162 | 49.691 | 0.000 |
| Erro | 1.122 | 48 | 0.023 | | |

Tabela 14 – Matriz de probabilidade de comparação múltipla “Tukey” para biomassa seca.

| | FS-4 | FS-Z26 | FS-9 | B1T0 | B2T0 | B4T0 |
|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| FS-4 | 1.000 | | | | | |
| FS-Z26 | 0.996 | 1.000 | | | | |
| FS-9 | 0.988 | 1.000 | 1.000 | | | |
| B1T0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | | |
| B2T0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | 1.000 | |
| B4T0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.783 | 0.834 | 1.000 |

Ao comparar as florestas secundárias com diferentes idades (tabela 15), observa-se que há diferenças altamente significativas ($p < 0,01$), ou seja, a biomassa seca entre as florestas secundárias é estatisticamente diferente. Quando aplicado o teste de comparação múltipla Tukey, tabela 16, apenas as florestas secundárias de 23 anos e 30 anos ($p=0,35$) não apresentam fortes evidências que sejam diferentes quanto a biomassa seca.

Tabela 15 – Quadro da Análise de variância (ANOVA) para biomassa seca entre os estádios sucessionais (FS-4, FS-Z26 e FS-9) em Manaus-AM.

| Fontes de Variação | SQ | GL | MQ | F | P |
|-----------------------|-------|----|-------|--------|-------|
| Estádios sucessionais | 0.010 | 2 | 0.005 | 23.046 | 0.000 |
| Erro | 0.005 | 24 | 0.000 | | |

Tabela 16 – Matriz de probabilidade de comparação múltipla “Tukey” para biomassa seca.

| | FS-4 | FS-Z26 | FS-9 |
|--------|--------------|--------------|--------------|
| FS-4 | 1.000 | | |
| FS-Z26 | 0.000 | 1.000 | |
| FS-9 | 0.000 | 0.356 | 1.000 |

Aplicando a ANOVA para biomassa seca entre as três unidades amostrais de floresta primária verificou-se que não há diferenças significativas entre as mesmas ($p=0,597$), ou seja, do ponto de vista quantitativo a biomassa seca da B1T0 e B4T0 é estatisticamente igual (tabela 17).

Tabela 17 – Quadro da Análise de variância (ANOVA) para biomassa seca entre as florestas primárias da região de Manaus-AM.

| Fontes de Variação | SQ | GL | MQ | F | P |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| Florestas primárias | 0.049 | 2 | 0.025 | 0.527 | 0.597 |
| Erro | 1.117 | 24 | 0.047 | | |

Nesta análise (tabela 18 e tabela 19) também verificou-se que não há diferenças significativas ($p=0,409$ e $p=0,410$, respectivamente), ou seja, após 20 anos as florestas exploradas com diferentes intensidades de corte não diferem entre si e principalmente da floresta primária.

Tabela 18 – Quadro da Análise de variância (ANOVA) para biomassa seca entre a floresta primária e explorada da região de Manaus-AM.

| Fontes de Variação | SQ | GL | MQ | F | P |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| Florestas | 0.376 | 11 | 0.034 | 1.051 | 0.409 |
| Erro | 3.124 | 96 | 0.033 | | |

Tabela 19 – Quadro da Análise de variância (ANOVA) para biomassa seca entre as florestas exploradas da região de Manaus-AM.

| Fontes de Variação | SQ | GL | MQ | F | P |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| Florestas exploradas | 0.234 | 8 | 0.029 | 1.047 | 0.410 |
| Erro | 2.007 | 72 | 0.028 | | |

5.2.3. Estrutura horizontal

A estrutura horizontal foi analisada utilizando-se os parâmetros de densidade ou abundância (absoluta e relativa), dominância (absoluta e relativa), frequência (absoluta e relativa) e pelo índice de valor de importância (IVI). O resultado obtido destes parâmetros foi concentrado nas cinco espécies de maior IVI dentro de cada unidade amostral de um hectare.

Florestas secundárias

Floresta secundária com 11 anos de idade

Nesta unidade amostral, as cinco espécies mais representativas compreenderam 51,47% da densidade relativa total, 60,44 % da dominância relativa e 24,8% da frequência relativa registrada. O IVI que é a combinação ou a soma destes três parâmetros, divididos por três, totalizou 45,57% para as cinco espécies mais importantes desta unidade.

A espécie que teve o maior valor expressivo do IVI nessa unidade foi *Vismia japurensis* (Clusiaceae) com 19,30%. As demais espécies preeminentes foram *Vismia guianensis* (Clusiaceae), IVI=9,56%; *Cecropia sciadophylla* (Cecropiaceae), IVI=6,18%; *Inga gracilifolia* (Mimosaceae), IVI=5,68% e *Acacia* sp. (Caesalpiniaceae), IVI=4,84% (Tabela 20).

Floresta secundária com 23 anos de idade

O grupo de espécies nesta capoeira atingiu 41,28% da densidade relativa total, 48,82% da dominância relativa e 15,53% da frequência total. As cinco espécies mais importante representam 35,54% dos IVIs de todas as espécies inventariadas nesta unidade.

As espécies que mais se destacaram nesta capoeira em termo do índice de valor de importância (IVI) foram: *Croton matourensis* (Euphorbiaceae), IVI=8,58%; *Laetia procera* (Flacourtiaceae), IVI=8,24%; *Byrsonima* sp. (Malpighiaceae), IVI=7,12% ; *Guatteria olivacea* (Annonaceae), IVI=6,09% e *Cecropia sciadophylla* (Cecropiaceae), IVI=5,52% (Tabela 20).

Floresta secundária com 30 anos de idade

As cinco espécies mais representativas nesta capoeira atingiram 43,34% da densidade relativa, 54,93% da dominância relativa e 19,51% da frequência relativa total.

A espécie com maior IVI foi *Byrsonima* sp. (Malpighiaceae) com IVI de 13,20% do total, seguida de *Laetia procera* (Flacourtiaceae), IVI=8,67%; *Vismia japurensis* (Clusiaceae), IVI=7,54%; *Croton cajucara* (Euphorbiaceae), IVI=4,94% e *Inga* sp. (Mimosaceae), IVI=4,91%. Essas cinco espécies somam 39,26% do total do IVI (Tabela 20).

Florestas primárias

Floresta primária denominada B1T0 (parcela não explorada)

O grupo das cinco espécies mais importantes alcançaram 18,10% da densidade relativa, 33,91% da dominância e 12,04% da frequência relativa total. O IVI relativo das cinco espécies somou 21,35% do total do IVI.

Eschweilera coriacea (Lecythidaceae) foi a espécie mais representativa nesta unidade amostral, alcançando IVI de 6,40% do total. As demais espécies com maior valor de importância fitossociológica foram: *Protium apiculatum* (Burseraceae), IVI=5%; *Qualea paraensis* (Vochysiaceae), IVI=3,86%; *Duckeodendron cestroides* (Duckeodendraceae), IVI=3,56% e *Aspidosperma nitidum* (Apocynaceae), IVI= 2,52% (Tabela 20).

Floresta primária denominada B2T0 (parcela não explorada)

As cinco espécies que obtiveram os maiores índices de valores de importância (IVI), nesta unidade amostral, compreenderam 26,03% da densidade relativa, 22,45% da dominância relativa e 14,13% da frequência relativa total. O grupo dessas espécies mais destacadas nesta unidade atingiu 20,87% do total do IVI.

As espécies que mais se destacaram nesta unidade em relação IVI foram: *Micrandropsis scleroxylon* (Euphorbiaceae), IVI=6,00%; *Protium apiculatum* (Burseraceae), IVI=5,48%; *Eschweilera coriacea* (Lecythidaceae), IVI=4,19%; *Mabea caudata* (Euphorbiaceae), IVI=2,72% e *Aspidosperma nitidum* (Apocynaceae), IVI=2,48% (Tabela 20).

Floresta primária denominada B4T0 (parcela não explorada)

O grupo de espécies mais importantes nesta unidade inclui 21,36% da densidade relativa, 23,98% da dominância realtiva e 13,97% da frequência relativa. O IVI calculado para as cinco espécies somou 19,77% do total do IVI.

As espécies mais proeminentes nesta unidade foram: *Eschweilera coriacea* (Lecythidaceae), IVI=7,03%; *Eschweilera pseudodecolorans* (Lecythidaceae), IVI=5,01%; *Sextonia rubra* (Lauraceae), IVI=2,96%; *Sclerolobium melanocarpum* (Caesalpiniaceae), IVI=2,55% e *Eschweilera atropetiolata* (Lecythidaceae), IVI=2,22% (Tabela 20).

Florestas exploradas

Floresta explorada denominada B1T1

Nesta unidade amostral explorada (remoção de 25% da área basal) após 19 anos, as cinco espécies mais importantes obtiveram 26,61% de densidade relativa, 19,41% de dominância relativa e 16,76% de frequência relativa total. As cinco espécies somam 20,93% do total do IVI.

A espécie com maior IVI foi *Croton lanjouwensis* (Euphorbiaceae) com IVI de 5,02%. As outras espécies importantes nesta unidade amostral foram *Eschweilera coriacea* (Lecythidaceae), IVI=4,75%; *Eschweilera pseudodecolorans* (Lecythidaceae), IVI=4,04%; *Geissospermum argenteum* (Apocynaceae), IVI=3,74% e *Protium apiculatum* (Burseraceae), IVI=3,38% (Tabela 20).

Floresta explorada denominada B2T1

As espécies que mais se destacaram nesta unidade em relação IVI, obtiveram 16,74% de densidade relativa, 21,87% de dominância relativa e 12,57% de frequência relativa total. As cinco espécies somam 17,06% do total do IVI.

As espécies com os maiores IVI encontradas nesta unidade foram *Eschweilera coriacea* (Lecythidaceae), IVI= 5,33%; *Mabea caudata* (Euphorbiaceae), IVI=3,23%; *Micrandropsis scleroxylon* (Euphorbiaceae), IVI= 3,0%; *Scleronema micranthum* (Bombacaceae), IVI= 2,81% e *Eperua duckeana* (Caesalpiniaceae), IVI=2,68% (Tabela 20).

Floresta explorada denominada B4T1

As cinco espécies mais com os maiores índices de valores de importância (IVI), encontradas nesta unidade amostral estudada, compreenderam 14,15% da densidade relativa, 24,26% da dominância relativa e 10,67% da frequência relativa total. O grupo dessas espécies mais destacadas nesta unidade atingiu 16,36% do total do IVI.

As espécies que mais se destacaram nesta unidade em relação ao IVI foram: *Eschweilera coriacea* (Lecythidaceae), IVI=6,81%; *Pourouma tomentosa* (Cecropiaceae), IVI=2,65%; *Aspidosperma nitidum* (Apocynaceae), IVI=2,51%; *Ruizterania albiflora* (Vochysiaceae), IVI=2,28% e *Duroia macrophylla* (Rubiaceae), IVI=2,12% (Tabela 20).

Floresta explorada denominada BIT2

Nesta unidade amostral explorada (remoção de 50% da área basal) após 19 anos, o Grupo das espécies mais relevantes alcançaram 20,67% da densidade relativa, 23,89% da dominância relativa e 15,65% da frequência relativa total.

A espécie com maior IVI foi *Eschweilera coriacea* (Lecythidaceae) com IVI de 7,56%. As demais espécies foram *Pouroma tomentosa* (Cecropiaceae), IVI=3,36%; *Eschweilera pseudodecolorans* (Lecythidaceae), IVI=3,34%; *Protium apiculatum* (Burseraceae), IVI=3,22% e *Geissospermum argenteum* (Apocynaceae), IVI=2,58%. O IVI relativo das cinco espécies foi de 20,07% (Tabela 20).

Floresta explorada denominada B2T2

O grupo de espécies mais importantes nesta unidade inclui 27,19% da densidade relativa, 20,16% da dominância relativa e 15,34% da frequência relativa. O IVI relativo das cinco espécies foi de 20,90%.

As espécies com elevado IVI foram: *Eschweilera coriacea* (Lecythidaceae), IVI=5,18%; *Croton lanjouwensis* (Euphorbiaceae), IVI=4,51%; *Eschweilera pseudodecolorans* (Lecythidaceae), IVI=4,06%; *Micrandropsis scleroxylon* (Euphorbiaceae), IVI=3,63% e *Protium apiculatum* (Burseraceae), IVI=3,52% (Tabela 20).

Floresta explorada denominada B4T2

O grupo das cinco espécies mais destacadas nesta unidade atingiu 19,27% da densidade relativa, 17,21% da dominância relativa e 13,98% da frequência relativa total. O IVI calculado para esse grupo de espécies somou 16,82% do total do IVI.

As espécies com os maiores IVI encontradas nesta unidade foram *Eschweilera coriacea* (Lecythidaceae), IVI= 5,80%; *Eschweilera collina* (Lecythidaceae), IVI=3,24%; *Protium apiculatum* (Burseraceae), IVI= 2,93%; *Inga* sp. (Mimosaceae), IVI= 2,52% e *Couratari stellata* (Lecythidaceae), IVI=2,33% (Tabela 20).

Floresta explorada denominada BIT3

Nesta unidade amostral explorada (remoção de 75% da área basal) após 18 anos, o grupo das cinco espécies mais representativas nesta unidade, apresentaram 23,65% de densidade relativa, 18,84% de dominância relativa e 16,30% de frequência relativa. O IVI relativo das cinco espécies foi de 19,60%.

Eschweilera coriacea (Lecythidaceae) foi a espécie com maior expressão fitossociológica, com IVI=5,50% do total. As outras espécies com elevado IVI foram: *Cecropia sciadophylla* (Cecropiaceae), IVI=4,98%; *Inga* sp. (Mimosaceae), IVI=3,42%; *Protium apiculatum* (Burseraceae), IVI=3,06% e *Couratari stellata* (Lecythidaceae), IVI=2,64% (Tabela 20).

Floresta explorada denominada B2T3

O grupo das cinco espécies mais importantes alcançaram 19,53% da densidade relativa, 21,11% da dominância e 14,13% da frequência relativa total. O IVI relativo das cinco espécies somou 18,26% do total do IVI.

Geissospermum argenteum (Apocynaceae) foi a espécie mais representativa nesta unidade amostral, alcançando IVI de 4,47% do total. As demais espécies com maior valor de importância fitossociológica foram: *Micrandropsis scleroxylon* (Euphorbiaceae), IVI=4,35%; *Eschweilera coriacea* (Lecythidaceae), IVI=3,85%; *Eschweilera pseudodecolorans* (Lecythidaceae), IVI=2,93% e *Protium apiculatum* (Burseraceae), IVI= 2,66% (Tabela 20).

Floresta explorada denominada B4T3

As cinco espécies mais destacadas nesta unidade alcançaram 18,99% de densidade relativa, 18,35% de dominância relativa e 14,29% de frequência relativa. As cinco espécies representam 17,21% dos IVIs de todas as espécies que estão presentes nesta área explorada.

As espécies que obtiveram o maior valor do IVI foram: *Eschweilera coriacea* (Lecythidaceae), IVI=5,75%; *Inga* sp. (Mimosaceae), IVI=3,26%; *Protium apiculatum* (Burseraceae), IVI=3,22% ; *Eschweilera pseudodecolorans* (Lecythidaceae), IVI=2,63% e *Rinorea guianensis* (Violaceae), IVI=2,35% (Tabela 20).

Nos sub-blocos (floresta primária e explorada) estudados, a espécie *Eschweilera coriacea* (matámatá amarelo) foi a mais importante, evidenciando que estes sub-blocos são ecologicamente dominada pela mesma. Este resultado demonstra uma afinidade com outros trabalhos realizados na Amazônia Central, onde a espécie *Eschweilera coriacea*, esta entre as 20 espécies com maior valor de IVI (Oliveira, 1997, Amaral *et al.*, 2000, Lima Filho *et al.*, 2001).

Tabela 20 – Parâmetros fitossociológico das cinco espécies mais representativas de cada unidade amostral inventariadas no município de Manaus-AM, por ordem decrescente de valores de IVI.

| Tipos | Espécies | Família | De | Do | Fr | IVI |
|----------------|--|--|---------------|-------|------|-------|
| 11 anos | <i>Vismia japurensis</i> Reichardt | Clusiaceae | 24,12 | 26,59 | 7,2 | 19,30 |
| | <i>Vismia guianensis</i> (Aubl.) Pers. | | 12,35 | 9,93 | 6,4 | 9,56 |
| | <i>Cecropia sciadophylla</i> Mart. | Cecropiaceae | 4,71 | 8,24 | 5,6 | 6,18 |
| | <i>Inga gracilifolia</i> Ducke. | Mimosaceae | 5,88 | 7,17 | 4 | 5,68 |
| | <i>Acacia</i> sp. | Caesalpinaceae | 4,41 | 8,51 | 1,6 | 4,84 |
| | <i>Croton matourensis</i> Aubl. | Euphorbiaceae | 9,56 | 14,15 | 2,02 | 8,58 |
| 23 anos | <i>Laetia procera</i> (Poepp.) Eichler | Flacourtiaceae | 13,26 | 7,84 | 3,63 | 8,24 |
| | <i>Byrsonima</i> sp. | Malpighiaceae | 7,72 | 10,03 | 3,63 | 7,12 |
| | <i>Guatteria olivacea</i> R.E.Fries | Annonaceae | 7,21 | 7,41 | 3,63 | 6,09 |
| | <i>Cecropia sciadophylla</i> Mart. | Cecropiaceae | 3,52 | 9,39 | 3,63 | 5,52 |
| | <i>Byrsonima</i> sp. | Malpighiaceae | 10,78 | 24,43 | 4,39 | 13,20 |
| 30 anos | <i>Laetia procera</i> (Poepp.) Eichler | Flacourtiaceae | 12,90 | 8,73 | 4,39 | 8,67 |
| | <i>Vismia japurensis</i> Reichardt | Clusiaceae | 7,40 | 11,32 | 3,90 | 7,54 |
| | <i>Croton cajucara</i> Benth. | Euphorbiaceae | 8,25 | 2,67 | 3,90 | 4,94 |
| | <i>Inga</i> sp. | Mimosaceae | 4,02 | 7,78 | 2,93 | 4,91 |
| | | <i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) S.A. Mori | Lecythidaceae | 8,14 | 6,88 | 4,19 |
| B1T0 | <i>Protium apiculatum</i> Swart | Burseraceae | 6,79 | 4,02 | 4,19 | 5,00 |
| | <i>Qualea paraensis</i> Ducke | Vochysiaceae | 1,81 | 7,68 | 2,09 | 3,86 |
| | <i>Duckeodendron cestroides</i> Kuhlman | Duckeodendraceae | 0,45 | 9,72 | 0,52 | 3,56 |
| | <i>Aspidosperma nitidum</i> Benth. | Apocynaceae | 0,90 | 5,61 | 1,05 | 2,52 |
| | | <i>Micrandropsis scleroxylon</i> W.Rodr. | Euphorbiaceae | 6,20 | 7,46 | 4,35 |
| B2T0 | <i>Protium apiculatum</i> Swart | Burseraceae | 9,09 | 4,07 | 3,26 | 5,48 |
| | <i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) S.A. Mori | Lecythidaceae | 4,96 | 4,36 | 3,26 | 4,19 |
| | <i>Mabea caudata</i> Pax & K. Hoffm. | Euphorbiaceae | 4,55 | 1,45 | 2,17 | 2,72 |
| | <i>Aspidoperma nitidum</i> Benth. | Apocynaceae | 1,24 | 5,10 | 1,09 | 2,48 |
| | | | | | | |

| | | | | | | |
|-------------|---|----------------|-------|------|------|------|
| B4T0 | <i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) S.A. Mori | | 10,91 | 5,15 | 5,03 | 7,03 |
| | <i>Eschweilera pseudodecolorans</i> S.A. Mori | Lecythidaceae | 5,45 | 5,67 | 3,91 | 5,01 |
| | <i>Sextonia rubra</i> (Mez) van der Werff | Lauraceae | 0,45 | 7,88 | 0,56 | 2,96 |
| | <i>Sclerolobium melanocarpum</i> Ducke | Caesalpinaceae | 1,82 | 3,59 | 2,23 | 2,55 |
| | <i>Eschweilera atropetiolata</i> S.A. Mori | Lecythidaceae | 2,73 | 1,70 | 2,23 | 2,22 |
| B1T1 | <i>Croton lanjouwensis</i> Jabl. | Euphorbiaceae | 8,87 | 3,50 | 2,70 | 5,02 |
| | <i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) S.A. Mori | Lecythidaceae | 5,24 | 5,23 | 3,78 | 4,75 |
| | <i>Eschweilera pseudodecolorans</i> S.A. Mori | | 4,44 | 3,89 | 3,78 | 4,04 |
| | <i>Geissospermum argenteum</i> Woodson | Apocynaceae | 2,82 | 5,15 | 3,24 | 3,74 |
| | <i>Protium apiculatum</i> Swart | Burseraceae | 5,24 | 1,65 | 3,24 | 3,38 |
| B2T1 | <i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) S.A. Mori | Lecythidaceae | 5,58 | 6,98 | 3,43 | 5,33 |
| | <i>Mabea caudata</i> Pax & K. Hoffm. | | 4,19 | 2,08 | 3,43 | 3,23 |
| | <i>Micrandropsis scleroxylon</i> W.Rodr. | Euphorbiaceae | 3,26 | 4,03 | 1,71 | 3,00 |
| | <i>Scleronema micranthum</i> (Ducke) Ducke | Bombacaceae | 1,40 | 5,33 | 1,71 | 2,81 |
| | <i>Eperua duckeana</i> R.S. Cowan | Caesalpinaceae | 2,33 | 3,44 | 2,29 | 2,68 |
| B4T1 | <i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) S.A. Mori | Lecythidaceae | 8,96 | 6,40 | 5,06 | 6,81 |
| | <i>Pourouma tomentosa</i> Miq. ssp. tomentosa | Cecropiaceae | 2,83 | 2,31 | 2,81 | 2,65 |
| | <i>Aspidosperma nitidum</i> Benth. | Apocynaceae | 0,94 | 5,45 | 1,12 | 2,51 |
| | <i>Ruizterania albiflora</i> (Warm.) Marc.-Berti | Vochysiaceae | 0,94 | 4,78 | 1,12 | 2,28 |
| B1T2 | <i>Duroia macrophylla</i> Huber | Rubiaceae | 0,47 | 5,33 | 0,56 | 2,12 |
| | <i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) S.A. Mori | Lecythidaceae | 7,82 | 9,43 | 5,44 | 7,56 |
| | <i>Pourouma tomentosa</i> Miq. ssp. tomentosa | Cecropiaceae | 4,47 | 2,90 | 2,72 | 3,36 |
| | <i>Eschweilera pseudodecolorans</i> S.A. Mori | Lecythidaceae | 2,23 | 5,75 | 2,04 | 3,34 |
| | <i>Protium apiculatum</i> Swart | Burseraceae | 3,35 | 2,92 | 3,40 | 3,22 |
| | <i>Geissospermum argenteum</i> Woodson | Apocynaceae | 2,79 | 2,90 | 2,04 | 2,58 |

| | | | | | | |
|-------------|--|---------------|------|------|------|------|
| | <i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) S.A. Mori | Lecythidaceae | 6,14 | 5,42 | 3,98 | 5,18 |
| | <i>Croton lanjouwensis</i> Jabl. | Euphorbiaceae | 7,46 | 3,23 | 2,84 | 4,51 |
| B2T2 | <i>Eschweilera pseudodecolorans</i> S.A. Mori | Lecythidaceae | 4,39 | 4,39 | 3,41 | 4,06 |
| | <i>Micrandropsis scleroxylon</i> W.Rodr. | Euphorbiaceae | 4,82 | 4,37 | 1,70 | 3,63 |
| | <i>Protium apiculatum</i> Swart | Burseraceae | 4,39 | 2,76 | 3,41 | 3,52 |
| <hr/> | | | | | | |
| | <i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) S.A. Mori | Lecythidaceae | 7,80 | 6,39 | 3,23 | 5,80 |
| | <i>Eschweilera collina</i> Eyma | | 4,13 | 2,89 | 2,69 | 3,24 |
| B4T2 | <i>Protium apiculatum</i> Swart | Burseraceae | 2,29 | 3,80 | 2,69 | 2,93 |
| | <i>Inga</i> sp. | Mimosaceae | 2,29 | 2,59 | 2,69 | 2,52 |
| | <i>Couratari stellata</i> A.C. Sm. | Lecythidaceae | 2,75 | 1,54 | 2,69 | 2,33 |
| <hr/> | | | | | | |
| | <i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) S.A. Mori | Lecythidaceae | 6,64 | 6,05 | 3,80 | 5,50 |
| | <i>Cecropia sciadophylla</i> Mart. | Cecropiaceae | 7,88 | 4,35 | 2,72 | 4,98 |
| B1T3 | <i>Inga</i> sp. | Mimosaceae | 3,73 | 2,72 | 3,80 | 3,42 |
| | <i>Protium apiculatum</i> Swart | Burseraceae | 3,73 | 1,64 | 3,80 | 3,06 |
| | <i>Couratari stellata</i> A.C. Sm. | Lecythidaceae | 1,66 | 4,09 | 2,17 | 2,64 |
| <hr/> | | | | | | |
| | <i>Geissospermum argenteum</i> Woodson | Apocynaceae | 3,26 | 7,44 | 2,72 | 4,47 |
| | <i>Micrandropsis scleroxylon</i> W.Rodr. | Euphorbiaceae | 4,19 | 5,59 | 3,26 | 4,35 |
| B2T3 | <i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) S.A. Mori | | 5,12 | 3,70 | 2,72 | 3,85 |
| | <i>Eschweilera pseudodecolorans</i> S.A. Mori | Lecythidaceae | 3,26 | 2,83 | 2,72 | 2,93 |
| | <i>Protium apiculatum</i> Swart | Burseraceae | 3,72 | 1,55 | 2,72 | 2,66 |
| <hr/> | | | | | | |
| | <i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) S.A. Mori | Lecythidaceae | 5,49 | 8,19 | 3,57 | 5,75 |
| | <i>Inga</i> sp. | Mimosaceae | 4,22 | 3,01 | 2,55 | 3,26 |
| B4T3 | <i>Protium apiculatum</i> Swart | Burseraceae | 3,80 | 2,81 | 3,06 | 3,22 |
| | <i>Eschweilera pseudodecolorans</i> S.A. Mori | Lecythidaceae | 2,53 | 2,80 | 2,55 | 2,63 |
| | <i>Rinorea guianensis</i> Aubl. | Violaceae | 2,95 | 1,54 | 2,55 | 2,35 |

De= densidade ou abundância relativa (%); Do= dominância relativa (%); Fr=frequência relativa (%) e IVI= índice de valor de importância (%).

5.2.4. Análise de diversidade de Shannon

Com objetivo de se conhecer a diversidade das espécies nas unidades amostrais, foi calculado o índice de diversidade de Shannon (H'). Nas áreas de floresta secundária (capoeiras) a maior diversidade encontrada foi na capoeira com 23 anos de idade (4,52), seguida da capoeira com 30 anos de idade, a qual obteve um índice de 4,23. Na capoeira com 11 anos de idade observou-se a menor diversidade (3,97), onde encontrou-se o menor número de espécies.

Nas áreas de floresta primária (testemunhas) o índice de diversidade ficou em torno de 4,76 para unidade amostral B1T0 e 4,67 para as unidades amostrais B2T0 e B4T0. A elevada diversidade das áreas de estudo condiz com outros resultados já encontrados na região amazônica. Na floresta primária próxima de Manaus Lima (2002) encontrou valores de 4,5 e 4,3. Na FLONA Tapajós um estudo desenvolvido em floresta primária e secundária o índice de Shannon foi de 4,49 e 4,09, respectivamente (Espírito-Santo *et al.*, 2005). Matos (2006) estudando áreas de floresta densa de terra-firme na Amazônia central, obteve um valor médio de diversidade de 4,58. Em florestas tropicais, este índice tende a aumentar à medida que a vegetação se aproxima do clímax. Quanto maior esse índice, maior será a diversidade florística da área em estudo.

Nas áreas de floresta exploradas com diferentes intensidades de corte, o índice de diversidade de Shannon apresentou o valor médio em torno de 4,68, este valor é próximo dos valores obtidos nas unidades amostrais de floresta primária (B1T0, B2T0 e B4T0) e superior ao obtido por Araújo *et al.* (2003) que obteve um valor de 3,6 para a floresta primária. Os valores obtidos sugerem que as áreas exploradas após 18 e 19 anos apresentam uma diversidade florística semelhante da floresta primária.

5.3. Estimativas do índice de área foliar (IAF) e abertura do dossel em áreas de floresta primária e secundária na Amazônia Central e Matogrossense.

Visando analisar as variações estruturais e a distribuição espacial dos dosséis, foram estimados e mapeados o IAF e abertura relativa do dossel nas parcelas amostrais da região de Manaus (AM) e Alta Floresta (MT). O método de interpolação empregado no mapeamento foi de krigagem, o qual é um processo de estimativa de valores de variáveis distribuídas no espaço, e/ou no tempo, a partir de valores adjacentes enquanto considerados como interdependentes pelo semivariograma (Landim, 2003). O software Surfer® 8.0 (Golden Software, Inc.) foi utilizado na confecção dos mapas

O objetivo deste estudo foi estimar o IAF e abertura do dossel pelo método óptico indireto (fotografias hemisféricas), assim como, analisar e comparar o padrão espacial da estrutura do dossel em áreas de floresta primária e secundária na região de Alta Floresta (MT) e Manaus (AM).

5.3.1. Região de Alta Floresta – MT

As estatísticas descritivas do índice de área foliar (IAF) e abertura do dossel de cada parcela amostral da região de Alta Floresta são apresentadas nas tabelas 21 e 22.

Os valores médios do IAF obtidos nas 6 parcelas amostrais de Alta Floresta (FS-D, FS-E, FS-A, FS-B, FP-H e FP-I) foram: $3,5 \pm 0,8$; $4,2 \pm 0,8$; $3,7 \pm 0,5$; $3,8 \pm 0,5$; $4,8 \pm 0,6$ e $4,0 \pm 0,3$, respectivamente. Verifica-se que a média do índice de área foliar teve um pequeno aumento de acordo com a idade nas florestas secundárias (capoeiras).

Observa-se na tabela 21 uma diferença entre os valores do IAF nas áreas de floresta secundária (FS-D e FSE) que apresentam a mesma idade de regeneração (5 anos), essa diferença é devido a composição florística, onde a parcela FS-D apresentou um dossel mais aberto do que a parcela FS-E, outro fator responsável por essa diferença é a severidade do fogo, onde a parcela FS-D teve um consumo de biomassa de 61,5% e a FS-E de 41,8% (Carvalho *et al.*, 2001). O valor médio da IAF encontrado na parcela FS-D foi o mesmo obtido por Aragão *et al.* (2005) em uma floresta secundária na região do Tapajós-PA, com valor médio IAF de 3,46 e inferior ao encontrado por Honzák *et al.* (1996), com valor do IAF de 3,8 para uma área de floresta secundária com 4 anos de idade próxima de Manaus, dominada pelos gêneros *Vismia* e *Bellucia*.

As florestas secundárias FS-A e FS-B com 8 anos de idade obtiveram praticamente a mesma média do IAF, sendo observado nestas duas parcelas amostrais (FS-A e FS-B) a

dominância do gênero *Cecropia*. Segundo Schubart (1983) as *Cecropia* spp. são um dos grupos de espécies mais característicos, da fase pioneira da região Amazônica, as quais são muito exigentes de luz.

O consumo de biomassa pelo fogo nas parcelas FS-A e FS-B foi de 22,7% e 19,5%, respectivamente, ou seja, menores do que nas parcelas FS-D e FS-E (Carvalho *et al.*, 2001). O valor médio do IAF encontrado nestas duas parcelas foi igual ao obtido por Honzák *et al.* (1996), onde obtiveram um valor IAF de 3,7 para uma área com 8 anos de idade, dominada pelos gêneros *Vismia* e *Cecropia* e, superior ao encontrado por Feldpausch *et al.* (2005) com IAF de $3,1 \pm 0,3$ para idades entre 6 a 8 anos na região de Manaus. Superior também ao registrado por Aragão *et al.* (2005) em floresta secundária no Alto Tapajós.

Os valores médios do IAF de $4,8 \pm 0,6$ e $4,0 \pm 0,3$ obtidos nas florestas primárias (Tabela 22) foram maiores do que o valor obtido por Aragão *et al.* (2005) (IAF = 3,58) em áreas de floresta primária aberta na região do Tapajós no Pará e similar ao valor médio IAF de 4,6 para florestas de transição localizada no centro-norte do estado do Mato Grosso verificado por Graça (2004).

As capoeiras (FS-D e FS-E) com 5 anos de idade apresentaram desvios-padrão elevados (Tabela 21) quando comparado com as demais capoeiras e com a floresta primária da região, ou seja, nestas capoeiras houve maior variação dos valores do IAF e abertura do dossel em relação as capoeiras com idades mais avançadas.

Com relação aos valores de mínimos e máximos estes são mais elevados na capoeira com 8 anos de idade (FS-B) e menores na floresta primária FP-I, demonstrando que os valores do IAF da FP-I são mais próximos da média, apresentando valores de IAF mais homogêneo em relação as outras parcelas amostrais.

Verifica-se na tabela 21 que a capoeira FS-D apresentou maior grau de dispersão dos valores do índice de área foliar (23,1%), quando comparada com as outras parcelas, as quais apresentaram um coeficiente de variação menor, ou seja, a FS-D com 5 anos de idade é mais heterogênea em relação os valores de IAF.

A abertura do dossel foi analisada nas capoeiras e na floresta primária ombrófila aberta, onde observou-se que as capoeiras com 5 anos de idade (FS-D e FS-E) obtiveram a maior abertura do dossel. Na floresta primária a maior abertura do dossel foi verificada na parcela amostral FP-I ($2,3\% \pm 0,6$), enquanto na floresta FP-H a abertura média do dossel foi menor ($0,5\% \pm 0,4$).

Tabela 21 - Estatística descritiva do índice de área foliar (IAF) e abertura do dossel (AD) em cada estágio sucessional na região de Alta Floresta.

| | FS-D (5anos) | | FS-E (5anos) | | FS-A (8anos) | | FS-B (8anos) | |
|-----------|--------------|-------------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|
| | IAF | AD(%) | IAF | AD(%) | IAF | AD(%) | IAF | AD(%) |
| Média | 3.521 | 14.1 | 4.223 | 7.2 | 3.677 | 3.3 | 3.788 | 2.9 |
| Minímo | 1.342 | 3.5 | 2.749 | 1.4 | 2.740 | 1.1 | 2.643 | 0.7 |
| Máximo | 5.454 | 56 | 5.994 | 22.5 | 5.529 | 8.4 | 6.057 | 7.9 |
| DP | 0.813 | 10.3 | 0.754 | 3.7 | 0.498 | 1.6 | 0.491 | 1.2 |
| Variância | 0.661 | 1.1 | 0.569 | 0.1 | 0.248 | 0.0 | 0.241 | 0.0 |
| CV (%) | 23.1 | 73.0 | 17.9 | 51.6 | 13.6 | 46.8 | 13.0 | 42.7 |
| IC (95%) | 3.3<x<3.7 | 11.8<x<16.3 | 4.1<x<4.4 | 6.4<x<8.1 | 3.6<x<3.8 | 3.0<x<3.7 | 3.7<x<3.9 | 2.6<x<3.2 |
| <i>n</i> | 81 | | 81 | | 81 | | 81 | |

DP= Desvio-padrão, CV= Coeficiente de Variação, IC = Intervalo de Confiança, n= número de fofotios

Tabela 22 - Estatística descritiva do índice de área foliar (IAF) e abertura do dossel (AD) nas parcelas de floresta primária ombrófila aberta na região de Alta Floresta

| | FP-H | | FP-I | |
|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | IAF | AD(%) | IAF | AD(%) |
| Média | 4,846 | 0,5 | 4,028 | 2,3 |
| Mínimo | 3,669 | 0,0 | 3,409 | 1,0 |
| Máximo | 6,923 | 1,6 | 4,770 | 4,7 |
| Desvio-padrão | 0,641 | 0,4 | 0,287 | 0,6 |
| Variância | 0,411 | 0,0 | 0,082 | 0,0 |
| CV (%) | 13,2 | 78,4 | 7,1 | 27,7 |
| IC (95%) | 4,7<x<4,9 | 0,4<x<0,6 | 3,9<x<4,1 | 2,1<x<2,4 |
| <i>n</i> | 81 | | 81 | |

A análise de variância para índice de área foliar (IAF) nos diferentes estádios sucessionais na região de Alta Floresta, tabela 23, demonstrou que há diferenças altamente significativas ($P < 0,01$) entre os diferentes estádios sucessionais. Quando aplicado o teste de comparação múltipla de Tukey, tabela 24, este evidenciou que essa diferença é explicada pelos seguintes estádios sucessionais: as capoeiras com 5 anos FS-D e FS-E ($P=0,001$), provavelmente, esta diferença nos valores do IAF está relacionada a composição florísticas da capoeira FS-D e pela severidade do fogo, a floresta primária (FP-H) e as capoeiras com 5 e 8 anos de idade FS-D, FS-A e FS-B ($P=0,000$); a FS-E e a floresta primária FP-H ($P=0,004$) e entre as florestas primárias FP-H e FP-I ($P=0,000$)

Tabela 23 - Análise de variância (ANOVA) para índice de área foliar entre os estádios sucessionais (FS-A, FS-B, FS-D, FS-E, FP-H e FP-I) em Alta Floresta-MT.

| Fontes de Variação | SQ | GL | MQ | F | P |
|-----------------------|--------|----|-------|--------|-------|
| Estádios sucessionais | 10,293 | 5 | 2,059 | 17,876 | 0,000 |
| Erro | 5,528 | 48 | 0,115 | | |

Tabela 24 - Matriz de probabilidade de comparação múltipla “Tukey” para índice de área foliar.

| | FS-A | FS-B | FS-D | FS-E | FP-H | FP-I |
|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| FS-A | 1.000 | | | | | |
| FS-B | 0.982 | 1.000 | | | | |
| FS-D | 0.924 | 0.559 | 1.000 | | | |
| FS-E | 0.016 | 0.090 | 0.001 | 1.000 | | |
| FP-H | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.004 | 1.000 | |
| FP-I | 0.259 | 0.666 | 0.030 | 0.825 | 0.000 | 1.000 |

5.3.1.1. Mapeamento do Índice de Área Foliar (IAF) e Abertura do dossel (AD)

Os mapas de distribuição do IAF e abertura relativa do dossel (AD) para a floresta secundária e primária são apresentados nas Figuras 59, 60 e 61.

Observa-se na floresta secundária com 5 anos de idade denominada FS-D (Figuras 59a), que as unidades ecológicas¹ apresentam um tamanho maior do que na floresta primária (PF-H) e na floresta secundária FS-E (~30 a 50 m), provavelmente devido ao prazo prolongado entre derrubada e queimada, ação mais intensa e uniforme do fogo e recrutamento das espécies. A localização da parcela próxima à estrada e do pasto, pode ser um outro fator que cria estas grandes unidades ecológicas.

A figura 59b mostram a estrutura da capoeira FS-E (5 anos de idade) a qual reflete a estrutura da floresta primária (Figura 61e), embora com unidades ecológicas de tamanho maior (~30 a 40 m). O fato da capoeira FS-E refletir uma estrutura próxima da floresta primária pode estar relacionado a sua localização, ou seja, a parcela FS-E é situada longe da estrada e dos pastos.

O coeficiente de correlação entre IAF e log(abertura dossel) para as capoeiras com 5 anos de idade (FS-D e FS-E) foram: -0,74 e -0,77, respectivamente.

¹Unidades ecológicas ou eco-unidades são manchas dentro da floresta em diferentes estado sucessional. As unidades ecológicas podem possuir diferentes tamanhos e composições de espécies, cujo conjunto compreende o mosaico florestal (Oldeman, 1978, 1983)

Nas florestas secundárias com 8 anos de idade (FS-A e FS-B) as unidades ecológicas apresentam um tamanho de ~20 a 30 m (Figuras 60c e 60d). Na parcela FS-B observa-se pequenas clareiras (~20 m), provavelmente devido à dominância do gênero *Cecropia* nesta parcela. Outro fator que pode estar influenciando a formação de pequenas clareiras é localização desta parcela que se situa longe da estrada e do pasto, aproximadamente 400 m dentro da floresta. A parcela FS-A está localizada na interface com o pasto. Este pasto foi formado em 1994, sendo que a vegetação original foi derrubada em 1977. De 1977 a 1994 esta área foi utilizada como plantação de café (Carvalho *et al.*, 2001). As capoeiras com 8 anos de idade (FS-A e FS-B), obtiveram coeficientes de correlação entre IAF e log(abertura do dossel) de -0,81 e -0,84.

Os mapas de distribuição do IAF e abertura relativa do dossel para a floresta primária FP-H (Figura 61e) mostram a heterogeneidade ligada a dinâmica de pequenas clareiras (unidades ecológicas ~ 20 m). As curvas de níveis do IAF apresentam uma relação direta com as curvas de níveis da abertura do dossel, evidenciada por um coeficiente de correlação (-0,70) entre IAF e log(abertura dossel).

Na floresta PH-I (Figura 61f) observa-se que o dossel é mais fechado do que a parcela FP-I, com poucas e pequenas clareiras (unidades ecológicas ~15 a 20 m). A localização desta parcela, situada longe da estrada e dos pastos, pode ser um dos fatores responsável pela formação de pequenas clareiras. Coeficiente de correlação entre IAF e log(abertura dossel) foi -0,77.

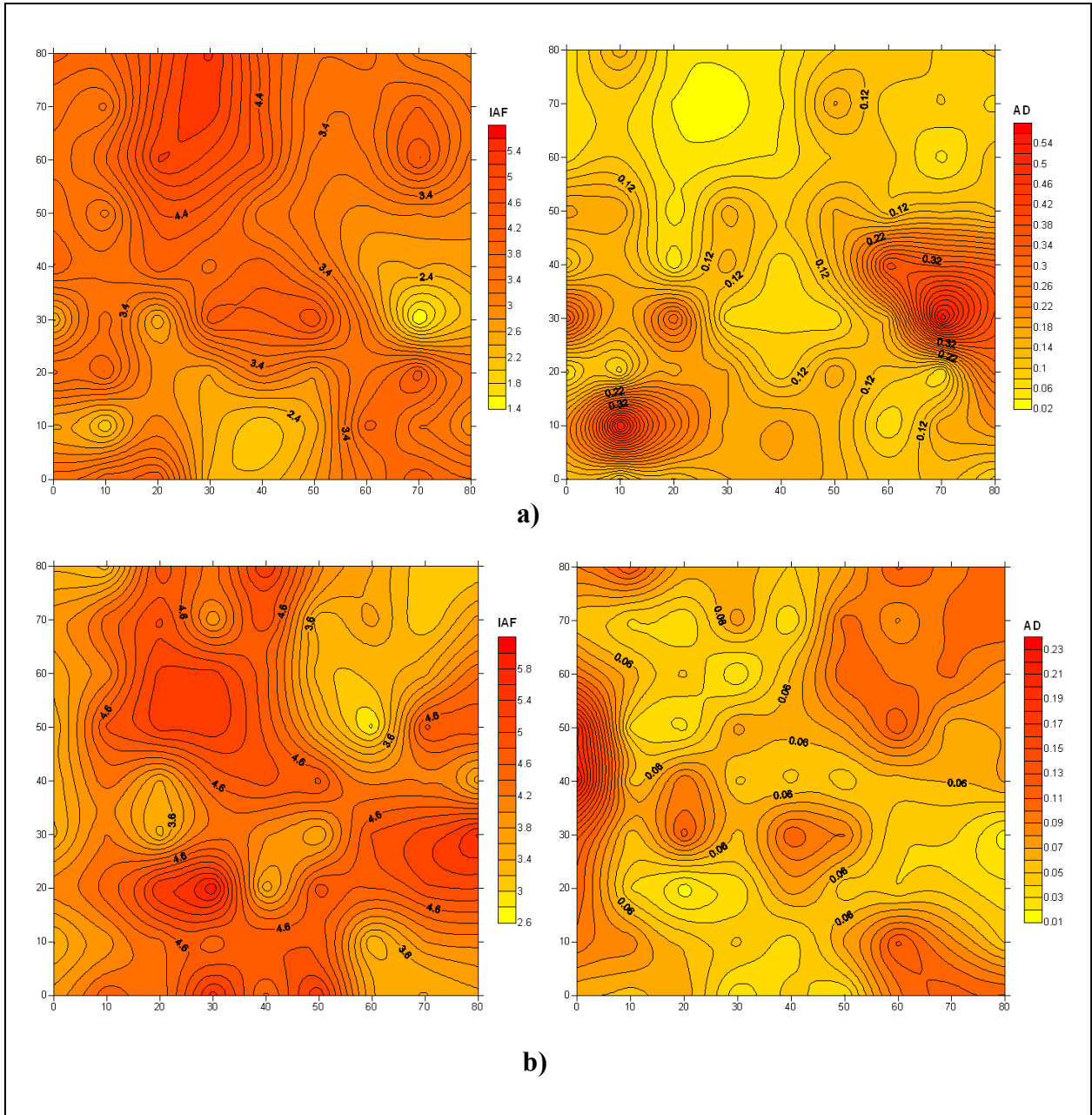


Figura 59 - Mapeamento do Índice de Área Foliar (IAF) e da Abertura do dossel (AD) da floresta secundária na região de Alta Floresta-MT: (a) FS-D com 5 anos de idade e (b) FS-E com 5 anos de idade.

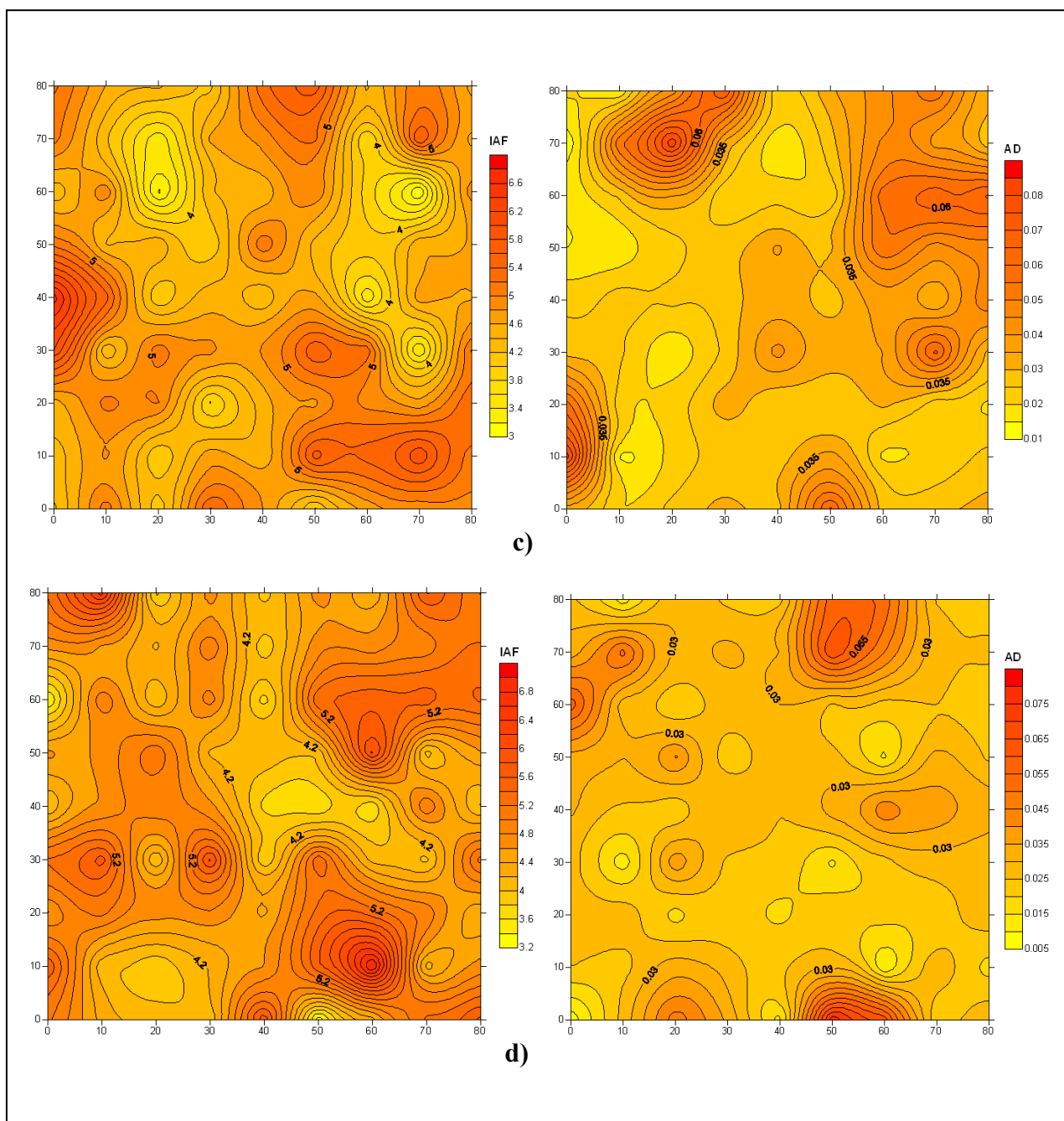


Figura 60 - Mapeamento do Índice de Área Foliar (IAF) e da Abertura do dossel (AD) da floresta secundária na região de Alta Floresta-MT: (c) FS-A com 8 anos de idade e (d) FS-B com 8 anos de idade.

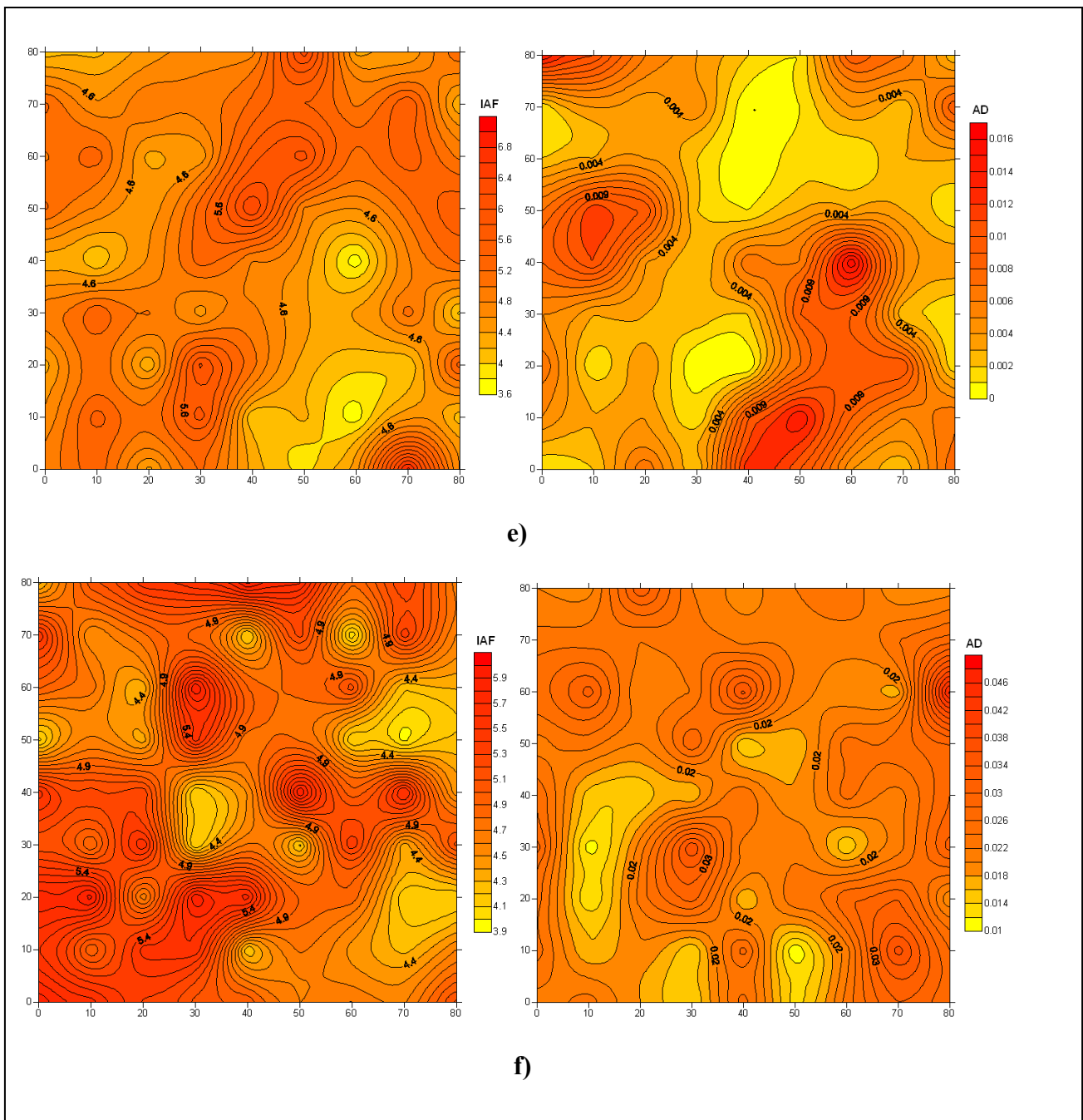


Figura 61 - Mapeamento do Índice de Área Foliar (IAF) e da Abertura do dossel (AD) da floresta primária na região de Alta Floresta-MT: (e) FP-H e (f) FP-I.

Distribuição espacial das folhas (Clumping Index – CI)

A dispersão espacial das folhas refere-se a disposição ou arranjo das folhas dentro do volume que constitui o dossel, a qual expressa as relações espaciais entre os elementos foliares. A dispersão das folhas condiciona a distribuição da irradiação e a maneira que esta irradiação diminui ou é atenuada dentro do volume vegetal (Soudani, 1999).

As estatísticas espaciais referem-se há 3 modelos de dispersão ou índice de agrupamento (*Clumping index*-CI) (Chen e Black, 1992): aleatório (CI=1), regular (CI > 1) e agregativo (CI < 1) (Bréda *et al.*, 2002; Nilson, 1971 citado por Soudani, 1999; Campbell e Norman, 1998).

A Tabela 25 apresentado os valores de média, mínimo, máximo e desvio-padrão do CI encontrado para cada parcela amostral (FS-D, FS-E, FS-A, FS-B, FP-H e FP-I).

Verifica-se nos resultados que as média do CI foram iguais (0,956) nas duas parcelas de capoeira com 5 anos de idade, demonstrando que estas parcelas, de uma forma geral, apresentaram uma distribuição espacial das folhas do tipo agregado (CI < 1). Porém, próximas de uma distribuição aleatória. As capoeiras com 8 anos obtiveram médias de CI de $0,796 \pm 0,13$ (FS-A) e $0,820 \pm 1,3$ (FS-B), ou seja, do tipo agregado, com uma densidade foliar maior do que nas capoeiras com 5 anos, provavelmente devido a presença dominante do gênero *Cecropia* nas capoeiras com 8 anos.

A floresta primária (FP-H) apresentou uma dispersão regular ou uniforme das folhas ($1,04 \pm 0,12$). A média do índice de agrupamento foliar (CI) verificada na parcela FP-I (floresta primária) foi de $0,83 \pm 0,11$, ou seja, do tipo agregado. Segundo Campbell e Norman (1998), os dosséis das florestas plantadas e naturais tendem, geralmente, a uma distribuição espacial agregada (*clumped*). Os autores também verificaram que espécies como, por exemplo, *Acer saccharum* (sugar maple), carvalho (oak) nos Estados Unidos e *Pinus banksiana* (jack pine) no Canadá apresentaram uma dispersão das folhas do tipo agregado (CI < 1). Walter *et al.* (2003) analisando os efeitos de agregação na estrutura do dossel pelos métodos de Chen e Cihlar (1995) e Pielou (1962), observaram que o dossel do *Pinus sylvestris* L. (scots pine) obteve um CI=1,02 pelo método de Chen e Cihlar, evidenciando uma dispersão regular (CI>1) das folhas. Pelo método de Pielou esta espécie apresentou uma dispersão menos agregada (CI = 0,58) quando comparada com outras espécies analisadas no estudo (0,24; 0,42 e 0,43)

Em floresta de dipterocarpaceae (Sumatra) Walter e Torquebiau (1997) estudaram a estrutura e a dinâmica do dossel em 25 sítios de floresta primária (floresta alta, zona de

transição e floresta decídua). Em 16 sítios os autores encontraram a dispersão do dossel do tipo randômico ou aleatório (12 sítios de floresta alta e 4 sítios de zona de transição) e em nove sítios (3 de floresta alta, 4 em zona de transição e 2 em floresta decídua) a dispersão foi do tipo agregado. De acordo com Gardingen *et al.* (1999) o fator ou índice de agrupamento foliar varia em função da estrutura e da densidade do dossel.

Tabela 25 - Estatística do índice de agrupamento (CI) espacial das folhas para a região de Alta Floresta –MT.

| | FS-D (5anos) | FS-E (5anos) | FS-A (8anos) | FS-B (8anos) | FP-H | FP-I |
|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------|-------|
| Média | 0,956 | 0,956 | 0,796 | 0,820 | 1,042 | 0,831 |
| Mínimo | 0,730 | 0,776 | 0,556 | 0,611 | 0,795 | 0,644 |
| Máximo | 1,122 | 1,065 | 1,306 | 1,202 | 1,650 | 1,074 |
| DP | 0,061 | 0,058 | 0,134 | 0,127 | 0,118 | 0,112 |
| <i>n</i> | 81 | 81 | 81 | 81 | 81 | 81 |

5.3.2. Região de Manaus-AM

As estatísticas descritivas do índice de área foliar (IAF) e Abertura do dossel de cada parcela amostral da região de Manaus são apresentadas na tabela 26.

Os valores médios do IAF obtidos nas 4 parcelas amostrais (FS-4, ZF-S26, FS-9 e FP-T0) foram: $3,2 \pm 0,5$; $3,6 \pm 0,3$; $3,5 \pm 0,2$ e $3,7 \pm 0,4$, respectivamente.

Verifica-se na tabela 25 que a floresta primária (controle) e as capoeiras com 23 e 30 anos obtiveram praticamente a mesma média do IAF, o que demonstra a rápida recuperação do IAF, em florestas secundárias com um único ciclo de corte e queima, e que não sofreram uso intensivo.

Honzák *et al.* (1996) estimando o índice de área foliar em floresta secundária próximas de Manaus, obteve valores médios do IAF de 3,94 e 4,79 em áreas de floresta secundária com 30 e 21 anos de idade, respectivamente. Estes valores foram maiores do que os IAF registrados no presente estudo.

A maior abertura do dossel foi encontrada na capoeira com 11 anos de idade, provavelmente, este fato é relacionado ao tipo de vegetação observado nesta unidade amostral, composta basicamente por uma vegetação rasteira.

A capoeira com 11 anos de idade apresentou um desvio-padrão elevado quando comparado com as demais capoeiras e com a floresta primária na região de Manaus, demonstrando que esta capoeira apresenta maior variação dos valores do IAF e abertura do dossel em relação as capoeiras com idades mais avançadas.

Os valores de mínimos e máximos são mais elevados nas capoeiras com 11 (FS-4) e na floresta primária (T0) e menores nas capoeiras com 26 e 30 anos de idade, enfatizando que os valores do IAF são mais próximos da média e mais homogêneos em relação a capoeira com 11 e a floresta primária.

Verifica-se na Tabela 26 que a capoeira com 11 anos de idade apresentou maior grau de dispersão dos valores do índice de área foliar e abertura do dossel, quando comparada com as outras parcelas amostrais, as quais apresentaram um coeficiente de variação menor, ou seja, a capoeira com 11 anos é mais heterogênea em relação aos valores do IAF e abertura do dossel.

O valor médio do IAF ($3,7 \pm 0,5$) registrado para floresta primária foi inferior ao encontrado por Wringt *et al.* (1996) na reserva do Jarú-PA, com IAF de 4,6. Menores ao encontrado por Mcwilliam *et al.* (1993) ($5,7 \pm 0,5$) em florestas de terra firme na Amazônia Central, por Roberts *et al.* (1993) na reserva Ducke em Manaus com IAF de 6,6 e Wirth *et al.* (2001), que obteve um valor médio do IAF de 5,4 para uma floresta tropical semidecídua no Panamá.

A abertura do dossel foi analisada nas capoeiras e na floresta primária, onde observou-se que as capoeiras com 11 anos de idade (FS-4) apresenta um dossel mais aberto, com uma abertura média de $5,5\% \pm 4,0$. Nas capoeiras com 23 e 30 anos de idades registraram praticamente a mesma porcentagem de abertura do dossel. A floresta primárias obteve uma porcentagem de abertura do dossel de $3,1\% \pm 0,8$, sendo este valor próximo dos valores encontrados nas capoeiras com 23 e 30 anos de idade ($3,1\% \pm 0,9$ e $3,5\% \pm 0,7$, respectivamente). Este resultado demonstra que as capoeiras mais antigas refletem a estrutura da floresta primária.

Analisando a média de abertura do dossel entre a floresta primária densa da região de Manaus e floresta ombrófila aberta, verificou-se que a floresta densa registrou uma maior abertura do dossel, este resultado pode ser explicado pela presença de clareiras naturais maiores em relação a floresta aberta, onde observou-se a ocorrência de pequenas clareiras.

Investigando a variabilidade estrutural da floresta tropical na Indonésia, Trichon *et al.* (1998) obtiveram as médias da abertura do dossel de 2,8 e 4,3 nos quatro sítios analisados.

No estudo conduzido em floresta tropical densa e floresta tropical de transição (entre cerrado e floresta ombrófila aberta), Monteiro *et al.* (2007) calcularam uma média de abertura no dossel de 4% e 2%, respectivamente, demonstrando que a maior abertura do dossel foi verificada na floresta tropical densa.

Tabela 26 - Estatística descritiva do índice de área foliar (IAF) e abertura do dossel (AD) em cada estágio sucessional na região de Manaus.

| | FS-4 (11anos) | | ZF-S26 (23anos) | | FS-9 (30anos) | | T0 (Controle) | |
|-----------|---------------|-----------|-----------------|-----------|---------------|-----------|---------------|-----------|
| | IAF | AD (%) | IAF | AD(%) | IAF | AD(%) | IAF | AD(%) |
| Média | 3,196 | 5,5 | 3,559 | 3,1 | 3,462 | 3,5 | 3,651 | 3,1 |
| Minímo | 1,353 | 1,9 | 2,899 | 1,4 | 2,870 | 1,6 | 2,825 | 0,4 |
| Máximo | 4,432 | 23,9 | 4,345 | 6,7 | 4,091 | 5,6 | 6,947 | 7,0 |
| DP | 0,476 | 4,0 | 0,285 | 0,9 | 0,240 | 0,7 | 0,439 | 0,8 |
| Variância | 0,226 | 0,2 | 0,081 | 0,0 | 0,058 | 0,0 | 0,192 | 0,0 |
| CV (%) | 14,91 | 72,0 | 8,0 | 29,3 | 6,9 | 21,5 | 12,0 | 25,8 |
| IC (95%) | 3,1<x<3,2 | 4,0<x<6,0 | 3,5<x<3,6 | 2,9<x<3,3 | 3,4<x<3,5 | 3,3<x<3,6 | 3,6<x<3,7 | 2,9<x<3,3 |
| n | 81 | | 81 | | 81 | | 81 | |

Aplicando a análise de variância (ANOVA) para índice de área foliar nos diferentes estádios sucessionais na região de Manaus, tabela 27, verificou-se que há diferença significativas entre os mesmos (P = 0,00). O pós-teste Tukey de comparação múltipla, demonstra que essa diferença é explicada pelos estádios sucessionais: as capoeira com 11 e 23 anos de idade (P=0,002), capoeira com 11 anos de idade e a floresta primária (P=0,000) (Tabela 28).

Tabela 27 - Análise de variância (ANOVA) para índice de área foliar entre os estádios sucessionais (FS-4, FS-Z26, FS-9 e B4T0) em Manaus-AM.

| Fontes de Variação | SQ | GL | MQ | F | P |
|-----------------------|-------|----|-------|-------|-------|
| Estádios sucessionais | 1,042 | 3 | 0,347 | 9,549 | 0,000 |
| Erro | 1,164 | 32 | 0,036 | | |

Tabela 28 - Matriz de probabilidade de comparação múltipla “Tukey” para índice de área foliar.

| | FS-4 | FS-Z26 | FS-9 | B4T0 |
|---------------|--------------|---------------|--------------|--------------|
| FS-4 | 1.000 | | | |
| FS-Z26 | 0.002 | 1.000 | | |
| FS-9 | 0.028 | 0.705 | 1.000 | |
| B4T0 | 0.000 | 0.736 | 0.174 | 1.000 |

A análise estatística do índice de área foliar (IAF) entre os sítios de Manaus e Alta Floresta (tabela 29) indicam que há diferenças altamente significativas ($P < 0,01$) entre os diferentes estádios sucessionais.

Tabela 29 - Quadro da Análise de variância (ANOVA) para índice de área foliar entre os estádios sucessionais de Manaus-AM e Alta Floresta-MT.

| Fontes de Variação | SQ | GL | MQ | F | P |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| Estádios sucessionais | 17,791 | 9 | 1,977 | 23,633 | 0,000 |
| Erro | 6,692 | 80 | 0,084 | | |

Neste estudo verificou-se também a relação entre IAF real (“LAI_f”) e as idades das florestas secundárias, onde observou-se uma tendência logarítmica, com valor do R² (0,91) indicando um bom ajuste (Figura 62). Este resultado indica que com o aumento da maturidade das florestas secundárias há um aumento simultâneo do IAF. Este resultado é confirmado por outros estudos realizados em floresta tropical (Amaral *et al.*, 1996; Honzak, *et al.*, 1996; Kalácska *et al.*, 2004). Também foi verificada a relação entre o IAF efetivo e as idades, verificando que estes não apresentaram nenhuma correlação.

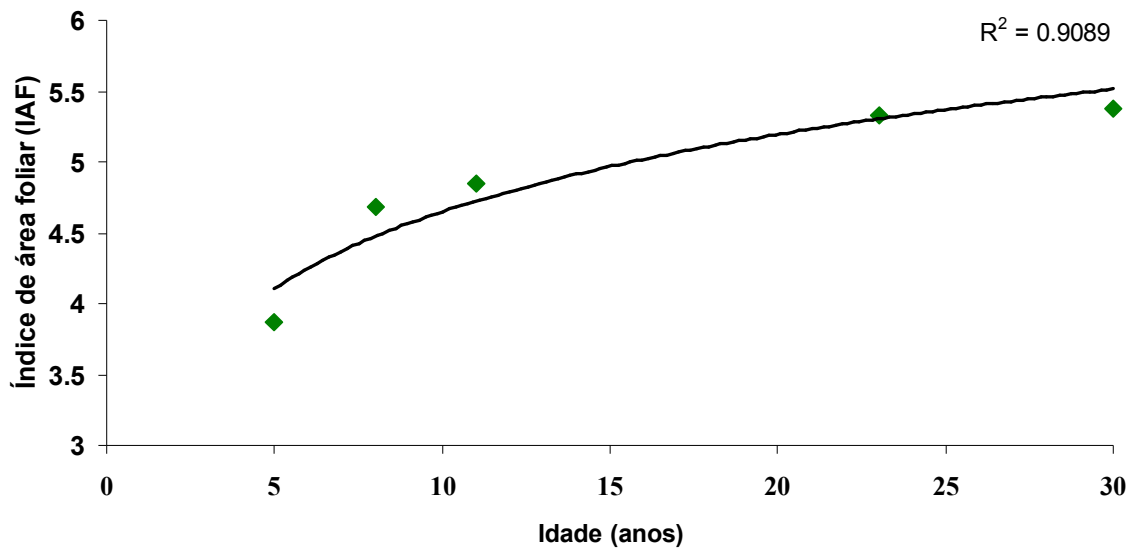


Figura 62 - Relação entre o IAF e os estádios sucessionais na região de Alta Floresta (MT) e Manaus (AM) na Amazônia.

Mapeamento do Índice de Área Foliar (IAF) e Abertura do dossel (AD)

Os mapas de distribuição do IAF e abertura relativa do dossel para as florestas secundárias com 11, 23 e 30 anos e floresta primária são ilustrados nas Figuras 63 e 64. Nas florestas secundárias e na floresta primária as unidades ecológicas apresentaram o mesmo tamanho (~20 a 30 m). Observa-se que a capoeira com 30 anos de idade FS-9 (Figura 64c) apresenta uma estrutura próxima da floresta primária T0 (Figura 64d), demonstrando que provavelmente esta capoeira atingiu a fase de equilíbrio (homeostática). Outro fator que pode estar influenciando na estrutura desta floresta secundária é a sua localização, ou seja, a parcela FS-9 é situada longe da estrada BR-174. As florestas secundárias FS-4 e FS-26 estão localizadas perto da estrada. Coeficiente de correlação entre IAF e $\log(\text{abertura dossel})$ para as capoeiras com 11, 23, 30 anos e floresta primária foram: -0,89; -0,88; -0,86 e -0,70, respectivamente.

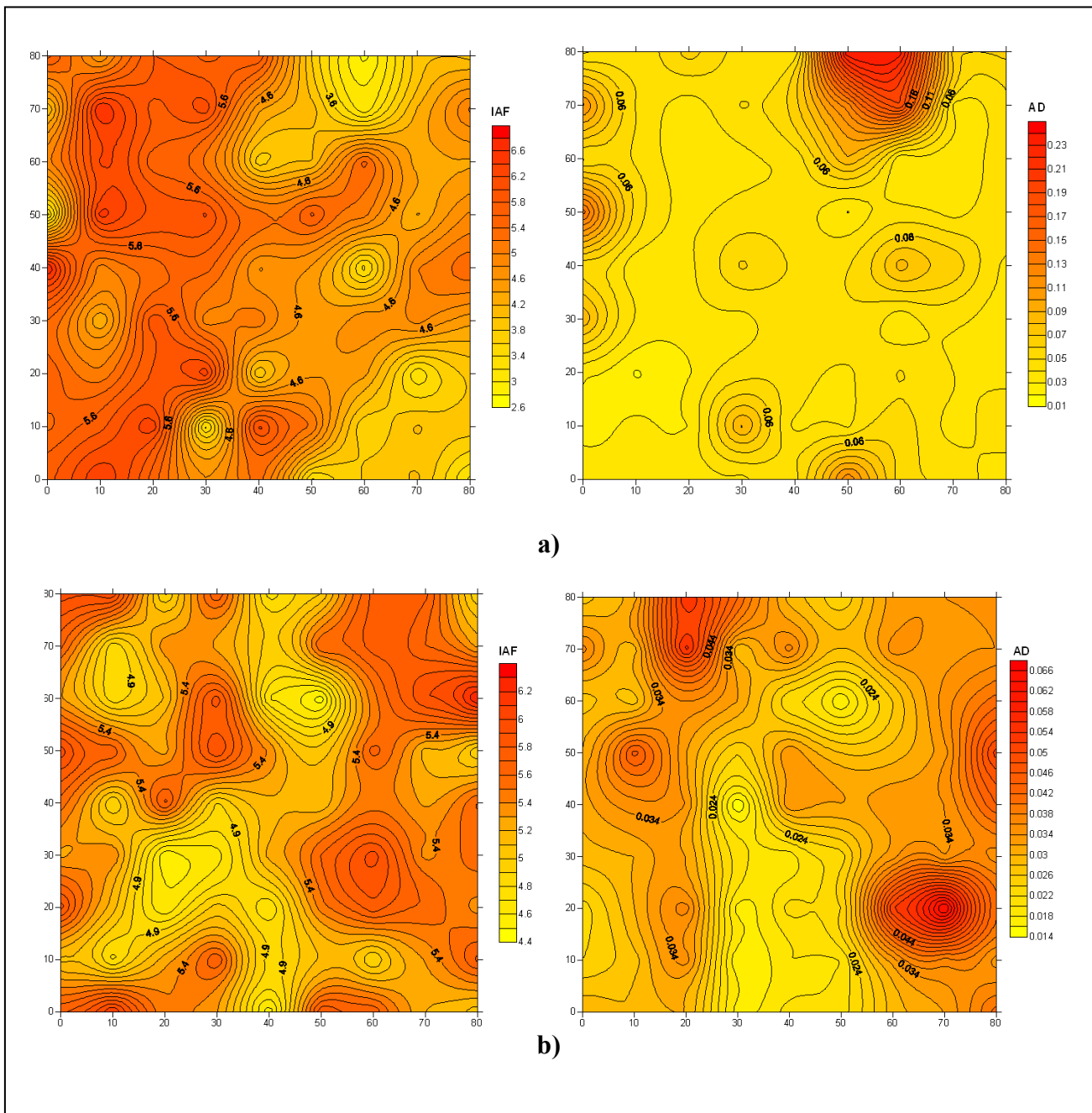


Figura 63 - Mapeamento do índice de área foliar (IAF) e abertura do dossel (AD) da floresta secundária da região de Manaus-AM: (a) FS-4 com 11 anos de idade e (b) FS-Z26 com 23 anos de idade.

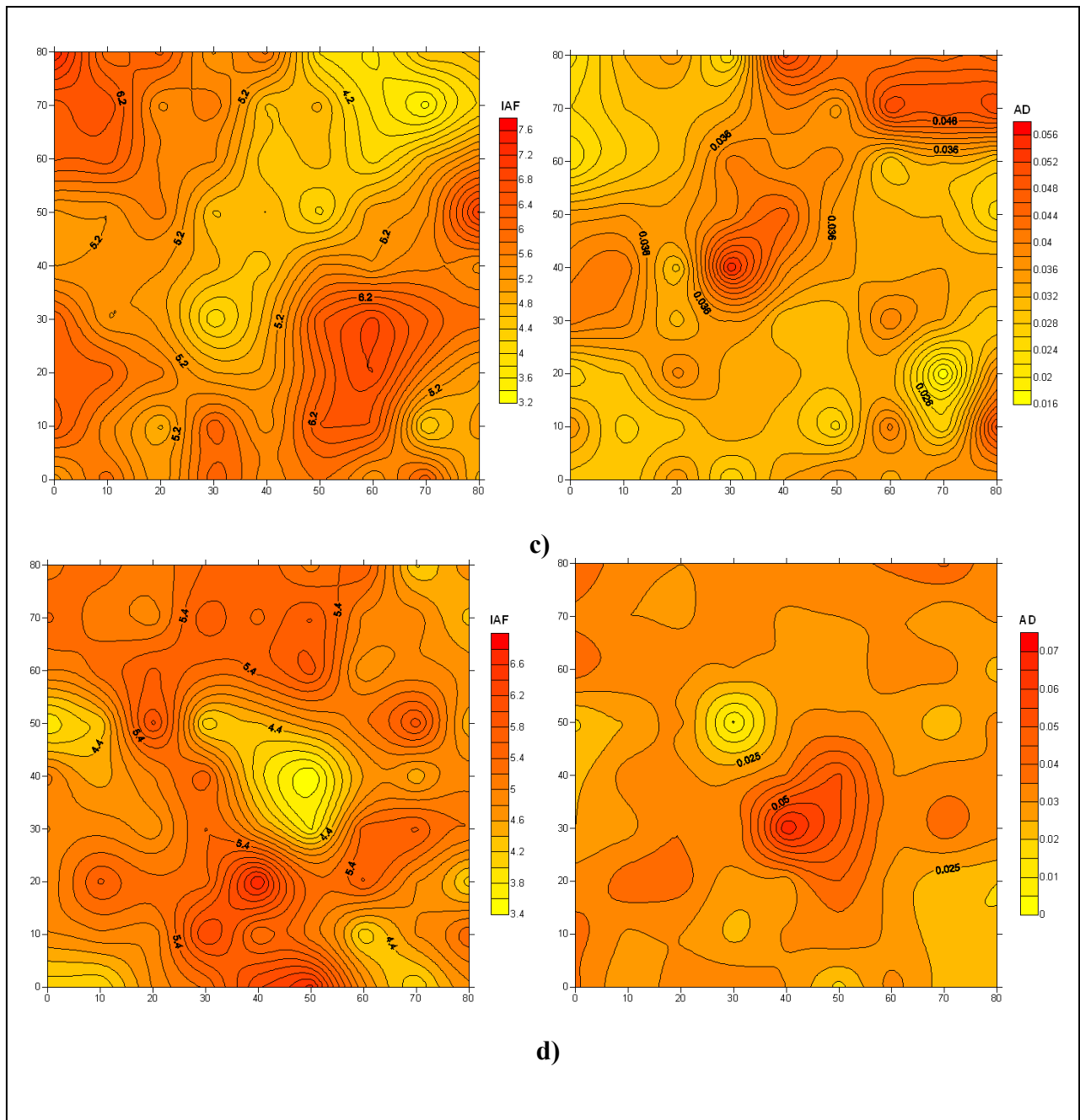


Figura 64 - Mapeamento do índice de área foliar (IAF) e abertura do dossel (AD) da floresta secundária da região de Manaus-AM: (c) FS-9 com 30 anos de idade e (d) T0 (controle).

Agrupamento espacial das folhas (Clumping Index – CI)

A estatística descritiva do Índice de Agrupamento (CI) das parcelas amostrais da região de Manaus é apresentada na tabela 30. Os valores médios do CI registrados nas parcelas (FS-4, FS-26, FS-9 e T0), respectivamente, foram: $0,68 \pm 0,15$; $0,67 \pm 0,08$; $0,66 \pm 0,1$ e $0,74 \pm 0,15$. Os resultados da média evidenciam que todas as parcelas obtiveram um agrupamento foliar do tipo agregado ($C < 1$), onde a floresta primária densa de Manaus (T0) apresentou uma densidade foliar maior que as capoeiras com 11, 23 e 30 anos de idade. Os valores do CI encontrado neste estudo foram próximos dos valores registrado por Chen e Cihlar (1995) para a floresta boreal de coníferas (0,69 – 0,89). Porém, foram superiores aos valores obtidos por Walter *et al.* (2003) em floresta de conífera (*Picea mariana* (Miller) Britton) no Canadá.

Em plantações de *Eucalyptus globulus* Labill na Austrália os valores estimados do CI ficaram entre 0,7 a 0,84, ou seja, foram superiores ao estimado para a floresta secundária de Manaus, onde observa-se que as capoeiras têm uma grande densidade foliar em relação ao *Eucalyptus globulus*.

Com relação aos valores de mínimos e máximos estes foram mais elevados na capoeira com 11 anos de idade (FS-4) e menores nas capoeiras com 23 e 30 anos de idade, demonstrando que os valores do CI nas capoeiras mais velhas são mais próximos da média e, conseqüentemente, mais homogêneos. A capoeira com 11 anos e a floresta primária obtiveram os maiores desvios-padrão, representando maior variação nos valores do CI. Os resultados demonstram que as capoeiras mais jovens de Alta Floresta apresentaram um dossel menos agregado do que as capoeiras de Manaus.

Tabela 30 - Estatística do índice de agrupamento (CI) espacial das folhas para a região de Manaus –AM.

| | FS-4 (11anos) | FS-26 (23anos) | FS-9 (30anos) | T0 (Controle) |
|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|
| Média | 0,678 | 0,672 | 0,657 | 0,742 |
| Mínimo | 0,358 | 0,497 | 0,472 | 0,546 |
| Máximo | 1,375 | 0,936 | 0,937 | 1,717 |
| Desvio-padrão | 0,148 | 0,084 | 0,098 | 0,152 |
| <i>n</i> | 81 | 81 | 81 | 81 |

Os histogramas de frequência da abertura do dossel (Figuras 65 e 66) das florestas secundárias com diferentes idades e das florestas primárias densa e aberta foram analisados neste estudo, onde verificou-se que a floresta secundária com 5 anos de idade apresentou uma grande amplitude dos valores observados. A amplitude é menos forte na floresta secundária com 30 anos de idade. Com relação a entrada de luz no sub-bosque esta foi maior na floresta secundária com 8 anos de idade. As florestas primárias obtiveram praticamente a mesma amplitudes dos valores de frequência observados. Contudo, nota-se que a entrada de luz no sub-bosque é maior na floresta primária da região de Manaus, devido ao tamanho das clareiras que foram maiores em relação a floresta ombrófila aberta de Alta Floresta.

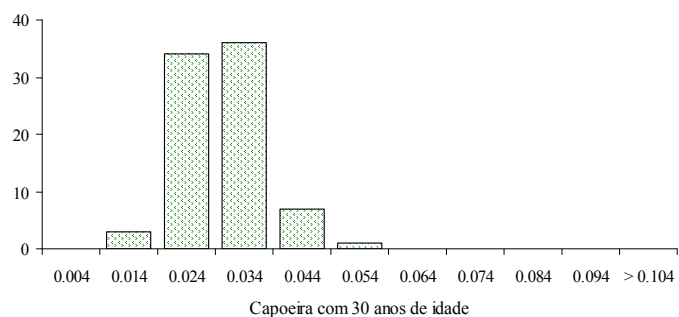
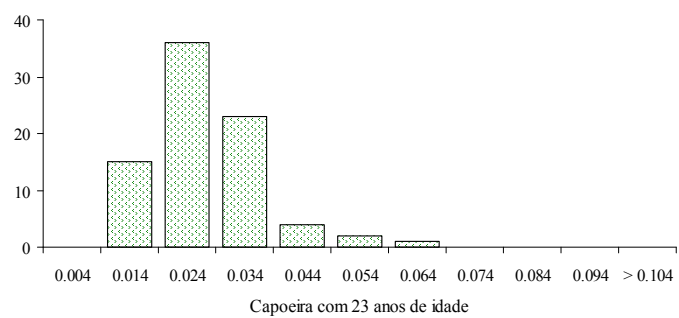
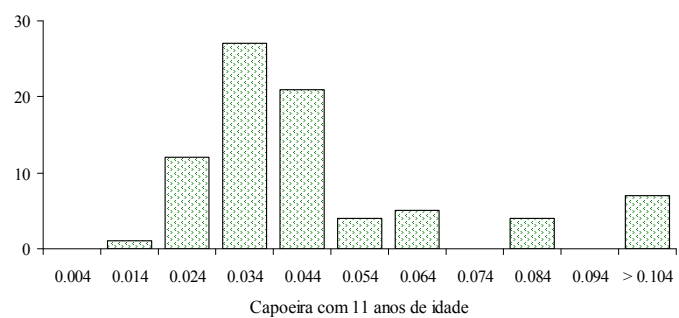
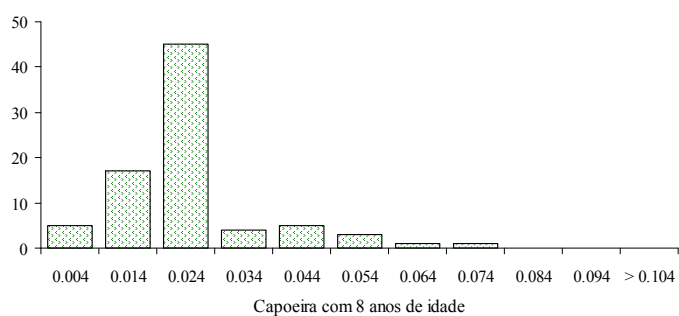
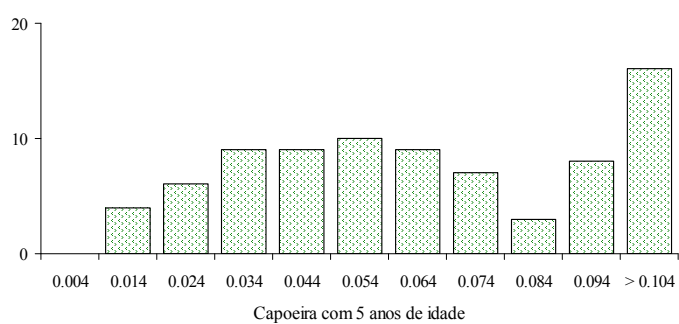


Figura 65 - Histograma de frequência da variável luz (abertura do dossel estimada pelas fotografias hemisféricas) nas florestas secundárias (capoeiras).

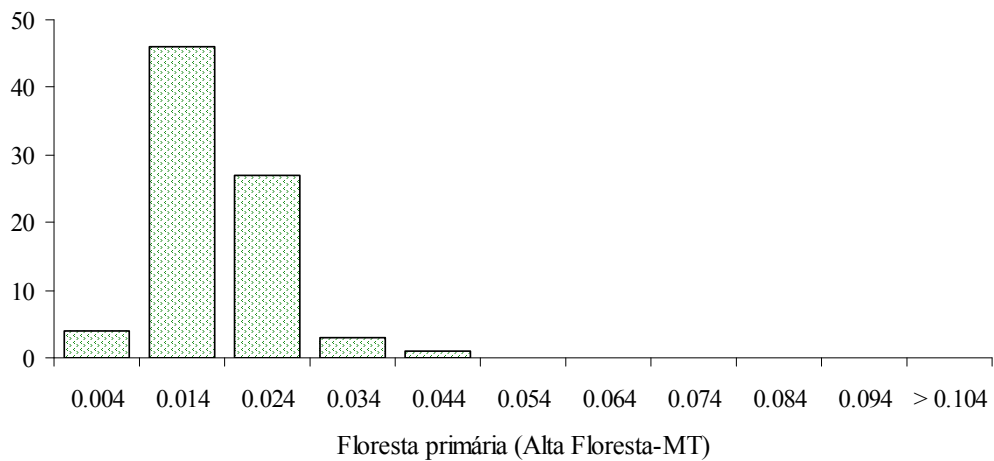
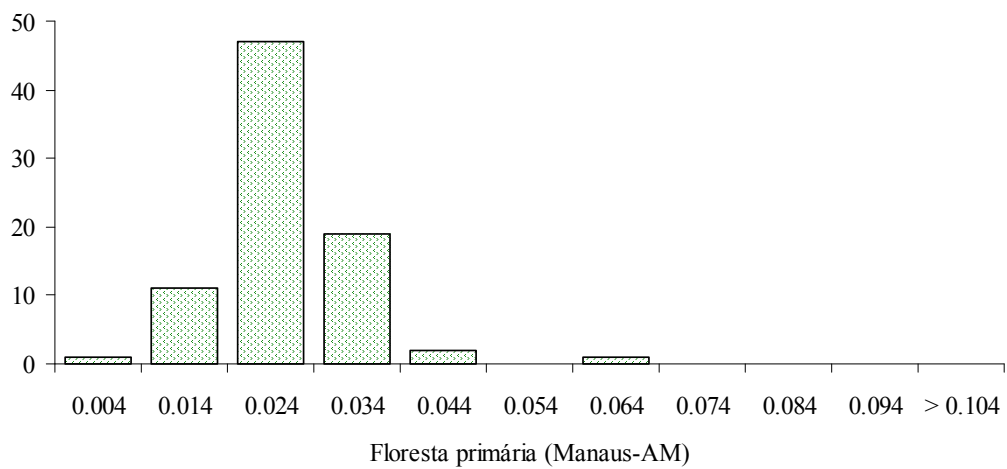


Figura 66 - Histograma de frequência da variável luz (abertura do dossel estimada pelas fotografias hemisféricas) nas florestas primárias.

5.3.3. Floresta explorada experimentalmente na região de Manaus-Am)

As parcelas exploradas deste estudo fazem parte do projeto BIONTE iniciado em 1980. A intervenção na floresta natural usando diferentes intensidades de corte (leve-25%, média-50%, pesada-75%) começou em 1987 com a demarcação da área em blocos experimentais. Em 1992, o manejo florestal passou a ser um componente do projeto Bionte (Biomassa e Nutrientes Florestais), sendo financiado pelo Convênio MCT-Inpa/DFID (Higuchi, 1997).

O objetivo deste estudo foi estimar o IAF e abertura do dossel pelo método óptico indireto (fotografias hemisféricas), assim como, analisar e comparar o padrão espacial da estrutura do dossel entre tratamentos, 19 anos após a exploração.

As estimativas do índice de área foliar (IAF) e abertura do dossel foi realizada nos tratamentos (T1-25%, T2-50% e T3-75%) do Bloco 4, as outras áreas exploradas não foram analisadas neste estudo.

A estatística descritiva dos três tratamentos amostrais explorados com diferentes intensidades de corte, é apresentada na Tabela 31. O tratamento T1 apresenta uma média do índice de área foliar menor ($4,9 \pm 0,6$) do que os tratamentos explorados com maior intensidade de corte (T2 e T3). Com relação a média da abertura do dossel, esta foi maior no tratamento T1 ($3,2\% \pm 0,9$). Os valores médios do IAF encontrados neste estudo foram próximos dos valores médios do índice de área da planta (PAI) registrado por Ferment *et al.* (2001) em área exploradas experimentalmente em Paracou na Guiana francesa. Porém, maiores ao encontrado por Aragão *et al.* (2005), onde os autores registraram um valor médio do IAF de $4,6 \pm 0,12$ em área de corte seletivo na região do Pará.

No tratamento T3 verifica-se um desvio-padrão elevado quando comparado com os tratamentos T1 e T2, demonstrando que esta área amostral apresenta uma maior variação dos valores do IAF. Entretanto, a maior variação dos valores de abertura do dossel foi observada no tratamento T1.

Com relação aos valores de mínimos e máximos do IAF estes foram praticamente iguais nos 3 tratamentos, sendo verificado os menores valores no tratamento T2, enfatizando que os valores do IAF desta parcela amostral são mais próximos da média e mais homogêneo em relação aos tratamentos T1 e T3.

Verifica-se na tabela 31 que o tratamento T3 apresenta maior grau de dispersão dos valores do índice de área foliar, quando comparada com os tratamentos T1 e T2, os quais apresentaram um coeficiente de variação menor, ou seja, o tratamento T3 é mais heterogêneo

em relação aos valores do IAF. Com relação o grau de dispersão dos valores da abertura do dossel, este foi maior no tratamento T1.

Tabela 31 - Estatística descritiva do índice de área foliar (IAF) e abertura do dossel (AD) nas unidades amostrais exploradas com diferentes intensidades de corte na região de Manau-AMs.

| | B4T1 (25%) | | B4T2 (50%) | | B4T3 (75%) | |
|---------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|
| | IAF | AD(%) | IAF | AD(%) | IAF | AD(%) |
| Média | 3,645 | 3,2 | 3,679 | 2,8 | 3,653 | 2,9 |
| Minímo | 2,692 | 0,3 | 3,138 | 1,9 | 3,143 | 1,5 |
| Máximo | 6,941 | 7,2 | 4,243 | 4,5 | 4,479 | 4,6 |
| Desvio-padrão | 0,455 | 0,934 | 0,198 | 0,482 | 0,244 | 0,584 |
| Variância | 0,207 | 0,872 | 0,039 | 0,233 | 0,059 | 0,341 |
| CV (%) | 12,5 | 29,3 | 5,4 | 17,2 | 6,7 | 19,8 |
| IC (95%) | 3,5<x<3,7 | 2,98<x<3,93 | 3,6<x<3,7 | 2,69<x<2,91 | 3,6<x<3,7 | 2,82<x<3,07 |
| <i>n</i> | 81 | | 81 | | 81 | |

Aplicando a análise de variância (ANOVA) para índice de área foliar entre as áreas floresta explorada com diferentes intensidades de corte, tabela 32, na região de Manaus verificou-se que não há diferenças significativas entre as mesmas ($P = 0,855$). Isso mostra que após 19 anos estas áreas não diferem em termo de índice de área foliar, demonstrado pelo teste Tukey (Tabela 33).

Tabela 32 - Análise de variância (ANOVA) para índice de área foliar entre as florestas exploradas após 19 anos em Manaus-AM.

| Fontes de Variação | SQ | GL | MQ | F | P |
|----------------------|-------|----|-------|-------|-------|
| Florestas exploradas | 0,006 | 2 | 0,003 | 0,157 | 0,855 |
| Erro | 0,434 | 24 | 0,018 | | |

Tabela 33 - Matriz de probabilidade de comparação múltipla “Tukey” para índice de área foliar.

| | B4T1 | B4T2 | B4T3 |
|-------------|--------------|--------------|--------------|
| B4T1 | 1.000 | | |
| B4T2 | 0.855 | 1.000 | |
| B4T3 | 0.992 | 0.911 | 1.000 |

Entre as áreas exploradas e a floresta primária (tabela 34), a análise de variância mostrou que não há significância ($P > 0,01$), evidenciando que não existem diferenças quanto ao índice de área foliar. Essa significância pode ser explicada pelos fatores de manejo aplicados nestas áreas e a recuperação das mesmas após 19 anos.

Tabela 34 - Análise de variância (ANOVA) para índice de área Foliar entre as florestas exploradas após 19 anos e a floresta primária (testemunha) em Manaus-AM.

| Fontes de Variação | SQ | GL | MQ | F | P |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| Florestas exploradas | 0,006 | 3 | 0,002 | 0,114 | 0,951 |
| Erro | 0,569 | 32 | 0,018 | | |

Quanto a abertura do dossel (AD) por unidade amostral, os resultados da ANOVA (tabela 35) indicam que não há diferença significativa ($P > 0,01$) entre a floresta explorada com diferentes intensidades de corte e a floresta primária, 19 anos após a exploração.

Tabela 35 - Análise de variância (ANOVA) para Abertura do dossel entre as florestas exploradas após 19 anos e a floresta primária (testemunha) em Manaus-AM.

| Fontes de Variação | SQ | GL | MQ | F | P |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| Florestas exploradas | 0,000 | 3 | 0,000 | 2,441 | 0,082 |
| Erro | 0,000 | 32 | 0,000 | | |

Analisando abertura do dossel em áreas de exploração convencional e manejada em Paragominas (PA) e Sinop (MT), Monteiro *et al.* (2007) verificou que as aberturas médias do dossel foram estatisticamente diferentes entre os tipos de exploração e a floresta nativa, um ano após a exploração. As médias da abertura do dossel registrada pelos autores supracitados em áreas de exploração manejadas em Paragominas e Sinop foram, respectivamente: 0,17 e 0,24.

A relação logarítmica entre IAF e os tratamentos (Figura 67) foi também avaliada, onde verificou-se que o R^2 foi baixo, indicando uma fraca tendência entre os valores do IAF e os diferentes tratamentos, 19 anos após exploração.

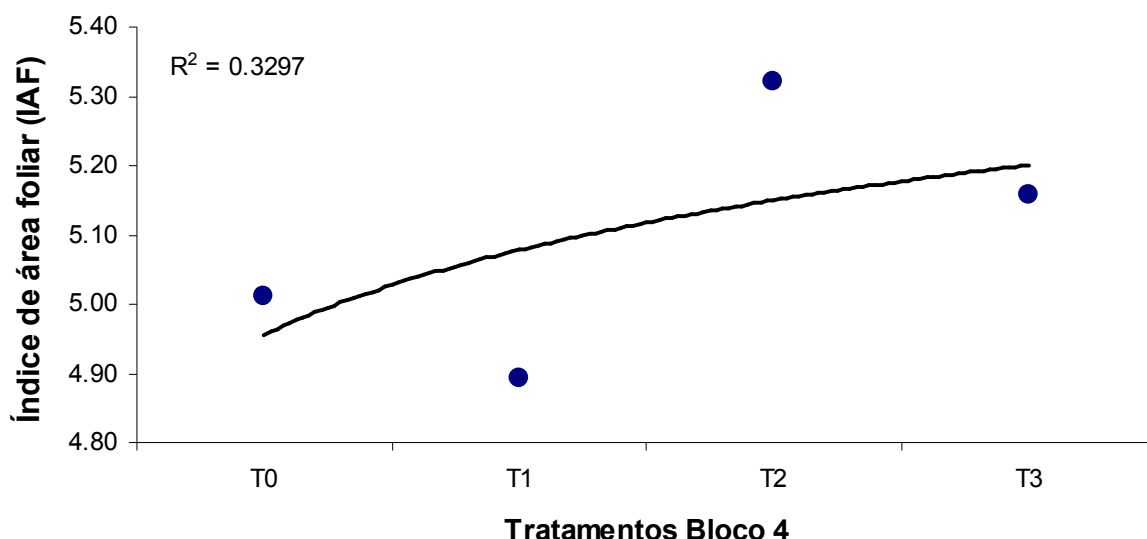


Figura 67 - Relação entre o IAF e os tratamentos explorados experimentalmente na região de Manaus (AM). T0 (controle); T1 (25%); T2 (50%) e T3 (75%).

Mapeamento do Índice de Área Foliar (IAF) e Abertura do dossel

Os mapas de distribuição do IAF e abertura relativa do dossel para os tratamentos T1, T2, T3 e T0 são apresentados nas Figuras 68 e 69.

No tratamento com menor intensidade de corte (T1) as unidades ecológicas apresentaram um tamanho de ~20 m, com pequenas clareiras que demonstram a heterogeneidade desta parcela. No tratamento T2 com média intensidade de corte, verificou-se que esta reflete a estrutura da floresta primária (FP-I) de Alta Floresta, com unidades ecológicas de ~15 a 20 m. Nos tratamentos com maior intensidade de corte (T3) e controle (T0) verificou-se que as unidades ecológicas nos dois tratamentos apresentaram um tamanho de ~20 a 30 m. Estes resultados confirmam que, 19 anos após a exploração manejada, estas parcelas recuperaram em termo de índice de área foliar e dinâmica do dossel quando comparadas com a parcela de floresta primária controle (T0).

Os coeficientes de correlação entre IAF e $\ln(\text{abertura dossel})$ nas parcelas exploradas (T1, T2 e T4T3), respectivamente, foram: -0,70; -0,84 e -0,84.

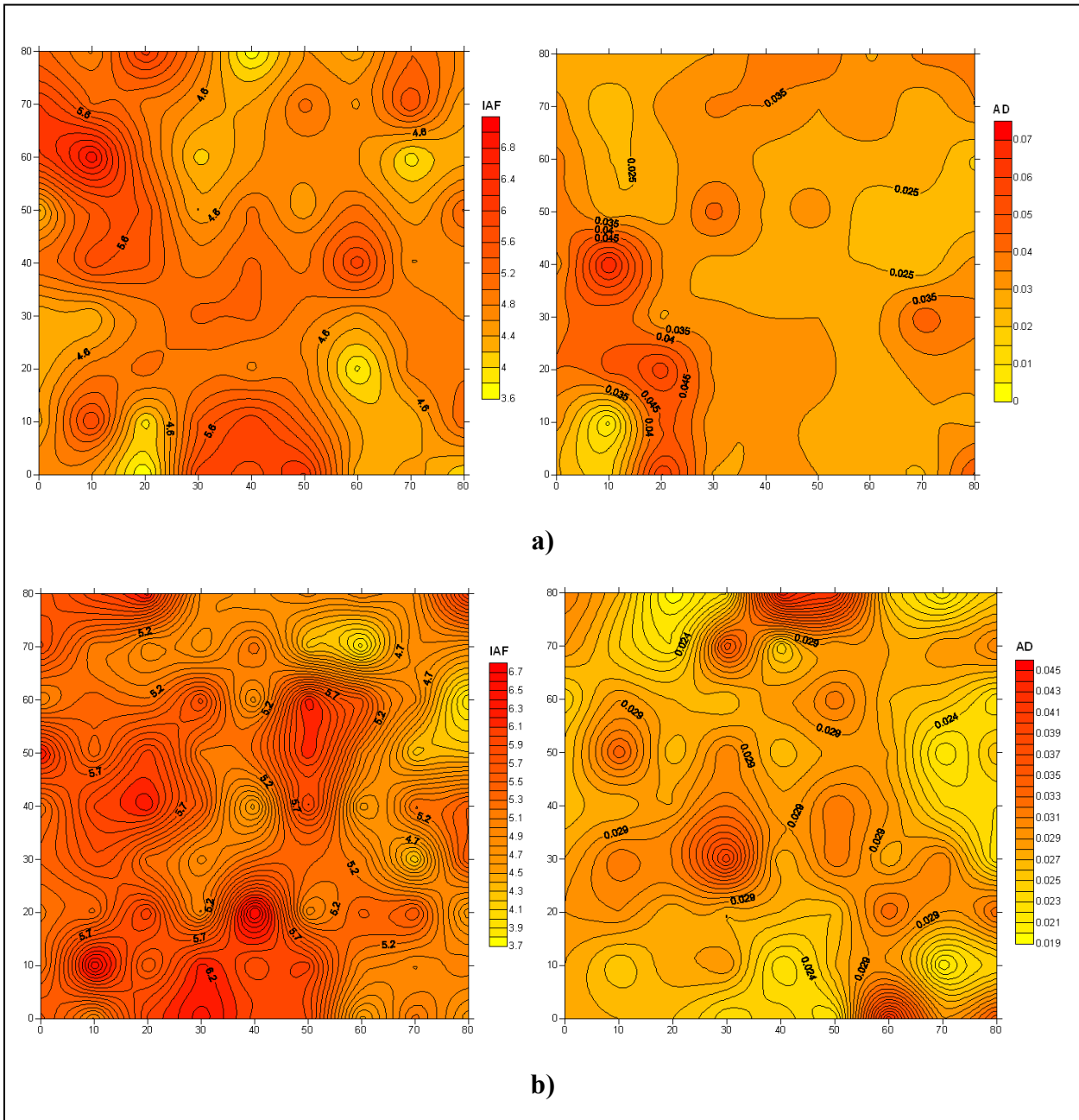


Figura 68 - Mapeamento do índice de área foliar (IAF) e abertura do dossel (AD) nas áreas de floresta explorada na região de Manaus-AM: (a) B4T1 (25%) e (b) B4T2 (50%).

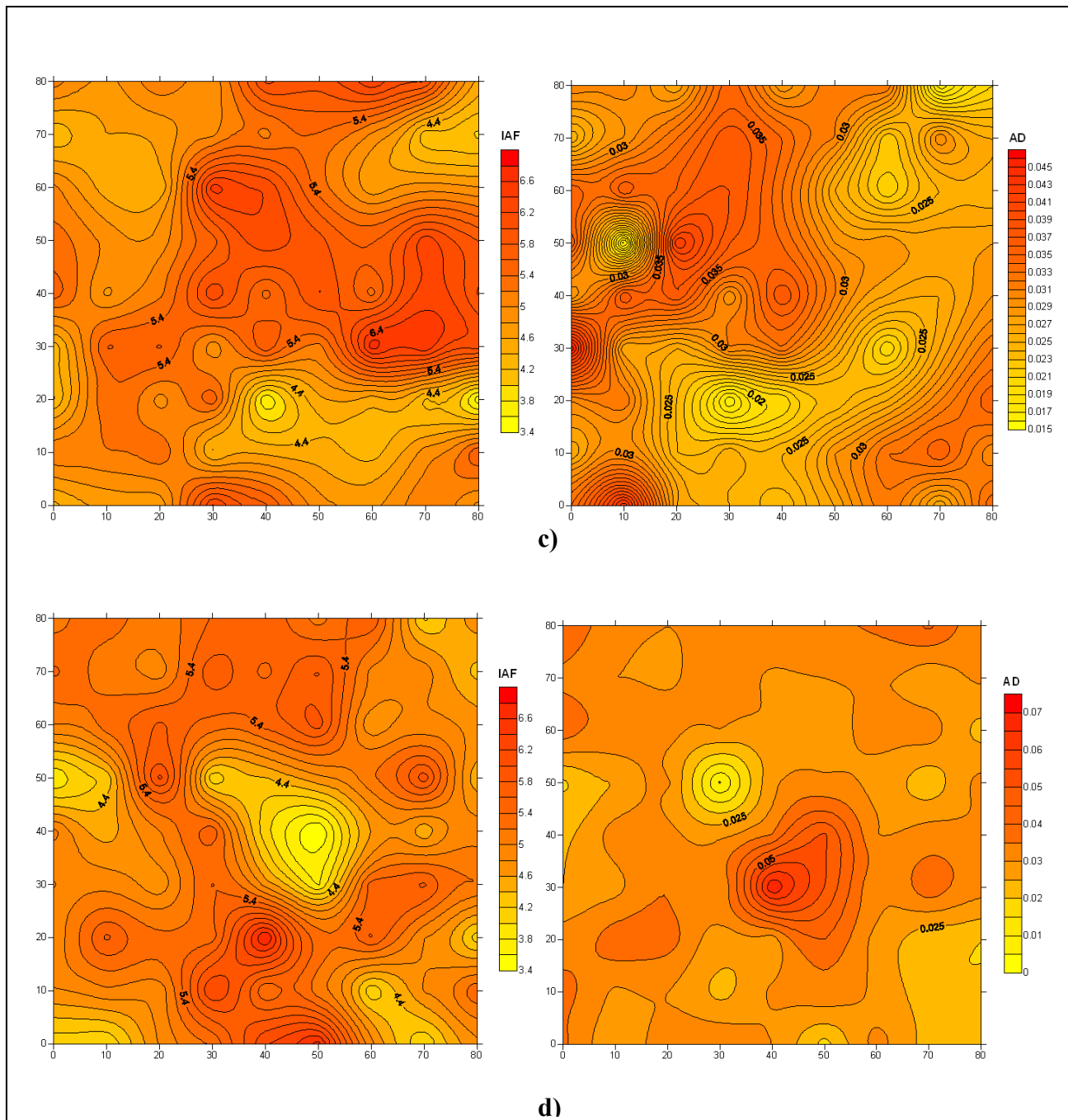


Figura 69 - Mapeamento do índice de área foliar (IAF) e abertura do dossel (AD) nas áreas de floresta explorada e não explorada na região de Manaus-AM: (c) B4T3 (75%) e (d) B4T0 (Testemunha).

Agrupamento espacial das folhas (Clumping Index – CI)

Analisando a estatística descritiva do índice de agrupamento (CI) nas parcelas manejadas experimentalmente (B4T1, B4T2 e B4T3) (Tabela 36), verifica-se que estas parcelas apresentam um agrupamento foliar do tipo agregado (médias do CI < 1). Entretanto, observou-se que os valores máximos do CI em algumas partes do dossel dentro das parcelas, demonstram um agrupamento foliar do tipo regular ou uniforme (CI > 1).

Comparado os resultados das médias destas parcelas manejadas com a floresta primária densa (T0), verificou-se que estas obtiveram as mesmas médias do CI. Contudo, a comparação com a floresta primária aberta demonstraram que estas são menos agregadas que as florestas primária e manejada da região de Manaus.

Tabela 36 - Estatística do índice de agrupamento (CI) espacial das folhas nas áreas manejadas experimentalmente em Manaus.

| | B4T1 (25%) | B4T2 (50%) | B4T3 (75%) |
|---------------|------------|------------|------------|
| Média | 0.756 | 0.702 | 0.721 |
| Mínimo | 0.470 | 0.532 | 0.520 |
| Máximo | 1.181 | 1.035 | 1.075 |
| Desvio-padrão | 0.119 | 0.098 | 0.107 |
| <i>n</i> | 81 | 81 | 81 |

A distribuição da frequência da abertura do dossel (Figura 70) foi analisada nos quatro tratamentos (T0, T1, T2 e T3) explorados experimentalmente em 1987 e 1988. Verificou-se que 19 anos após exploração os tratamentos T1, T2 e T3 obtiveram praticamente a mesma distribuição de frequência da abertura do dossel, evidenciando que nestes tratamentos explorados com diferentes intensidades de corte a entrada de luz no sub-bosque é igual ou não há uma grande diferença entre os tratamentos. Entretanto observou-se que no tratamento controle (T0) a frequência da abertura do dossel foi maior, este fato pode estar relacionado as clareiras naturais, onde verificou-se no campo a ocorrência de três clareiras naturais ocasionadas pela queda de árvores nesta parcela amostral.

Em Paracou na Guiana francesa Ferment *et al.* (2001), mediram a quantidade de luz no sub-bosque de uma floresta tropical explorada experimentalmente. Estes autores observaram que 11 anos após a exploração, o tratamento onde houve maior intensidade de corte (T3)

obteve uma alta variância de luz. As médias da abertura do dossel registradas pelos autores acima nos tratamento T0, T2 e T3 foram: 0,111; 0,058 e 0,063, respectivamente.

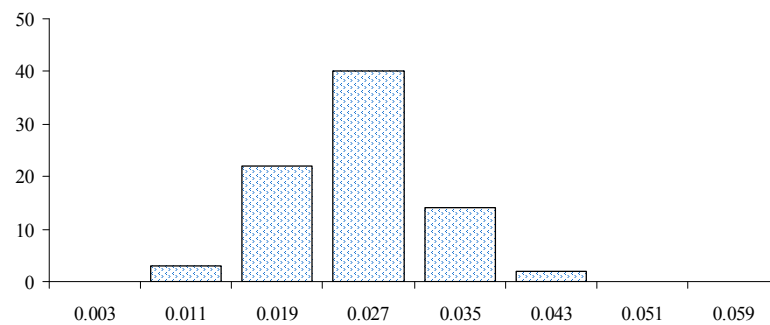
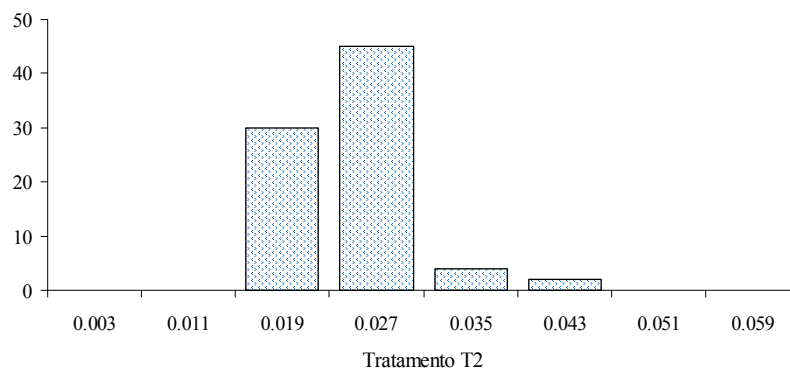
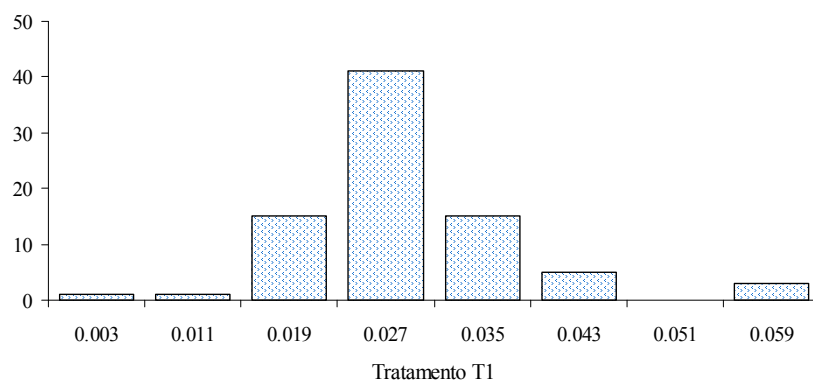
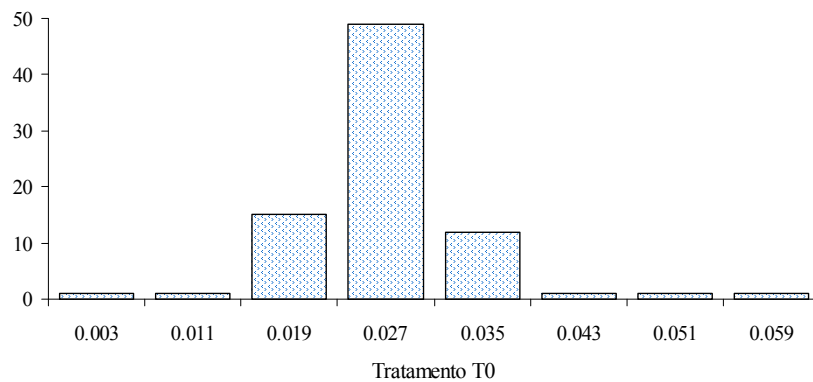


Figura 70 - Histograma de frequência da variável luz (abertura do dossel estimada pelas fotografias hemisféricas) nos quatro tratamentos: T0-controle, T1-25% explorado, T2-50% explorado e T3-75% explorado.

5.4. Uso do satélite Landsat 5 TM e 7 ETM + na caracterização da floresta ombrófila aberta (primária e secundária) e floresta tropical densa (primária, secundária e explorada) na Amazônia Matogrossense e Central.

5.4.1. Pré-processamento

O resultado das etapas do pré-processamento (correção geométrica, correção atmosférica e radiométrica) aplicados nas imagens LANDSAT 5 TM e 7 ETM+ são apresentadas a seguir:

5.4.1.1. Correção geométrica

A correção geométrica ou registro das imagens, foram efetuadas no software ENVI 4.2. O modelo polinomial de 1º grau foi usado com dez pontos de controles distribuídos de maneira uniforme nas imagens. O resultado da correção geométrica ficou com erros menor que 1/5 de pixel. Para as imagens de Alta Floresta e Manaus o quadrado médio dos erros dos pontos de controle ficaram em torno de 0,18 e 0,17, respectivamente.

5.4.1.2. Correção Atmosférica

O método por subtração do objeto escuro ou DOS (*Dark Object Subtraction*) desenvolvido por Chavez (1989) foi usado neste trabalho para eliminar as interferências atmosféricas nas imagens LANDSAT TM e ETM+. O método DOS estima a interferência atmosférica diretamente da imagem, ou seja, com base nos números digitais de cada banda espectral, e, em seguida, foi realizada a transformação do número digital (ND) em valores de radiância e depois para reflectância. Neste procedimento foi utilizado a planilha eletrônica desenvolvido por Salette *et al.* (2005), a qual simplifica e automatiza a transformação dos números digitais das imagens do satélite LANDSAT 5 (TM) e 7 (ETM+) em valores de reflectância. Em seguida, foi usado um programa em linguagem computacional **LEGAL** (*Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico*) efetuado no SPRING (Câmara *et al.* 1995 *apud* Graça, 2004) usando como base o método descrito por Skirvin (2004). Este programa combina o método COST (DOS) para correção atmosférica com a calibração radiométrica, reduzindo o tempo do processamento das imagens (ANEXO 1).

Para a área de Alta Floresta (Mato Grosso), foi realizada a correção atmosférica na imagem referente a data de 12 de junho de 2004 do satélite LANDSAT 5 (TM). Na área de

Manaus-AM (Amazônia Central), a correção atmosférica foi aplicada apenas na imagem de 02 de agosto de 1989 obtida pelo sensor TM do satélite LANDSAT 5, a qual foi escolhida como imagem referência pelo fato apresentar menor incidência de nuvens. Em ambas as imagens, a correção foi aplicada nas primeiras bandas espectrais (b1, b2, b3 e b4), que são as que mais sofrem o efeito do espalhamento atmosférico (Slater, 1980).

O resultado da correção atmosférica foi satisfatório nas bandas do visível (b1, b2 e b3) e do infravermelho próximo (banda 4), nas imagens de referência de Manaus (1989) e Alta Floresta (2004). Vale ressaltar que as bandas 5 e 7 não foram incluídas na correção atmosférica, devido serem pouco afetadas pelos efeitos atmosféricos.

As imagens corrigidas neste processo foram usadas como imagens referências na normalização radiométrica.

5.4.1.3. Normalização Radiométrica

A normalização ou retificação radiométrica foi efetuada no Programa SPRING 4.3.3, neste pré-processamento, aplicou-se o método de Hall *et al.* (1991), com o objetivo de normalizar a imagem de 2005 (região de Alta Floresta) em conformidade com a imagem referência (2004). Ressaltando que aplicação da retificação radiométrica não é um procedimento comum, sendo somente recomendado nos estudos da trajetória espectral de alvos terrestres em diferentes datas de passagem do satélite (Moreira, 2003).

Após a correção atmosférica da imagem de 2004 esta foi submetida ao processo de normalização onde se obteve as imagens *Brightness* e *Greenness*. A imagem *Brightness* é associada às variações de reflectância do solo, e a imagem *Greenness* às variações de reflectância em função do verdor da vegetação. Também obteve-se as imagens *Brightness* e *Greenness* para a data de 2005.

O conjunto de pontos claros e escuros escolhidos em cada uma das imagens *Brightness* e *Greenness* foram alvos imutáveis em relação à reflectância de uma cena para outra. A reflectância média dos pontos de controle (claros e escuros) foi obtida pelo fatiamento das imagens *Brightness* e *Greenness* de cada data mencionada acima, selecionando para os pontos claros os intervalos de valores mais altos e, para os escuros, os valores mais baixos. Após o fatiamento, obteve-se uma máscara para os pontos claros da imagem *Greenness* de uma data, a qual foi cruzada com a máscara de pontos claros na imagem *Brightness* da mesma data. Esse cruzamento originou uma nova máscara, referente aos pontos claros da imagem. O mesmo processo foi aplicado para os pontos escuros. Em seguida, as

máscaras foram superpostas às imagens reflectância e extraídas as médias dos valores de reflectância dos alvos claros e escuros para todas as bandas. Os valores médios da reflectância, obtidos para cada banda e para cada data foram utilizados na equação linear descrita por Hall *et al.* (1991), para retificar as imagens.

O mesmo procedimento foi aplicado para a série temporal de Manaus, sendo a imagem referência de 1989 e as imagens a serem retificadas de 1992, 1997, 2001 e 2006.

Nas Tabelas 37, 38, 39 e 40 são apresentados os resultados do processo de retificação radiométrica entre as imagens referência de Alta Floresta (2004), Manaus (1989) e retificadas de Alta Floresta (2005) e Manaus (1992, 1997, 2001 e 2006). Observa-se nas tabelas (37, 38, 39 e 40) que os valores médios dos alvos claros e escuros da imagem referência e das imagens não retificadas, apresentaram grandes diferenças. Estas diferenças radiométricas estão relacionadas aos efeitos da atmosfera e às variações ocasionadas pela perda da sensibilidade dos sensores (LANDSAT TM e ETM+). Após a retificação linear, as imagens (2005, 1992, 1997, 2001 e 2006) apresentaram uma diferença menor que 1 número digital, em relação a imagem de referência. Os valores das diferenças estão dentro do limite de erro (± 1 ND) tolerado para o conjunto de pontos de controles (claros e escuros) do modelo (Hall *et al.* 1991).

Tabela 37 - Médias dos pontos de controles (alvos) claros, das imagens referência e retificada em número digital (DN), para a área de Alta Floresta-MT.

| Bandas | 2004 Referência | Médias de claros 2005 | | |
|--------|--------------------|-----------------------|------------|-----------|
| | | Antes | Retificada | Diferença |
| 1 | 23,1 | 33,8 | 22,7 | 0,4 |
| 2 | 38,1 | 36,3 | 37,7 | 0,4 |
| 3 | 61,3 | 38,2 | 60,5 | 0,8 |
| 4 | 108,3 | 87,0 | 107,9 | 0,4 |
| 5 | 88,3 | 72,3 | 87,6 | 0,7 |
| 7 | 61,1 | 48,2 | 60,7 | 0,4 |

Tabela 38 - Médias dos pontos de controles escuros (alvos), das imagens referência e retificada em número digital (DN), para a área de Alta Floresta-MT.

| Bandas | 2004 Referência | Médias de escuros 2005 | | |
|--------|--------------------|------------------------|------------|-----------|
| | | Antes | Retificada | Diferença |
| 1 | 6,69 | 21,0 | 5,99 | 0,7 |
| 2 | 5,95 | 16,2 | 5,48 | 0,4 |
| 3 | 6,05 | 10,4 | 5,90 | 0,1 |
| 4 | 5,26 | 7,2 | 5,02 | 0,2 |
| 5 | 2,78 | 4,37 | 2,52 | 0,2 |
| 7 | 1,49 | 3,02 | 1,25 | 0,2 |

Tabela 39 - Médias dos pontos de controles (alvos) claros, das imagens referência e retificada em número digital (ND), para a área de Manaus-AM.

| Bandas | 1989 Referência | Médias de claros | | | | | |
|--------|--------------------|------------------|------------|-----------|-------|------------|-----------|
| | | 1992 | | | 1997 | | |
| | | Antes | Retificada | Diferença | Antes | Retificada | Diferença |
| 1 | 25,6 | 61,9 | 25,2 | 0,4 | 56,3 | 25,1 | 0,5 |
| 2 | 22,9 | 28,9 | 22,5 | 0,4 | 27,8 | 22,5 | 0,4 |
| 3 | 26,9 | 28,9 | 26,6 | 0,3 | 28,8 | 26,5 | 0,4 |
| 4 | 102,1 | 82,9 | 101,6 | 0,5 | 101,4 | 101,5 | 0,6 |
| 5 | 82,4 | 85,8 | 81,8 | 0,6 | 100,2 | 81,9 | 0,5 |
| 7 | 19,1 | 20,9 | 18,7 | 0,4 | 22,5 | 18,5 | 0,6 |

| Bandas | 1989 Referência | 2001* | | | 2006 | | |
|--------|--------------------|-------|------------|-----------|-------|------------|-----------|
| | | Antes | Retificada | Diferença | Antes | Retificada | Diferença |
| 1 | 25,6 | 63,7 | 25,0 | 0,6 | 55,9 | 25,2 | 0,4 |
| 2 | 22,9 | 52,7 | 22,7 | 0,2 | 24,6 | 22,4 | 0,5 |
| 3 | 26,9 | 40,3 | 26,3 | 0,6 | 22,4 | 26,3 | 0,6 |
| 4 | 102,1 | 100,7 | 101,7 | 0,4 | 83,6 | 101,6 | 0,5 |
| 5 | 82,4 | 91,7 | 81,7 | 0,7 | 73,6 | 82,0 | 0,4 |
| 7 | 19,1 | 33,7 | 18,7 | 0,4 | 22,7 | 18,6 | 0,5 |

* Imagem LANDSAT 7 ETM+

Tabela 40 - Médias dos pontos de controles escuros (alvos), das imagens referência e retificada em número digital (DN), para a área de Manaus-AM.

| Bandas | 1989 Referência | Médias de escuros | | | | | |
|--------|--------------------|-------------------|------------|-----------|-------|------------|-----------|
| | | 1992 | | | 1997 | | |
| | | Antes | Retificada | Diferença | Antes | Retificada | Diferença |
| 1 | 15,6 | 54,1 | 15,1 | 0,5 | 44,6 | 15,1 | 0,5 |
| 2 | 8,45 | 18,0 | 8,02 | 0,43 | 12,1 | 8,13 | 0,3 |
| 3 | 8,31 | 16,4 | 7,83 | 0,48 | 9,9 | 7,9 | 0,4 |
| 4 | 6,7 | 10,1 | 6,09 | 0,61 | 2,8 | 5,88 | 0,8 |
| 5 | 1,0 | 3,9 | 1,0 | 0,0 | 0,0 | 1,0 | 0,0 |
| 7 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,0 | 1,0 | 0,0 |

| Bandas | 1989 Referência | 2001* | | | 2006 | | |
|--------|--------------------|-------|------------|-----------|-------|------------|-----------|
| | | Antes | Retificada | Diferença | Antes | Retificada | Diferença |
| | | 1 | 15,6 | 60,0 | 15,3 | 0,3 | 48,1 |
| 2 | 8,45 | 33,7 | 7,8 | 0,65 | 14,6 | 8,13 | 0,3 |
| 3 | 8,31 | 26,2 | 8,05 | 0,26 | 11,0 | 7,76 | 0,5 |
| 4 | 6,7 | 6,6 | 6,4 | 0,3 | 8,13 | 6,25 | 0,4 |
| 5 | 1,0 | 7,4 | 0,4 | 0,6 | 3,54 | 0,91 | 0,09 |
| 7 | 1,0 | 3,9 | 0,3 | 0,7 | 1,08 | 0,36 | 0,6 |

5.4.2. Índices de vegetação para áreas de capoeira e floresta primária na região de Alta Floresta e Manaus.

Considerando as áreas de sucessão secundária (capoeiras) e floresta primária na região de Alta Floresta e Manaus, foi possível traçar o comportamento espectral das unidades amostrais com 5, 8, 11, 23 e 30 anos e floresta primária aberta e densa (FP1 e FP2). Foram usadas nesta análise as imagens índices NDVI, SAVI (L=0.5) e SAVI (L=0.25).

NDVI - Índice de vegetação da diferença normalizada

A Figura 71 apresenta o comportamento do NDVI para as capoeiras (5, 8, 11, 23 e 30 anos de idade) e floresta primária densa e aberta analisada. Este índice respondeu pouco às variações entre os estádios sucessionais. A reduzida variação entre os estádios está aparentemente relacionada à saturação do NDVI. Verificou-se que os valores do NDVI foram elevados, provavelmente devido à ocorrência de resíduos, durante o processo de correção atmosférica.

Os resultados encontrados neste estudo são semelhantes ao encontrado por Bernardes (1998), quando estudou o comportamento do NDVI para floresta primária e estádios

sucessionais situadas na Floresta Nacional do Tapajós, no Pará, encontrou poucas variações entre os estádios sucessionais.

As unidades amostrais FS-B (8 anos de idade) e FP1 (floresta primária aberta) apresentaram menores médias do NDVI. Observou-se no campo que o dossel superior da capoeira FS-B foi dominado por *Cecropia*. Essa dominância do dossel é devido ao rápido estabelecimento e crescimento de *Cecropia*. As espécies *Cecropias* apresentam tipicamente a copa em forma de guarda-chuva com folhas grandes e inclinadas horizontalmente (planofila), em uma única camada simples com todas as folhas expostas à luz solar (Crow, 1980; Oldeman e van Dijk, 1991). A forma e orientação das folhas (planofila) da *Cecropia* mostram uma grande reflectância no infravermelho próximo comparado com dosséis com folhas geralmente pequenas (Kimes 1984 citado por Lucas *et al.*, 2002).

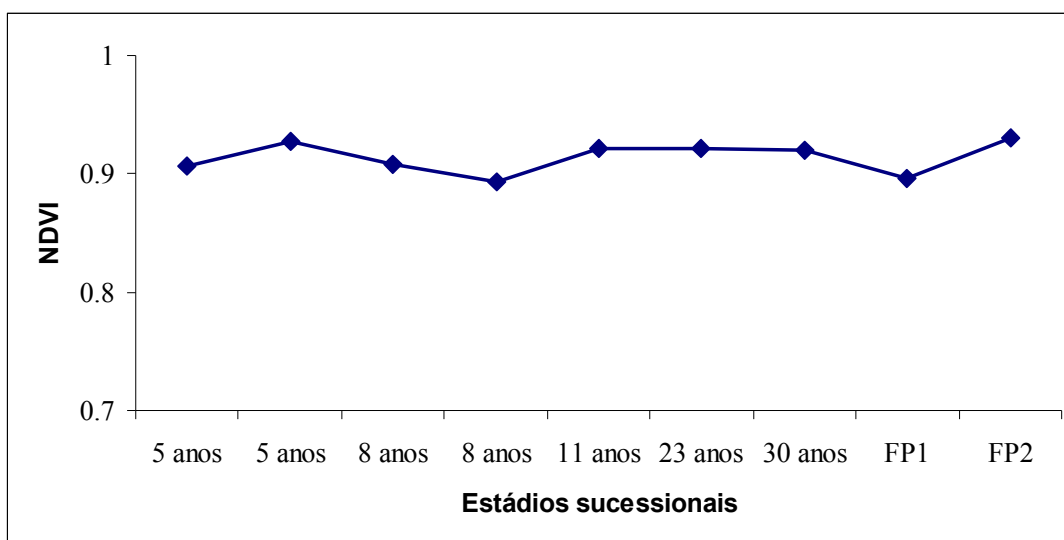


Figura 71 - Curva do NDVI nos estádios sucessionais na região de Alta Floresta e Manaus.

SAVI - Índice de vegetação ajustado para o solo

Os resultados do SAVI (Figura 72) para os valores de L considerados (0,25 e 0,5) permitiram observar que este índice apresentou variações entre os estádios sucessionais. Também verificou-se que o SAVI com $L=0,25$ (alta densidade de cobertura vegetal), demonstrou valores mais elevados em relação ao SAVI com $L=0,5$ (média densidade de cobertura vegetal), mantendo, no entanto, a mesma forma das curvas analisadas. Os resultados demonstraram, que ao contrário do NDVI, o SAVI não apresentou saturação. Estes resultados

corroboram com Bernardes (1998), que verificou que o SAVI (L=0,5) não saturou na análise de uma série temporal em áreas de capoeiras e floresta primária no Pará.

Observou-se nos resultados que as áreas de capoeira com 11 e 30 anos de idade apresentaram menores valores do SAVI, este resultado pode está relacionado ao tipo de vegetação e ao histórico do uso das áreas. A capoeira com 11 anos de idade é composta por uma vegetação baixa, sendo dominada pela espécie *Mimosa pudica* L. var. unijuga (Duchass.& Walp.) Barneby - família Mimosaceae. Estas áreas sofreram derrubada-queima e em seguida foram abandonadas. Estas capoeiras também obtiveram maiores variações em relação aos valores do índice de área foliar (IAF).

Analisando as médias de biomassa aérea seca, área basal e volume para cada unidade amostral, estes apresentaram pouca correlação com os índices espectrais (NDVI e SAVI). Provavelmente, a baixa correlação pode ser explicada em função de poucas unidades amostrais consideradas neste estudo.

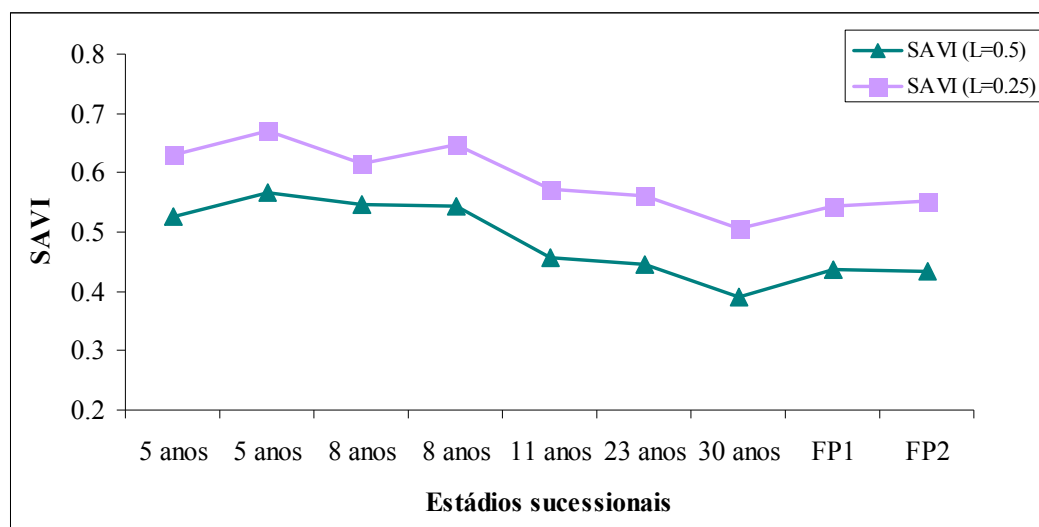


Figura 72 - Curva do SAVI (L=0,5 e 0,25) nos estádios sucessionais na região de Alta Floresta e Manaus.

As estatísticas descritivas dos índices NDVI e SAVI de cada parcela amostral da região de Alta Floresta (MT) e Manaus (AM) são apresentadas na tabela 41.

Os valores médios do NDVI obtidos em cada parcela (FS-D; FS-E; FS-A; FS-B; FS-4; FS-26; FS-9; FP-1 e FP-2) foram: $0,91 \pm 0,01$; $0,93 \pm 0,01$; $0,91 \pm 0,03$; $0,89 \pm 0,02$; $0,92 \pm 0,02$; $0,92 \pm 0,02$; $0,92 \pm 0,03$; $0,89 \pm 0,04$ e $0,93 \pm 0,03$, respectivamente.

Verifica-se na tabela 41 que as capoeiras com 5 (FS-D) e 8 (FS-A) anos de idade obtiveram praticamente a mesma média do NDVI. Também observou que as capoeiras com 11 (FS-4), 23 (FS-26) e 30 (FS-9) anos de idade tiveram a mesma média, e que a capoeira com 5 anos de idade (FS-E) teve a mesma média que a floresta primária densa (FP-2). Este mesmo fato foi observado na capoeira com 8 anos de idade (FS-B) e a floresta primária aberta (FP-1), demonstrando que o NDVI não diferenciou as áreas amostrais com diferentes idade.

A floresta primária aberta (FP-1) apresentou um desvio-padrão elevado quando comparado com as capoeiras e com a floresta primária densa (FP-2), demonstrando que esta parcela de floresta primária apresenta maior variação dos valores do NDVI em relação as demais parcelas amostrais.

As médias dos valores do SAVI ($L=0,5$) obtidos em cada parcela (FS-D; FS-E; FS-A; FS-B; FS-4; FS-26; FS-9; FP-1 e FP-2) foram: $0,52 \pm 0,01$; $0,56 \pm 0,01$; $0,54 \pm 0,02$; $0,54 \pm 0,02$; $0,45 \pm 0,04$; $0,44 \pm 0,05$; $0,39 \pm 0,03$; $0,43 \pm 0,02$ e $0,43 \pm 0,02$, respectivamente. Verifica-se nas capoeiras com 5 anos de idade uma diferença entre os valores do SAVI ($L=0,5$), essa diferença é provavelmente devido a composição florísticas, onde a parcela amostral FS-D apresentou uma vegetação baixa e dossel mais aberto do que a parcela FS-E.

Com relação aos valores do desvio-padrão, estes foram mais elevados na capoeira com 11 e 23 anos de idade, ou seja, nestas parcelas houve maior variação dos valores do SAVI em relação as outras parcelas amostrais.

Observa-se ainda na Tabela 41 que os valores médios do SAVI ($L=0,25$) para as parcelas amostrais FS-D; FS-E; FS-A; FS-B; FS-4; FS-26; FS-9; FP-1 e FP-2 foram, respectivamente: $0,63 \pm 0,02$; $0,67 \pm 0,01$; $0,61 \pm 0,02$; $0,64 \pm 0,02$; $0,57 \pm 0,04$; $0,56 \pm 0,05$; $0,50 \pm 0,04$; $0,54 \pm 0,02$ e $0,55 \pm 0,02$. As maiores médias do SAVI foi obtida nas capoeiras com 5 (FS-E) e 8 (FS-B) anos de idade e que foram dominadas pelo gênero *Cecropia*. A capoeira com 23 anos de idade apresentou o maior desvio-padrão, demonstrando maior variação dos valores do SAVI. Os resultados obtidos do SAVIs demonstraram que as capoeiras mais jovens apresentaram as maiores médias, ou seja, maior resposta espectral.

Tabela 41 - Estatística descritiva dos índices NDVI e SAVI (L=0,5 e L=0,25) em cada estágio sucessional na região de Alta Floresta (MT) e Manaus (AM).

| Idade | NDVI | | SAVI (L=0,5) | | SAVI (L=0,25) | |
|---------------------|-------|------|--------------|------|---------------|------|
| | Média | Dp | Média | Dp | Média | Dp |
| 5 anos (FS-D) | 0,91 | 0,01 | 0,52 | 0,01 | 0,63 | 0,02 |
| 5 anos (FS-E) | 0,93 | 0,01 | 0,56 | 0,01 | 0,67 | 0,01 |
| 8 anos (FS-A) | 0,91 | 0,03 | 0,54 | 0,02 | 0,61 | 0,02 |
| 8 anos (FS-B) | 0,89 | 0,02 | 0,54 | 0,02 | 0,64 | 0,02 |
| 11 anos (FS-4) | 0,92 | 0,02 | 0,45 | 0,04 | 0,57 | 0,04 |
| 23 anos (FS-26) | 0,92 | 0,02 | 0,44 | 0,05 | 0,56 | 0,05 |
| 30 anos (FS-9) | 0,92 | 0,03 | 0,39 | 0,03 | 0,50 | 0,04 |
| FP1 (Alta Floresta) | 0,89 | 0,04 | 0,43 | 0,02 | 0,54 | 0,02 |
| FP2 (Manaus) | 0,93 | 0,03 | 0,43 | 0,02 | 0,55 | 0,02 |

5.4.3. Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) para região de Alta Floresta (MT) e Manaus (AM)

A Figura 73 apresenta os valores de reflectância dos componentes puros selecionados para aplicação do MLME.

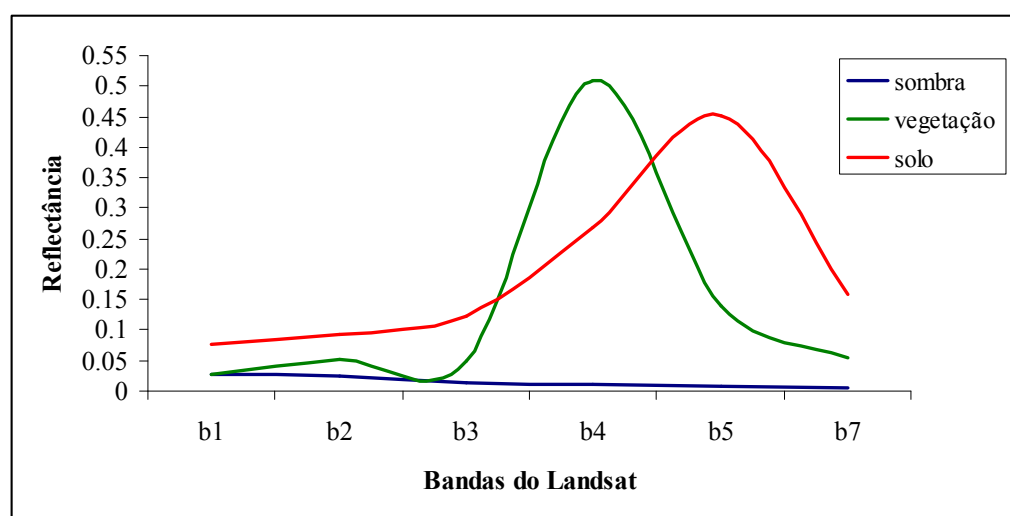


Figura 73 - Curvas de reflectância para os componentes puros MLME para região de Alta Floresta – MT.

Na Tabela 42, são apresentados os erros médio quadrático (RMS - *Root Mean Squared "error"*) do Modelo Linear de Mistura Espectral para as regiões de Alta Floresta-MT e Manaus-AM. Nota-se que o modelo foi bem ajustado, apresentando um RMS baixo e as frações dentro de um limite entre 0 e 1.

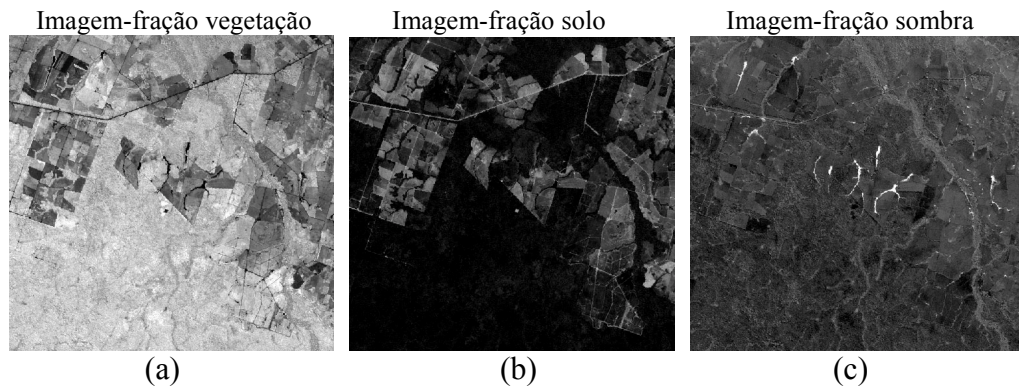
Tabela 42 - Valores do erro médio quadrático (RMS) resultante do MLME.

| | 2004 | 2005 | 2006 |
|----------------|-------------|-------------|-------------|
| RMSerro | 0,0156 | 0,0147 | 0,0087 |

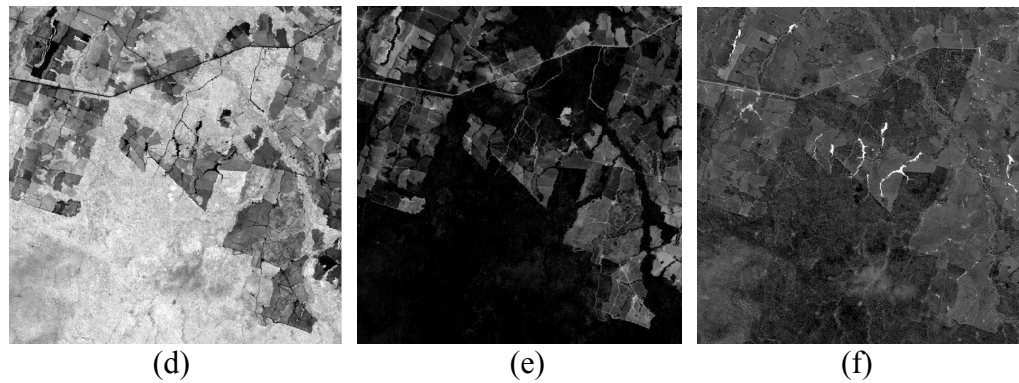
Para as regiões de Alta Floresta e Manaus, as imagens-fração são apresentadas na Figura 74. As Figuras 74(a, d e g) são as imagens-fração vegetação, onde as partes mais claras são as áreas de floresta secundária. Nas imagens-fração solo (Figuras 74b, e e h) as áreas com maior reflectância são as estradas e os pastos; as Figuras 74(c, f, e i) são as imagens-fração sombra onde as partes mais evidenciadas (brilhantes) são efetuadas pelas águas dos rios e córregos.

Os valores da imagem-fração dentro do limite de 0 (pixels escuro) a 1 ou 100% (pixel claro), indicam, respectivamente, baixa e alta proporção do componente.

2004 – Alta Floresta



2005 – Alta Floresta



2006 - Manaus

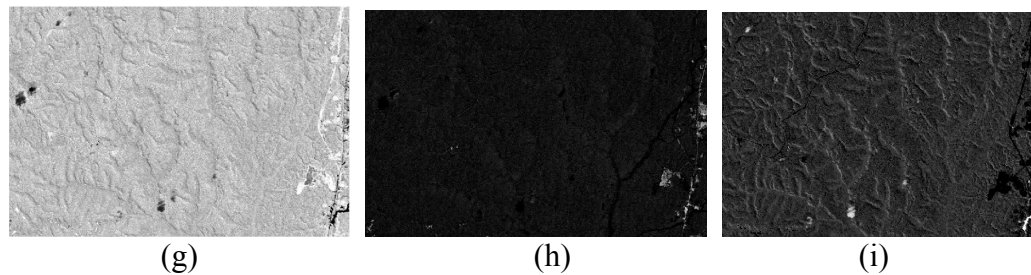


Figura 74 - Amostra das imagens-fração do Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) para Alta Floresta (fazenda Caiabi) e Manaus.

A Figura 75 ilustra a composição colorida das imagens fração sombra, vegetação e solo resultantes das imagens de 2004 e 2005, respectivamente. A composição colorida das imagens fração de 2004 (Figura 75a) e 2005 (Figura 75b) permite verificar as áreas de capoeiras (em verde mais claro), áreas de floresta intacta (verde e azul), área derrubada recente (em vermelho), pasto e água (azul).

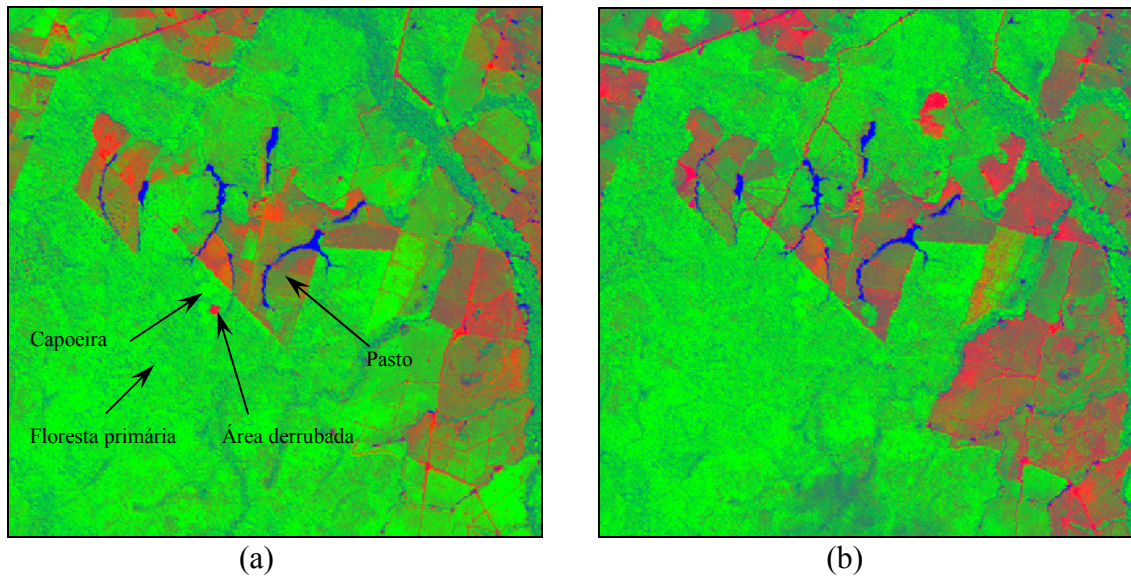


Figura 75 - Composição colorida das imagens fração de 2004 (a) e 2005 (c) (R=solo, G=vegetação e B= sombra).

A composição colorida das imagens fração sombra, vegetação e solo resultante da imagem de 2006 é ilustrada na figura 76. Observa-se na composição colorida as capoeiras (verde claro), áreas de floresta intacta (verde e azul), sombra das nuvens e água (azul).

Verificou-se ainda na composição colorida de 2006, que as florestas secundárias com 11 (FS-4) e 23 (FS-km26) anos de idade foram bem evidenciadas pela MLME, este resultado corrobora com com outros estudos realizados na Amazônia (Lu *et al.*, 2003). Entretanto, a floresta secundária com 30 anos de idade não se diferenciou da floresta primária.

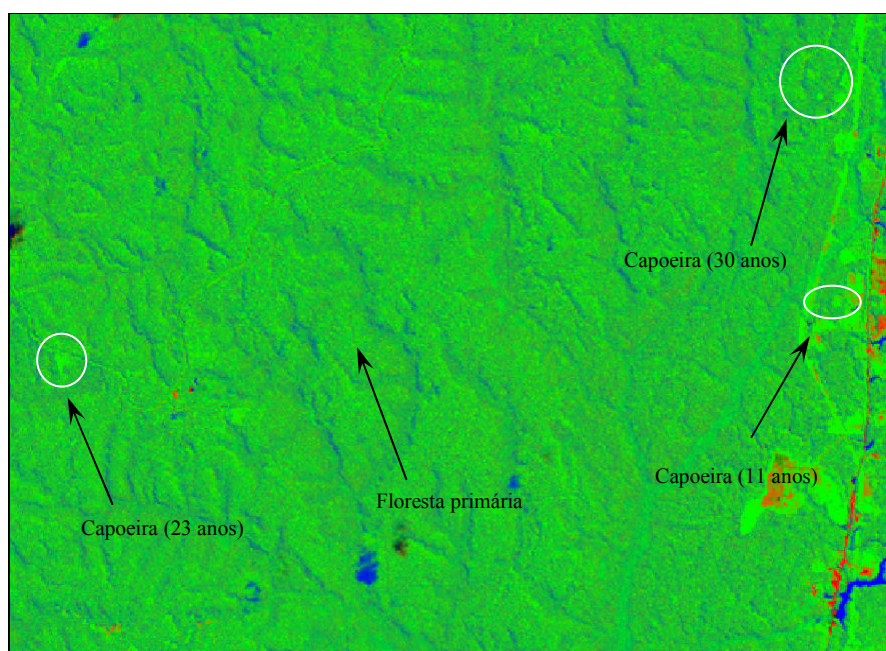


Figura 76 - Composição colorida das imagens- fração de 2006 (R=solo, G=vegetação e B= sombra).

A Figura 77 apresenta curva representativa da fração vegetação para as parcelas amostrais FS-D, FS-E, FS-A, FS-B, FS-4, FS-26, FS-9, FP-1 e FP-2. A curva resultante da imagem fração vegetação dos pontos amostrais analisados foram similares àquelas verificadas para o SAVI. O resultado deste estudo é semelhante ao obtido por Bernardes (1998), que encontrou o mesmo comportamento das curvas no processo sucessional no Pará.

As médias em porcentagem de fração vegetação para as parcelas amostrais foram: 82% (FS-D), 93% (FS-E), 91% (FS-A), 97% (FS-B), 88% (FS-4), 86% (FS-26), 79% (FS-9), 74% (FP1) e 81% (FP2). O resultado desta análise demonstra que a capoeira (FS-B) dominada por *Cecropia* obteve maior porcentagem de vegetação, seguida da capoeira com 5 anos de idade (FS-E) que também apresentou um maior número de indivíduos do gênero *Cecropia*. Essa maior proporção de vegetação é devido a homogeneidade do dossel (menor sombreamento) formada pela *Cecropia*. Pereira (1996), também observou a predominância do gênero *Cecropia* em capoeira com 5 anos de idade, formando um dossel mais homogêneo. Em áreas de capoeiras próximas de Manaus, Adams *et al.*, (1995) verificaram que a vegetação secundária dominada por *Cecropia* e *Vismia* apresentou um dossel regular e com baixa proporção de sombra.

A curva da imagem fração sombra é ilustrada na figura 78. As parcelas amostrais FS-D, FS-E, FS-A, FS-B, FS-4, FS-26, FS-9, FP-1 e FP-2, obtiveram uma média (em porcentagem) de fração sombra de 15%, 6.7%, 6.4%, 2.1%, 6.4%, 7.2%, 15.6%, 25.5% e 12.5%, respectivamente. Observou-se que a floresta primária aberta (FP1) registrou a maior porcentagem de sombra em relação as demais parcelas amostrais. As capoeiras com 5 (FS-D) e 30 (FS-9) anos de idade registraram maiores proporções de sombra, este resultado pode estar relacionado ao tipo de vegetação (na capoeira com 5 anos observou-se vegetação rasteira e árvores altas), e também pelo sombreamento causados pelos indivíduos mais altos do que a altura média do dossel. Com relação as parcelas amostrais de floresta primária, a elevada proporção de sombra, deve-se à complexidade, irregularidade e/ou heterogeneidade do dossel (Pereira, 1996 e Adams *et al.*, 1995).

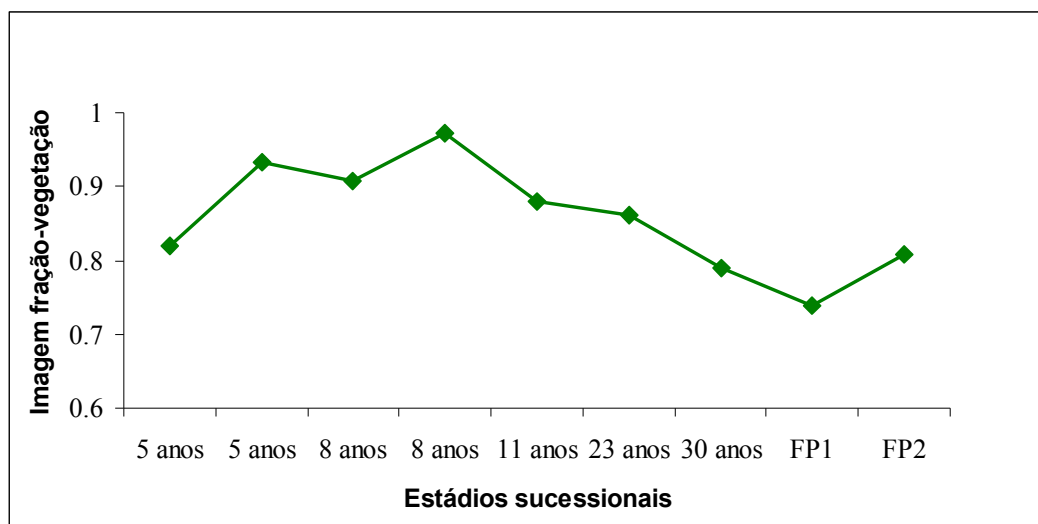


Figura 77 - Curva resultante da imagem fração vegetação nos diferentes estádios sucessionais na região de Alta Floresta e Manaus.

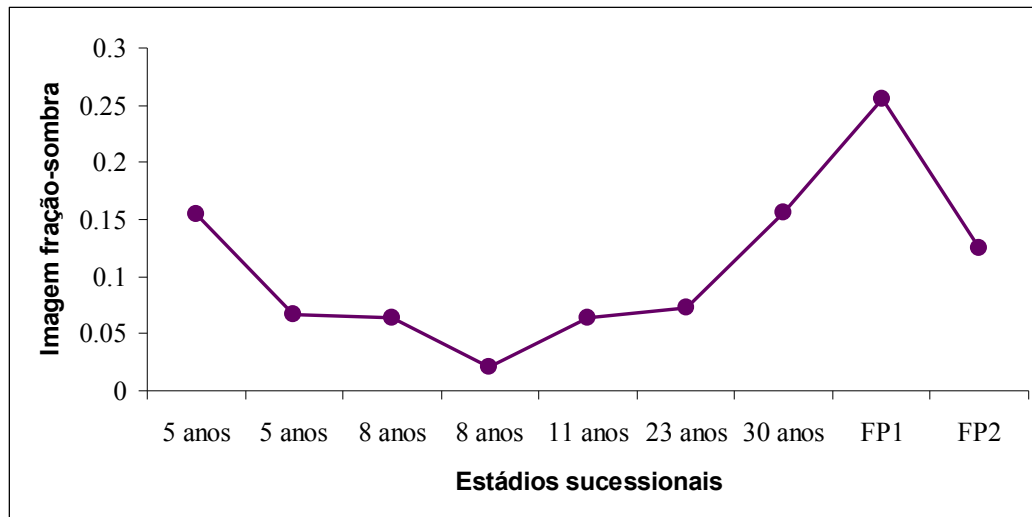


Figura 78 - Curva resultante da imagem fração sombra nos diferentes estádios sucessionais na região de Alta Floresta e Manaus.

As estatísticas descritivas das imagens fração vegetação e sombra de cada parcela amostral da região de Alta Floresta (MT) e Manaus (AM) são apresentadas na tabela 43.

Os valores médios da imagens fração vegetação obtidos em cada amostra (FS-D; FS-E; FS-A; FS-B; FS-4; FS-26; FS-9; FP-1 e FP-2) foram: $0,82 \pm 0,04$; $0,93 \pm 0,02$; $0,91 \pm 0,06$; $0,97 \pm 0,04$; $0,88 \pm 0,08$; $0,86 \pm 0,11$; $0,79 \pm 0,08$; $0,74 \pm 0,06$ e $0,81 \pm 0,06$, respectivamente.

As capoeiras dominadas por *Cecropia* (FS-E e FS-B) apresentaram as maiores médias de fração vegetação. Também verificou-se que a capoeira com 23 anos de idade apresentou um desvio-padrão elevado quando comparado com as outras parcelas, ou seja, nesta capoeira houve uma maior variação dos valores de fração vegetação.

Verifica-se ainda na tabela 43 que os valores médios da imagem-fração sombra para as parcelas amostrais foram: $0,15 \pm 0,04$ (FS-D); $0,07 \pm 0,02$ (FS-E); $0,06 \pm 0,04$ (FS-A); $0,02 \pm 0,04$ (FS-B); $0,06 \pm 0,07$ (FS-4); $0,07 \pm 0,1$ (FS-26); $0,16 \pm 0,09$ (FS-9); $0,26 \pm 0,06$ (FP-1) e $0,13 \pm 0,07$ (FP-2). A maior proporção de sombra foi encontrada na floresta primária ombrófila aberta (região de Alta Floresta). Este resultado pode ser explicado pela formação vegetal da área, caracterizada como representativa da formação meridional da Hiléia amazônica em contato com florestas semi-decíduas e o cerrado do Planalto Central (zonas de tensão ecológica) (Veloso *et al.*, 1991).

A maior variação dos valores de proporção sombra, foi verificada nas capoeiras com 23 e 30 anos de idade, as quais obtiveram os maiores desvios-padrão. A capoeira com 5 anos de idade (FS-E) obteve a menor variação de sombra neste estudo.

Tabela 43 - Estatística descritiva das imagens-fraça vegetação e sombra em cada estágio sucessional na região de Alta Floresta (MT) e Manaus (AM).

| Idade | Fração vegetação | | Fração sombra | |
|--------------------|-------------------------|------|----------------------|------|
| | Média | Dp | Média | Dp |
| 5 anos (FS-D) | 0,82 | 0,04 | 0,15 | 0,04 |
| 5 anos (FS-E) | 0,93 | 0,02 | 0,07 | 0,02 |
| 8 anos (FS-A) | 0,91 | 0,06 | 0,06 | 0,04 |
| 8 anos (FS-B) | 0,97 | 0,04 | 0,02 | 0,04 |
| 11 anos (FS-4) | 0,88 | 0,08 | 0,06 | 0,07 |
| 23 anos (FS-26) | 0,86 | 0,11 | 0,07 | 0,10 |
| 30 anos (FS-9) | 0,79 | 0,08 | 0,16 | 0,09 |
| FP1(Alta Floresta) | 0,74 | 0,06 | 0,26 | 0,06 |
| FP2 (Manaus) | 0,81 | 0,06 | 0,13 | 0,07 |

5.4.4. Série temporal de imagens (Manaus-AM)

5.4.4.1. Índices de vegetação

Considerando uma série temporal de imagens, foi possível traçar um perfil do comportamento espectral dos tratamentos explorados experimentalmente, ao longo do tempo, ou seja, em 1989 (um ano e dois anos após a exploração, dependendo do tratamento), 1992 (quatro e cinco anos após exploração), 1997 (nove e dez anos após exploração), 2001 (treze e quatorze anos após exploração) e 2006 (dezoito e dezenove anos após exploração). Foram usadas nesta análise as imagens índices NDVI, SAVI (L=0.5) e SAVI (L=0.25).

NDVI - Índice de vegetação da diferença normalizada

A análise temporal dos tratamentos através das imagens índices NDVI (Figura 79) mostrou que o tratamento (T3) foi inferior aos demais tratamentos (T0, T1 e T2) um ano após a exploração (1989). Neste tratamento a exploração foi mais intensa, ou seja, 75% da área basal foi retirada na área, causando maior abertura do dossel em relação aos demais tratamentos e, conseqüentemente, o fechamento ou a recuperação do dossel foi mais lenta. Outro fator que provavelmente influenciou os altos valores do NDVI nos tratamentos T1 e T2 foi o ano de exploração (1987), ou seja, dois anos após a exploração, estas áreas foram invadidas por espécies pioneiras, favorecendo o fechamento do dossel. Em 1992 todos os tratamentos obtiveram os mesmos valores de NDVI, evidenciando a recuperação do dossel das áreas após quatro e cinco anos. Segundo Higuchi *et al.* (1997), resultados iniciais de pesquisas com manejo florestal na região indicam que as injúrias causadas pela exploração são rapidamente cicatrizadas e a floresta residual tende a responder positivamente aos tratamentos silviculturais. Pereira *et al.* (2002) verificaram que os danos na copa em exploração convencional são maiores do que os danos causados pela exploração manejada. Porém, em 1997 todos os tratamentos obtiveram valores de NDVI baixo em relação ao ano de 1992. Neste ano houve o El Niño, onde a mortalidade anual das árvores aumentou em 1.91 % durante este período (Williamson *et al.*, 2000).

Observou-se no ano de 2001 que todos os tratamentos tiveram baixos valores de NDVI em relação aos anos de 1992 e 1997. Os baixos valores podem estar relacionado ao sensor, que para esta data foi o sensor ETM+ do satélite LANDSAT 7. No ano de 2006 os valores do NDVI aumentaram em relação ao ano de 2001 e se aproximaram dos valores registrados nos anos de 1989 a 1997, em todos os tratamentos (T0, T1, T2 e T3). Entretanto,

observou-se que o tratamento T2 apresentou valores do NDVI mais baixo que os demais tratamentos. Analisando os dados de campo de biomassa aérea seca, área basal e volume para cada tratamento em 1992, 1997, 2001 e 2006 verificou-se que houve um aumento a cada ano das variáveis biofísicas supracitadas. Este aumento não seguiu o padrão espectral observado pelo NDVI ao longo do tempo.

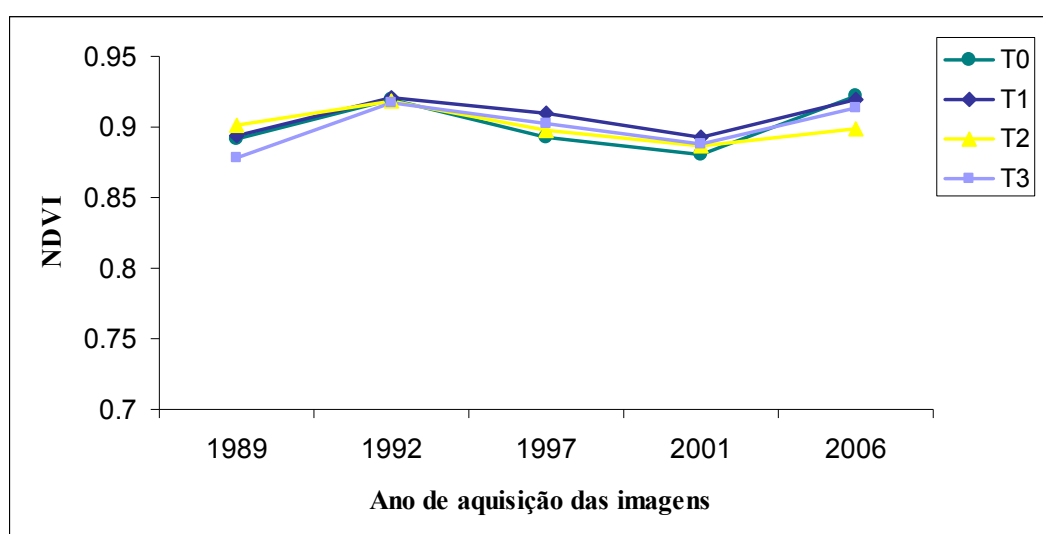


Figura 79 - Análise temporal do NDVI nos tratamentos explorados e testemunha em Manaus-AM.

SAVI - Índice de vegetação ajustado para o solo

As Figuras 80 e 81 apresentam o comportamento do índice espectral SAVI ($L=0,25$) e SAVI ($L=0,5$), respectivamente, para a série temporal analisada. Estes índices demonstraram o mesmo comportamento espectral que o NDVI ao longo do tempo. Em 1989 o tratamento T3 (Figuras 80 e 81) obteve um índice menor em relação aos demais tratamentos. Provavelmente, este resultado é devido ao ano de exploração e a intensidade de corte na exploração, onde os tratamentos T1 e T2 foram explorado em 1987 e com menor intensidade de corte (25% e 50%, respectivamente), enquanto que o tratameto T3, foi explorado em 1988 com remoção de 75% da área basal. Observa-se na série temporal que a média dos valores do SAVI nos tratamentos T0, T1 e T2 nos anos de 1989 e 1992 foram praticamente o mesmo. Os resultados também demonstram que o SAVI foi influenciado pelo fenômeno El Niño ocorrido em 1997. Em 2001 todos os tratamentos obtiveram valores do SAVI baixo em relação aos anos anteriores. Os baixos valores podem esta relacionados ao sensor (ETM+ do satélite

LANDSAT 7), como observado na série do NDVI. No ano de 2006 os valores do SAVI foram semelhantes aos anos de 1992 e 1997 para todos os tratamentos. Também observou-se que neste ano o tratamento T2 teve o mesmo comportamento que no NDVI, ou seja, baixos valores do SAVI em relação aos outros tratamentos.

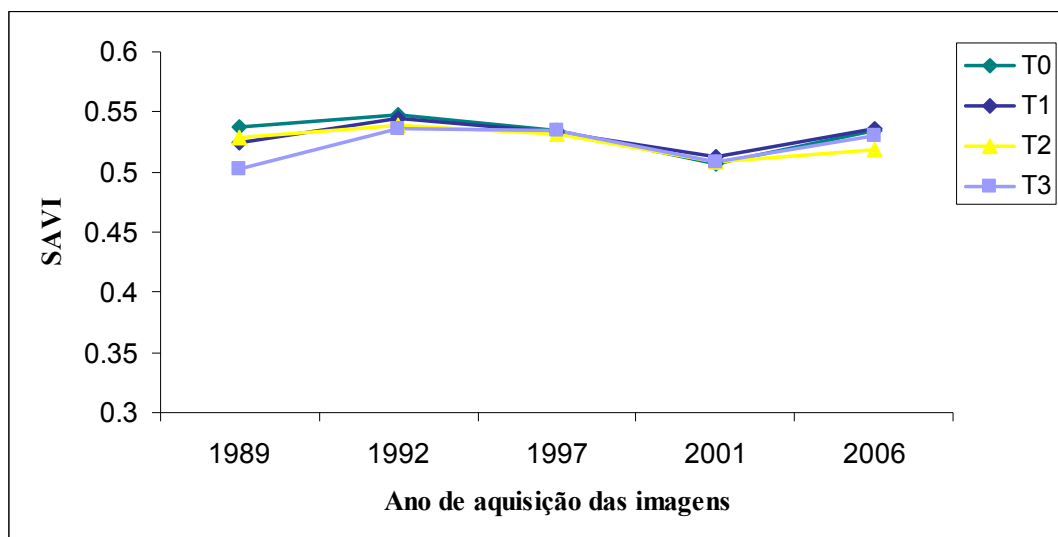


Figura 80 - Análise temporal do SAVI ($L=0,25$) nos tratamentos explorados e testemunha em Manaus-AM.

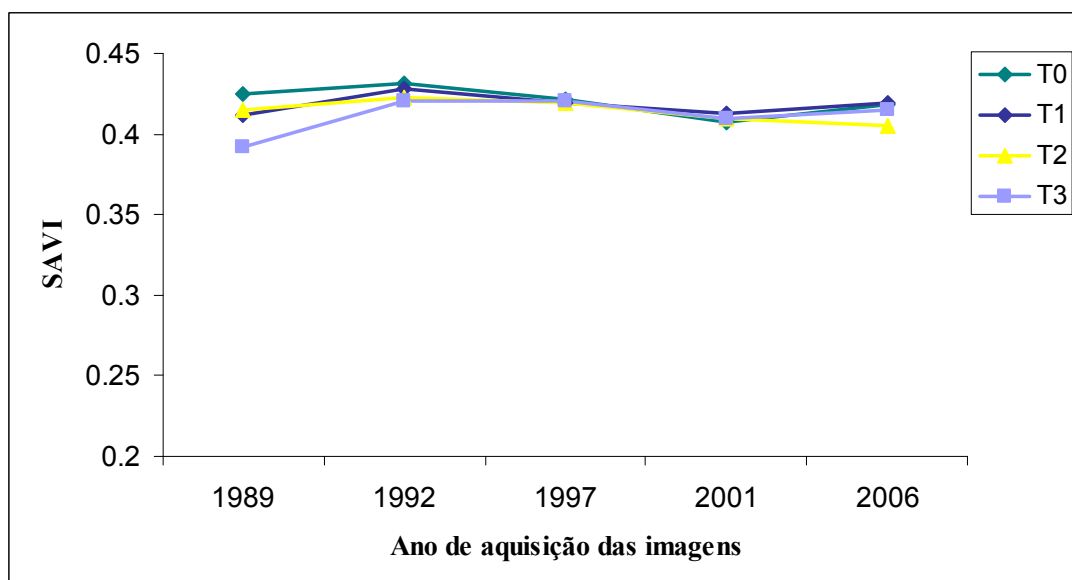


Figura 81 - Análise temporal do SAVI ($L=0,5$) nos tratamentos explorados e testemunha em Manaus-AM.

Os resultados da análise de variância (ANOVA) executada para verificar se existe variações do NDVI ao longo do tempo e entre os tratamentos, são apresentadas na Tabela 44. Verificou-se que $p=0,494$ não é uma forte evidência que os tratamentos apresentam NDVIs diferentes quando analisado ano a ano. Também foi executada a análise segundo von Eden (1993). De acordo com este autor, o valor de F deve ser corrigido usando os fatores de Greenhouse-Geisser (G-G) ou Huynh-Feldt (H-F) para inferir sobre cada fonte de variação, quando medidas repetidas são tomadas nas mesmas unidades experimentais. Se o valor de G-G é menor é do que H-F, o G-G é mais conservador do que H-F. Portanto, é mais seguro fazer inferências com base no fator G-G. Neste caso, o fator G-G (0,000) indica que as evidências são fortes para afirmar que o NDVI muda com o passar do tempo. G-G (0,571) indica que as evidências são fracas da existência da interação NDVI e Tratamento.

Tabela 44 - Análise de variância de parcelas repetidas do NDVI

a) Entre os tratamentos experimentais

| Fontes de Variação | SQ | GL | MQ | F | P |
|--------------------|-------|----|-------|-------|--------------|
| Tratamentos | 0,001 | 3 | 0,000 | 0,874 | 0,494 |
| Erro | 0,002 | 8 | 0,000 | | |

b) Dentro dos tratamentos experimentais

| Fontes de Variação | SQ | GL | MQ | F | P | G-G | H-F |
|--------------------|-------|----|-------|---------|-------|--------------|--------------|
| NDVI | 0,139 | 4 | 0,035 | 179,104 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| NDVI * Tratamentos | 0,002 | 12 | 0,000 | 0,822 | 0,628 | 0,571 | 0,623 |
| Erro | 0,006 | 32 | 0,000 | | | | |

Greenhouse-Geisser $\epsilon = 0,5120$

Huynh-Feldt $\epsilon = 0,9483$

Aplicando análise de variância (tabela 45) para o índice espectral SAVI ($L=0,25$), observou-se que não há evidência para afirmar que há diferenças entre tratamentos quando considerada SAVI como variável dependente ($p=0,415$). Na ANOVA repetida o G-G foi mais conservador do que H-F e, portanto, mais seguro para inferir que há fortes evidências que com o passar do tempo a SAVI é significativa ($G-G = 0,000$). Entretanto, as evidências são fracas

para afirmar que a interação SAVI e Tratamento são significantes com o passar do tempo (G-G = 0,259).

Tabela 45 - Análise de variância de parcelas repetidas do SAVI (L=0,25)

a) Entre os tratamentos experimentais

| Fontes de Variação | SQ | GL | MQ | F | P |
|--------------------|-------|----|-------|-------|--------------|
| Tratamentos | 0,001 | 3 | 0,000 | 1,069 | 0,415 |
| Erro | 0,002 | 8 | 0,000 | | |

b) Dentro dos tratamentos experimentais

| Fontes de Variação | SQ | GL | MQ | F | P | G-G | H-F |
|--------------------|-------|----|-------|---------|-------|--------------|--------------|
| SAVI | 0,148 | 4 | 0,037 | 337,970 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| SAVI * Tratamentos | 0,002 | 12 | 0,000 | 1,472 | 0,186 | 0,259 | 0,212 |
| Erro | 0,004 | 32 | 0,000 | | | | |

Greenhouse-Geisser $\epsilon = 0,4407$

Huynh-Feldt $\epsilon = 0,7678$

Segundo a ANOVA (tabela 46) aplicada para o índice espectral SAVI (L=0,5), verificou-se que não há evidência para afirmar que há diferenças entre tratamentos quando considerado o SAVI (L=0,5) como variável dependente ($p=0,490$). Na ANOVA repetida o G-G foi mais conservador do que H-F. Neste caso, o fator G-G (0,000) indica que há fortes evidências que com o passar do tempo o SAVI (L=0,5) é significativo. Entretanto, as evidências são razoáveis para afirmar que a interação SAVI e Tratamento são significantes com o passar do tempo (G-G = 0,244).

Tabela 46 - Análise de variância de parcelas repetidas do SAVI (L=0,5)

a) Entre os tratamentos experimentais

| Fontes de Variação | SQ | GL | MQ | F | P |
|--------------------|-------|----|-------|-------|--------------|
| Tratamentos | 0,001 | 3 | 0,000 | 0,883 | 0,490 |
| Erro | 0,002 | 8 | 0,000 | | |

b) Dentro dos tratamentos experimentais

| Fontes de Variação | SQ | GL | MQ | F | P | G-G | H-F |
|--------------------|-------|----|-------|---------|-------|--------------|--------------|
| SAVI | 0,114 | 4 | 0,028 | 315,035 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| SAVI * Tratamentos | 0,002 | 12 | 0,000 | 1,513 | 0,171 | 0,244 | 0,193 |
| Erro | 0,003 | 32 | 0,000 | | | | |

Greenhouse-Geisser $\epsilon = 0,4564$

Huynh-Feldt $\epsilon = 0,8061$

5.4.4.2. Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) para região de Manaus-AM

Figura 82 apresenta os valores de reflectância dos componentes puros selecionados para aplicação do MLME.

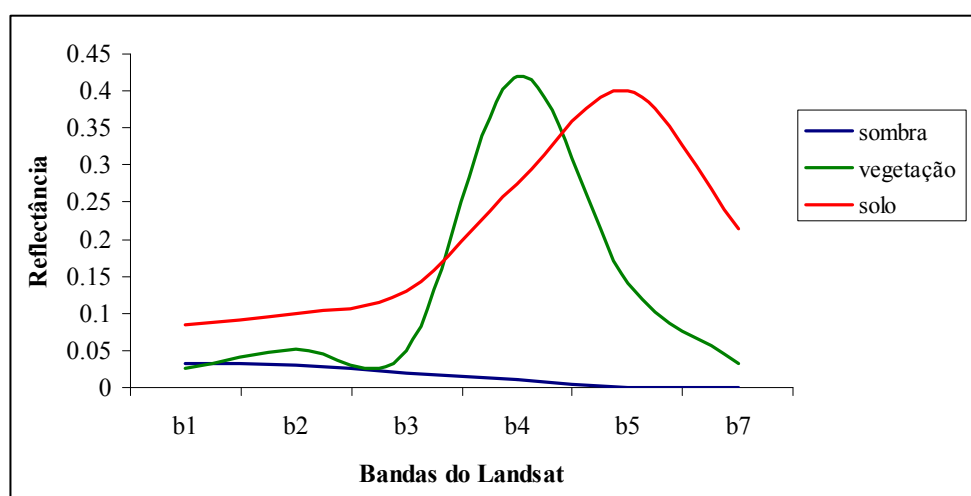


Figura 82 - Curvas de reflectância para os componentes puros MLME para região de Manaus - AM.

Na Tabela 47, são apresentados os erros médio quadrático (RMS - *Root Mean Squared "error"*) do Modelo Linear de Mistura Espectral para a série temporal da região de Manaus-AM. Segundo Adams *et al.* (1995), um modelo bem ajustado deve apresentar um RMS baixo e as frações dentro de um limite entre 0 e 1.

Tabela 47 - Valores do erro médio quadrático (RMS) resultantedo Modelo para á série temporal.

| | 1989 | 1992 | 1997 | 2001 | 2006 |
|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| RMSerro | 0,0167 | 0,0178 | 0,0093 | 0,0053 | 0,0087 |

As imagens-fração ou imagens proporção resultado do Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) para as datas de 1989, 1992, 1997, 2001 e 2006 para a região de Manaus estão representadas na Figura 83. As Figuras 83(a,d,g,j e n) são as imagens-fração vegetação, onde as partes mais evidenciadas ou mais claras são as áreas de floresta secundária e campinarana. Espírito-Santo (2003) estudando a Floresta Nacional do Tapajós no Estado do Pará, também verificou que a imagem fração vegetação ilustrou melhor as áreas de regeneração ou de sucessão secundária. Em áreas próximas de Manaus, Matos (2006) também observou que a imagem fração vegetação realçou áreas de floresta secundária ou início de recuperação; as Figuras 83(b,e,h,l e o) são as imagens-fração solo onde as áreas com maior reflectância são as estradas e os pastos; as Figuras 83(e,f,i,m e p) são as imagens fração sombra onde as partes mais brilhantes são efetuadas pelo relevo e água.

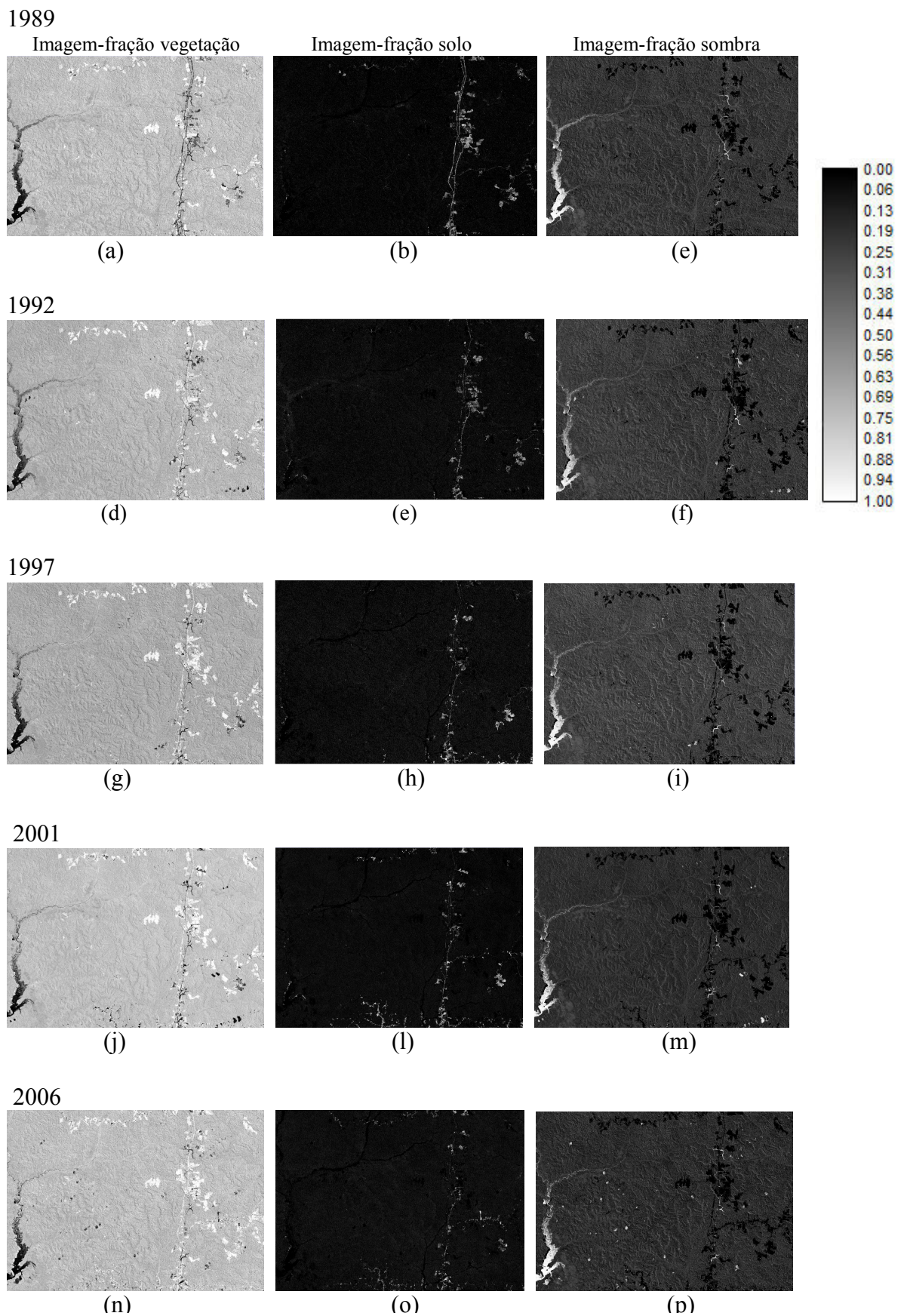


Figura 83 - Amostra das imagens-fração do Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) para a série temporal de Manaus.

A Figura 84 ilustra a composição colorida das imagens-fração sombra, vegetação e solo resultantes das imagens Landsat TM de 1989, 1992 e 1997. A composição colorida das imagens fração de 1989 permite observar as alterações na área do Bionte (em círculo branco), ou seja, nos tratamentos, assim como a localização dos pátios de estocagem, em vermelho (Figura 84a). Souza Jr. *et al.* (2005) comprovaram que a distinção entre áreas de floresta nativa ou primária e floresta explorada convencionalmente através de imagem proporção vegetação pode ser feita até um ano após a exploração.

Na Figura 84b, também é apresentada a composição coloridas das imagens fração de 1992. Percebe-se nesta imagem a localização dos pátios em regeneração após 4 e 5 anos do término da exploração. Pesquisas recentes têm demonstrado que algumas atividades de exploração podem ser detectadas mais de um ano após a extração da madeira. Entretanto, essas florestas não devem ultrapassar o tempo de 2 a 3 anos após a exploração (Stone e Lefebvre, 1998; Souza e Barreto, 2000), ratificando o resultado encontrado nas áreas manejadas do BIONTE.

Em floresta de transição Monteiro *et al.*, (2003) verificaram que áreas exploradas pelo corte seletivo, podem ser detectadas automaticamente pela imagem fração-solo derivada do modelo linear de mistura espectral. Nas áreas manejada do BIONTE a imagem-fração solo detectou os pátios um ano e após 4 ou 5 anos do término da exploração.

Na composição colorida das imagens fração de 1997 (Figura 84c), não foi possível detectar os pátios na imagem Landsat TM, devido o crescimento da floresta secundária nos pátios de estocagens.

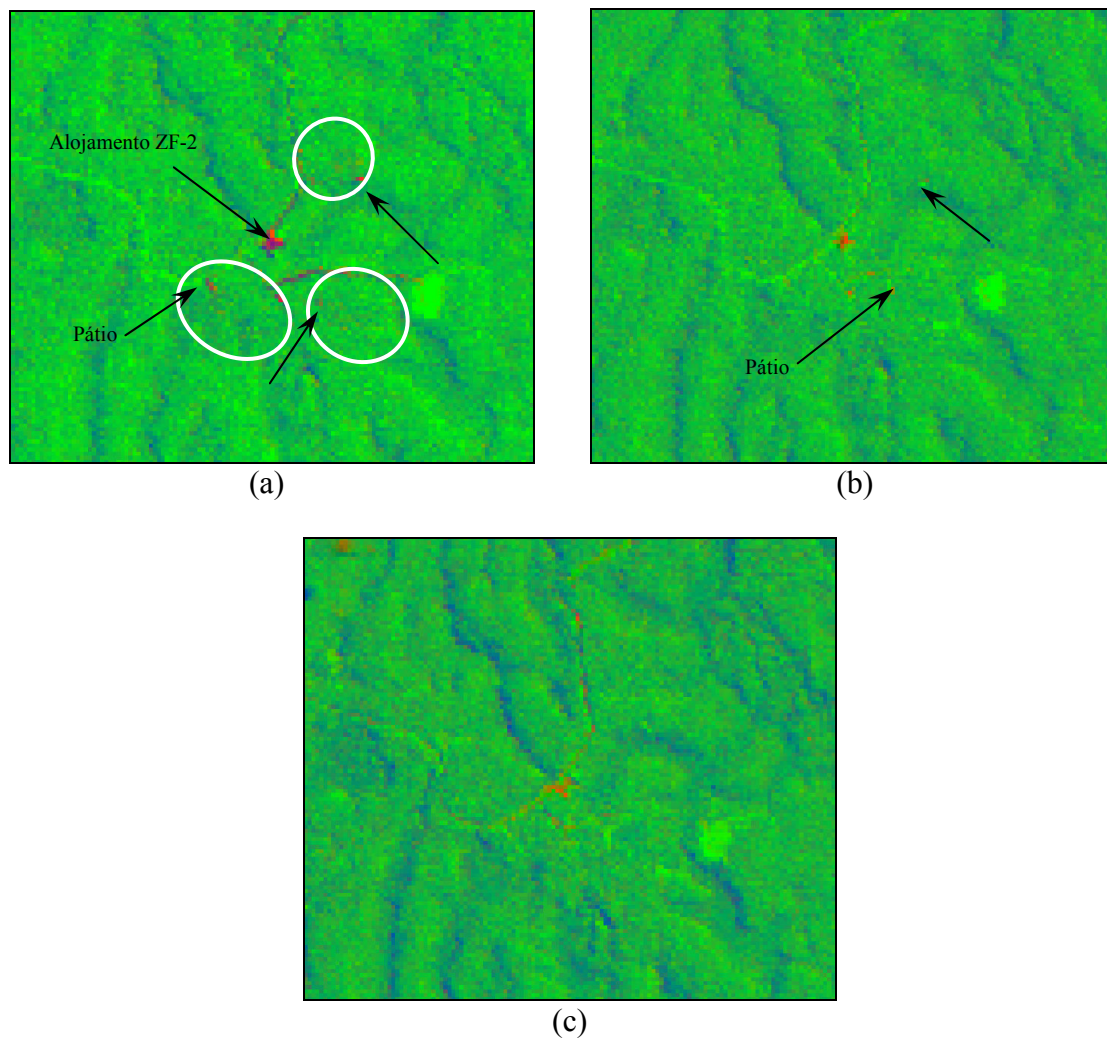


Figura 84 - Composição colorida das imagens fração de 1989 (a), 1992 (b) e 1997 (c) (R=solo, G=vegetação e B= sombra).

Analisando o comportamento espectral dos tratamentos nas imagens fração vegetação (Figura 85), verificou-se que no ano 1989 todos os tratamentos (T0, T1, T2 e T3) apresentaram uma alta proporção de vegetação em relação aos anos de 1992 e 1997, devido a colonização de espécies pioneiras nas áreas exploradas, ou seja, um ano após a exploração. As médias de fração vegetação obtidas em 1989 para os tratamentos foram 96,8%, 95,7%, 95,9% e 91,6%, respectivamente. Observa-se que o T3 obteve uma menor proporção de vegetação que os demais tratamentos em 1989, provavelmente, devido a maior intensidade de corte neste tratamento e o ano da exploração que foi em 1988. Os tratamentos T1 e T2 foram explorados

em 1987. Estes resultados corroboram com Graça (2004), onde o autor constatou que classe de floresta explorada recente de aproximadamente um ano, não apresentaram uma grande diferença nos percentuais de frações vegetação e sombra em relação à floresta intacta (não explorada).

Após 4 a 10 anos do término da exploração (1992 e 1997) observou-se que todos os tratamentos obtiveram praticamente a mesma proporção de vegetação, verificando um pequena redução de proporção vegetação em 1997. As médias de fração vegetação para os tratamentos T0, T1, T2 e T3 em 1992 foram 72,8%, 72,2%, 72,6% e 72,1%, respectivamente. Em 1997 os tratamentos obtiveram uma média de 68,6% (T0), 68,5% (T1), 68,7% (T2) e 69,7% (T3). Os resultados demonstram que os tratamentos explorados após 4 ou 10 anos não apresentaram um aumento no valor médio da fração vegetação em relação a floresta não explorada (controle). Entretanto, Graça (2004) estudando uma floresta explorada em regeneração, no Mato Grosso, após 3 a 5 anos do término da exploração madeireira, verificou um aumento no valor médio da fração vegetação em relação a floresta intacta.

Em 2001 a 2006 houve um aumento da proporção vegetação em relação a 1997. Nestes dois anos a média da proporção de vegetação permaneceu estável. As médias de fração vegetação para os tratamentos T0, T1, T2 e T3 em 2001 foram, respectivamente, 77,8%, 81,4%, 80,5% e 78,4%. Em 2006 os mesmos tratamentos obtiveram uma média de 76,8%, 79,4%, 77,4% e 76,1%.

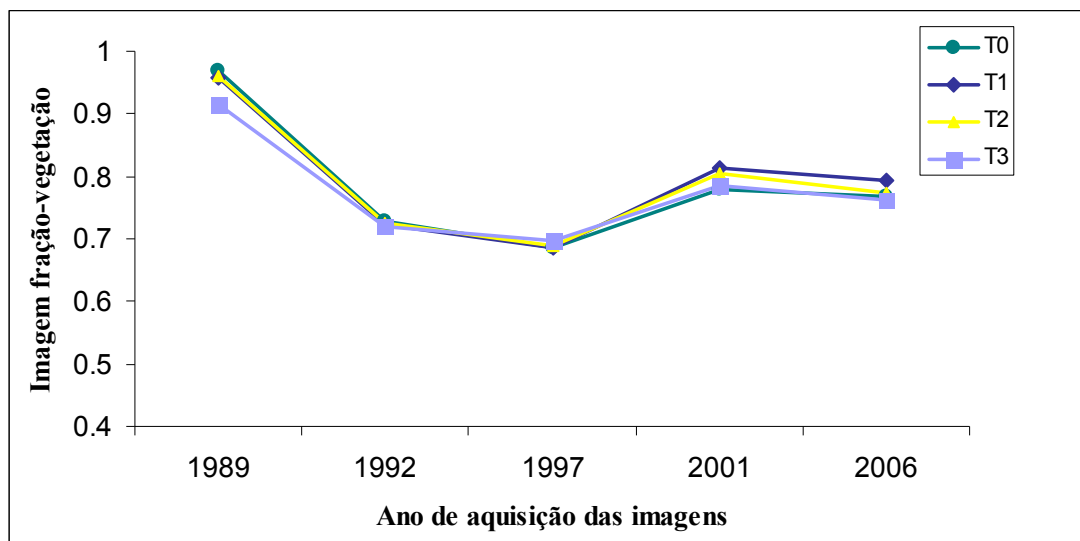


Figura 85 - Análise temporal da imagem fração-vegetação nos tratamentos explorados e testemunha em Manaus-AM.

A análise temporal dos tratamentos nas imagens fração sombra (Figuras 86), mostrou que estes foram baixos no ano de 1989, um e dois anos após a exploração. Este fato pode ser justificado pela presença de espécies pioneiras nas áreas, favorecidas pela entrada de luz pela abertura do dossel, diminuindo com isso a proporção de sombra nas áreas. As médias de fração sombra obtidas em 1989 para os tratamentos T0, T1, T2 e T3 foram 2,1%, 3,5%, 2,9% e 6,0%, respectivamente. Nos anos de 1992 e 1997, constatou-se um aumento na proporção de sombra nos tratamentos T0 (21,2%; 24,7%), T1 (23,6%; 25,4%) e T2 (22,4%; 25,8%), o tratamento T3 permaneceu praticamente estável (24,3%). Em 2001 os tratamentos T0 (16,1%) e T3 (16,9%) se diferenciaram dos tratamentos T1 (13,5%) e T2 (13,8%) em relação a proporção de sombra, também verificou-se que neste ano houve uma diminuição na média da proporção de sombra em todos os tratamentos quando comparado aos anos de 1992 e 1997. Em 2006 os tratamentos obtiveram praticamente a mesma proporção de sombra que em 2001, ou seja, treze a dezenove anos após exploração o comportamento dos tratamentos silviculturais não mudou. Entretanto, verificou-se que o tratamento T1 em 2006 apresentou menor proporção de sombra que os demais. As médias de fração-sombra obtidas em 2006 para T0, T1, T2 e T3 foram, respectivamente, 16,2%, 13,6%, 14,9%, 15,6%.

Analisando os totais de biomassa seca, área basal e volume de cada tratamento nos anos de 1992, 1997, 2001 e 2006 verificou-se que estes aumentaram a cada ano (Higuchi, 2009, dados não publicados). Em relação a imagem fração-sombra, verificou-se que somente nos anos de 1992 e 1997 houve um comportamento semelhante entre as variáveis biofísicas e a imagem fração sombra, ou seja, nestes dois anos houve aumento de proporção sombra e das variáveis em cada tratamento.

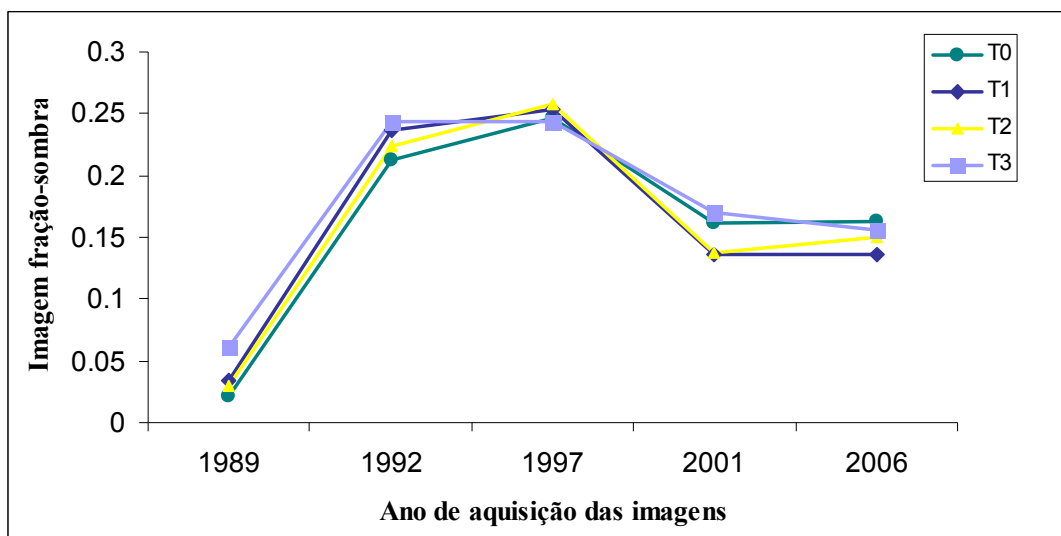


Figura 86 - Análise temporal da imagem fração-sombra nos tratamentos explorados e testemunha em Manaus-AM.

Aplicando a análise de variância para as imagens fração-vegetação (tabela 48), verificou-se que não há evidência para afirmar que há diferenças entre tratamentos quando considerada fração-vegetação como variável dependente. No teste estatístico da ANOVA de parcelas o G-G foi mais conservador do que H-F. Neste caso, o fator G-G (0,000) indica que há fortes evidências que com o passar do tempo a fração-vegetação é significativa. Entretanto, as evidências são fracas para afirmar que a interação fração-vegetação e Tratamento são significantes com o passar do tempo (G-G = 0,466).

Tabela 48 - Análise de variância de parcelas repetidas das imagens fração-vegetação

a) Entre os tratamentos experimentais

| Fontes de Variação | SQ | GL | MQ | F | P |
|--------------------|-------|----|-------|-------|--------------|
| Tratamentos | 0,003 | 3 | 0,001 | 0,404 | 0,754 |
| Erro | 0,019 | 8 | 0,002 | | |

b) Dentro dos tratamentos experimentais

| Fontes de Variação | SQ | GL | MQ | F | P | G-G | H-F |
|-------------------------|-------|----|-------|---------|-------|--------------|-------|
| Vegetação | 0,484 | 4 | 0,121 | 216,904 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Vegetação * Tratamentos | 0,007 | 12 | 0,001 | 0,991 | 0,479 | 0,466 | 0,479 |
| Erro | 0,018 | 32 | 0,001 | | | | |

Greenhouse-Geisser $\epsilon = 0,5359$
 Huynh-Feldt $\epsilon = 1,0000$

O resultado da ANOVA para as imagens fração-sombra são apresentadas na tabela 49. Observou-se que $p=0,684$ evidência que não há diferenças entre tratamentos quando considerada sombra como variável dependente. Na análise de variância de parcelas repetidas o repetida o G-G foi mais conservador do que H-F e, portanto, mais seguro para inferir que há fortes evidências que com o passar do tempo a fração-sombra é significativa (G-G = 0,000). Entretanto, as evidências são fracas para afirmar que a interação fração-sombra e Tratamento são significantes com o passar do tempo (G-G = 0,483).

Tabela 49 - Análise de variância de parcelas repetidas das imagens fração-sombra.

a) Entre os tratamentos experimentais

| Fontes de Variação | SQ | GL | MQ | F | P |
|--------------------|-------|----|-------|-------|--------------|
| Tratamentos | 0,002 | 3 | 0,001 | 0,514 | 0,684 |
| Erro | 0,012 | 8 | 0,002 | | |

b) Dentro dos tratamentos experimentais

| Fontes de Variação | SQ | GL | MQ | F | P | G-G | H-F |
|----------------------|-------|----|-------|---------|-------|--------------|-------|
| Sombra | 0,339 | 4 | 0,085 | 160,593 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Sombra * Tratamentos | 0,006 | 12 | 0,001 | 0,952 | 0,511 | 0,483 | 0,504 |
| Erro | 0,017 | 32 | 0,001 | | | | |

Greenhouse-Geisser $\epsilon = 0,4571$
 Huynh-Feldt $\epsilon = 0,8078$

6. RESUMO DOS RESULTADOS

- A vegetação de Alta Floresta apresentou menor diversidade florística em relação a vegetação da região de Manaus.
- Nas capoeiras mais jovens de Alta Floresta (5 e 8 anos de idade) a espécie *Cecropia sciadophylla* Mart. foi a mais representativa, com maior índice de valor de importância (IVI). Na floresta ombrófila aberta (FP-H e FP-I) o gênero *Brosimum* obteve o maior índice de valor de importância.
- Em relação ao estoque de biomassa e carbono, evidenciou-se que à medida que o estágio sucessional avança, aumenta a biomassa.
- As áreas manejadas experimentalmente sob diferentes intensidades de corte obtiveram valores de biomassa próximos da floresta primária (controle), demonstrando que estas áreas exploradas recuperaram o estoque original em termos de biomassa, 19 anos após a exploração seletiva de madeira.
- As médias de biomassa seca estimada para as amostras de florestas primárias aberta e densa (FP-H, FP-I, B1T0, B2T0 e B4T0), foram: $192,94 \text{ t.ha}^{-1} \pm 72,59$; $242,01 \text{ t.ha}^{-1} \pm 114,11$; $416,02 \text{ t.ha}^{-1} \pm 211,46$; $497,79 \pm 175,92$ e $403,67 \text{ t.ha}^{-1} \pm 167,71$.
- As duas parcelas de floresta secundária (FS-D e FS-E, com 5 anos de idade) apresentam valores de biomassa e IAF diferentes. Este fato pode estar relacionado com a composição florística de cada parcela e o consumo de biomassa pelo fogo em 1999, onde a FS-D teve um consumo de biomassa de 61,5% e a FS-E de 41,8% (Carvalho *et al.*, 2001).
- Os índices de Shannon estimados para a região de Alta Floresta foram menores do que os encontrados na região de Manaus, indicando que a floresta da região de Manaus é mais heterogênea quanto a composição florística.

- Nas áreas florestas manejadas experimentalmente, o índice de diversidade de Shannon apresentou o valor em torno de 4,6, este valor foi próximo dos valores registrados nas parcelas amostrais de floresta primária (~ 4,7).

- Um valor médio do IAF ~ 5 na floresta primária ombrófila aberta na Amazônia é realístico em fase de maturidade da floresta ('mature, or biostatic, phase'). Nas florestas sucessionais secundárias, os valores obtidos são comparáveis à valores citados na literatura (Salgarriada e Luxmore, 1991). A variabilidade espacial do IAF e AD reflete a dinâmica da floresta primária e a floresta em regeneração.

- As capoeiras com 8 anos de idade (FS-A e FS-B) obtiveram praticamente os mesmos valores de IAF (~ 3,8 ± 0,5), sendo estas duas parcelas dominadas pelo gênero *Cecropia*.

- As análises estatísticas dos dados, evidenciaram que há diferenças altamente significativa do índice de área foliar (IAF) entre os estádios sucessionais na região de Alta Floresta. O mesmo resultado foi verificado para os estádios sucessionais de Manaus. Nas áreas exploradas experimentalmente (Bloco 4), a análise de variância demonstrou que não há diferenças entre os tratamentos, 19 anos após a exploração.

- As parcelas amostrais de capoeira e floresta primária da região de Alta Floresta e de Manaus apresentaram, de uma maneira geral, uma dispersão espacial das folhas do tipo agregado (*Clumping Index*-CI < 1). Porém, a parcela FP-H (floresta primária aberta) da região de Alta Floresta registrou uma dispersão uniforme ou regular (CI > 1). Conclui-se que os dosséis das áreas amostrais são heterogêneos, pois não apresentam uma distribuição espacial aleatória.

- O modelo de correção atmosférica DOS (*Dark Object Subtraction*), empregado, foi satisfatório nas bandas do visível e do infravermelho próximo, nas imagens de referência de Manaus (1989) e Alta Floresta (2004).

- O método de correção radiométrica, usado para as série de Alta Floresta e Manaus, demonstrou ser eficiente, permitindo uma comparação entre os valores dos índices de vegetação e imagens- fração (vegetação e sombra).

- O modelo linear de mistura espectral utilizado neste estudo mostrou estar bem ajustado, resultando em baixos valores de RMS. Os componentes puros ficaram dentro de uma amplitude de 0 a 1.
- Verificou-se que os valores do NDVI não diferenciaram os estádios sucessionais. Porém, os valores do SAVI permitiram observar variações entre os estádios sucessionais, ou seja, diferenciou as áreas amostrais com diferentes idade, sendo que as capoeiras mais jovens apresentaram maiores valores do SAVI.
- Constatou-se que as capoeiras dominadas pelo gênero *Cecropia* obtiveram maiores proporção de vegetação, em virtude da homogeneidade do dossel formado por este gênero.
- Os resultados do NDVI e SAVI para a série temporal dos tratamentos (Manaus), demonstraram que o fenômeno El Niño influenciou na resposta espectral dos tratamentos em 1997, onde a mortalidade anual das árvores aumentaram em 1.91 % durante este período de acordo com Williamson *et al.* (2000).
- Com relação a imagem fração-sombra, verificou-se que nos anos de 1992 e 1997 houve aumento de proporção sombra e das variáveis em cada tratamento.
- Quatro e nove anos após a exploração o comportamento espectral das proporção de sombra e vegetação entre os tratamentos permaneceram estáveis.
- As análises estatísticas dos valores espectrais demonstraram que há diferença entre os tratamentos, ao longo do tempo, para os valores espectrais do NDVI, SAVIs e imagens fração-sombra e vegetação. Entretanto, as evidências são razoáveis para afirmar que a interação NDVI, SAVI e imagem fração vegetação e sombra e Tratamento são significantes com o passar do tempo.

7. CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS

O estudo comparativo entre áreas de florestas ombrófila aberta e densa em Alta Floresta (Mato Grosso) e Manaus (Amazônia Central) forneceu importantes informações para avançar na compreensão dos processos que envolvem a regeneração florestal, a estrutura do dossel em diferentes tipologias florestais e na dinâmica da floresta manejada. Com base nos resultados conclui-se que:

1. Florística - A floresta ombrófila aberta (Alta Floresta) tem pouca diversidade florística, quando comparada com a floresta ombrófila densa (Manaus). Também evidenciou-se que quando mais nova a capoeira, menor é a diversidade. As famílias Apocynaceae, Caesalpiniaceae, Mimosaceae e Annonaceae apresentaram-se como as mais importantes em diversidade de espécies na região de Alta Floresta. Para a região de Manaus as famílias Mimosaceae, Annonaceae, Sapotaceae e Lecythidaceae foram as mais diversificadas. O componente arbóreo das capoeiras analisadas é dominada por espécies como *Sclerolobium paniculatum* Vogel (carvoeiro), *Cecropia sciadophylla* Mart. (embaúba gigante), *Vismia japurensis* Reichardt (lacre vermelho) e *Laetia procera* (Poepp.) Eichler (piriquiteira amarela). Essas espécies são indicadoras de floresta secundária e praticamente ausentes nas florestas primárias. No caso da floresta manejada, a espécie *Eschweilera coriacea* (DC.) S.A. Mori (matamatá amarelo) dominou a paisagem nos tratamentos (T1, T2 e T3), sendo uma espécie de árvore de dossel comum na Amazônia e de alto valor comercial. Em relação à heterogeneidade, o índice de Shannon estimado para a floresta primária aberta de Alta Floresta (3,33 e 3,61) indica que esta floresta não é bastante heterogênea, estando abaixo dos valores de diversidade estipulados para florestas tropicais primárias. No caso das florestas primária densa e manejada de Manaus estas apresentaram alta heterogeneidade (~ 4,8 e 4,7), confirmando os valores dos índices de diversidade convencionados para as florestas tropicais. Nas capoeiras mais jovens (5 e 8 anos de idade) a espécie *Cecropia sciadophylla* (embaúba gigante) apresentou maior índice de valor de importância. Nas capoeiras com idade mais avançadas (11, 23 e 30 anos), essa espécie não apresenta o mesmo comportamento devido a maturidade e a substituição ou estabelecimento de uma floresta mais diversas de espécies florestais primárias e secundárias.

2. Dendrometria - À medida que o estágio sucessional avança, há um crescimento de área basal, volume e biomassa, os quais vão se aproximando dos valores da floresta primária. A floresta primária aberta tem menor área basal, volume e biomassa quando comparada com a floresta primária densa. No caso da floresta manejada experimentalmente os resultados demonstram que os valores de área basal, volume e biomassa foram próximos ao da floresta primária. Em Alta Floresta, as estimativas de área basal para as florestas primária (FP-H e FP-I) e secundária (5, 5, 8 e 8 anos), respectivamente, foram: 13,38 m² ha⁻¹, 16,98 m² ha⁻¹, 7,10 m² ha⁻¹, 10,04 m² ha⁻¹, 14,49 m² ha⁻¹ e 21,85 m² ha⁻¹. Para o volume, as estimativas foram as seguintes: 163,1 m³ ha⁻¹, 210,6 m³ ha⁻¹, 79,9 m³ ha⁻¹, 113,4 m³ ha⁻¹, 162,3 m³ ha⁻¹ e 250,2 m³ ha⁻¹. As estimativas de biomassa foram 192,9 t ha⁻¹, 242,0 t ha⁻¹, 27,5 t ha⁻¹, 36,7 t ha⁻¹, 51,6 t ha⁻¹ e 73,2 t ha⁻¹, respectivamente. Na região de Manaus, as estimativas de área basal para as florestas primária (B1T0, B2T0 e B4T0) e secundária (11, 23 e 30 anos), respectivamente, foram: 33,31 m² ha⁻¹, 35,53 m² ha⁻¹, 28,82 m² ha⁻¹, 9,65 m² ha⁻¹, 23,22 m² ha⁻¹ e 20,09 m² ha⁻¹. Para o volume, as estimativas foram 431,19 m³ ha⁻¹, 451,71 m³ ha⁻¹, 367,01 m³ ha⁻¹, 109,89 m³ ha⁻¹, 273,85 m³ ha⁻¹ e 239,63 m³ ha⁻¹, respectivamente. As estimativas de biomassa, respectivamente, foram: 461,56 t ha⁻¹, 497,79 t ha⁻¹, 403,67 t ha⁻¹, 39,25 t ha⁻¹, 116,83 t ha⁻¹ e 105,39 t ha⁻¹.
3. Índice de área foliar - A fotografia hemisférica foi considerada um método coerente e apropriado para estimar o IAF em diferentes estágios sucessionais e em florestas primária e manejada. Os valores do índice de área foliar (IAF) obtidos nas regiões estudadas ficaram próximos daqueles obtidos em outros estudos na Amazônia. Entre as regiões de Alta Floresta e Manaus o IAF mostrou-se altamente significativo ($p < 0,01$). Na floresta manejada os valores do IAF não foram diferenciados entre os tratamentos, indicando a recuperação das florestas manejadas em termo do IAF. A relação entre idade e IAF efetivo não apresentou nenhuma correlação, demonstrando que o IAF não aumenta com a maturidade das capoeiras. A floresta primária densa apresenta maior entrada de luz no sub-bosque em relação a floresta primária aberta. Este fato pode estar relacionado com o tamanho das clareiras, onde observou-se a ocorrência de grandes clareiras na floresta densa.

4. Sensoriamento remoto - As técnicas de sensoriamento aplicadas para estudar a cobertura vegetal das capoeiras, florestas primárias e manejadas demonstraram serem eficientes, no monitoramento e na caracterização das florestas estudadas. O NDVI não foi um bom índice para diferenciar estádios sucessionais com idades avançadas na região Amazônica. Porém, os valores espectrais do SAVI, imagens-fração vegetação e sombra apresentam boa capacidade para diferenciar os estádios sucessionais. As imagens Landsat com resolução espacial de 30 metros são úteis para distinguir o impacto do dossel pela exploração manejada em áreas pequenas. A imagem-fração solo derivadas do Modelo Linear de Mistura espectral são úteis para detectar os pátios de estocagem após 5 anos do término da exploração. Contudo, não é possível detectar as trilhas de arraste, em áreas pequenas, com uma resolução espacial de 30 metros, talvez o uso de imagens com melhor resolução espacial como Ikonos ou Spot 5 sejam mais apropriadas para detectar as trilhas de arraste. Os índices espectrais NDVI, SAVI e imagens-fração (vegetação e sombra) empregados na série temporal da floresta manejada, são diferentes, ou seja, mudam com o passar do tempo. Quando repetimos as análises para verificar a interação entre os valores espectrais (NDVI, SAVI e imagens-frações) e tratamento, os resultados demonstraram que as interação entre tratamento*NDVI, tratamento*SAVI, tratamento*fração vegetação e tratamento*fração sombra não mudaram com o passar do tempo.

Para que se possa, de uma forma mais expressiva, ter uma caracterização mais detalhada dos diferentes tipos de floresta na Amazônia, sugere-se:

1. Desenvolver um estudo avançado de biodiversidade, baseando-se em modelos de riqueza específica, do ajustamento de curvas entre área/espécies permitindo dessa forma, uma comparação mais eficaz entre sítios e regiões distantes.
2. Comparar os resultados de biomassa e carbono obtidos neste estudo com outros trabalhos realizados em floresta tropical, como por exemplo, Barro Colorado (Panamá), Cocha Cashu (Peru), La Selva (Costa Rica), km 41 (Brasil), etc.
3. Introduzir novos resultados IAF, incluindo o efeito do agrupamento foliar ('clumping'). Os resultados obtidos sobre o agrupamento foliar ('clumping'), revelaram que o número de trabalho considerando o agrupamento foliar na Amazônia é praticamente inexistente. Desta forma, torna-se necessário valorizar as

análises do IAF, colocando em evidência a importância do agrupamento foliar na produção biológica.

4. Relacionar os dados de campo com os dados espectrais dos satélites, considerando os limites do sensoriamento remoto em diferenciar as florestas primárias com mais de 250 t MS ha⁻¹ (um limiar acima do qual há saturação do sinal pelos procedimentos clássicos) das florestas com menos biomassa ou matéria seca, ou seja, das florestas degradadas.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, J.B.; Sabol, D.E.; Kapos, V.; Almeida Filho, R.; Roberts, D.A.; Smith, M.O.; Gillespie, A. R. 1995. Classification of multispectral images based on fractions of endmembers: application to land-cover change in the Brazilian Amazon. *Remote Sensing of Environment*, v.52, n.2, p.137-154.
- Alexandre, D.Y. 1992. Le sursis des forêts tropicales. *La Recherche*. P. 692-702.
- Alves, D.S.; Soares, J.V.; Amaral, S.; Mello, E.M.K.; Almeida, S.A.S.; da Silva, O.F.; Silveira, A.M. 1997. Biomass of primary and secondary vegetation in Rondônia, Western Brazilian Amazon. *Global Change Biology*, 3, p451-461.
- Amaral, S.; Soares, J.V.; Alves, D.S.; Mello, E.M.K.; Almeida, S.A.S.; Silva, O.F.; Silveira, A.M. 1996. Relações entre índice de área foliar (LAI), área basal e índice de vegetação (NDVI) em relação a diferentes estágios de crescimento secundário na Floresta Amazônica em Rondônia. (Compact disc). In: *Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto*, 8., Salvador, Anais: INPE; SELPER.
- Amaral, I.L.; Matos, F.D.; Lima, J. 2000. Composição florística e parâmetros estruturais de um hectare de floresta densa de terra firme no rio Uatumã, Amazônia, Brasil. *Acta Amazonica*. 30 (3): p377-392.
- Amaro, M.A. 1993. Inventário Florestal do Projeto de Assentamento Extrativista São Luís do Remanso. In: *1º Congresso Florestal Panamericano - 7º Congresso Florestal Brasileiro*. Anais. Trabalhos voluntários e poster. Curitiba, Paraná; 1: 367-371.
- Aragão, L.E. O.C.; Shimabukuro, Y.E.; Espírito Santo, F.D.B.; Williams, M. 2005. Landscape pattern and spatial variability of leaf area index in Eastern Amazonia. *Forest Ecology and Management*, 211: 240-256.
- Araújo, L. S. 1999. *Análise da cobertura vegetal e de biomassa em áreas de contato floresta/savana a partir de dados TM/Landsat e Jers-1*. São José dos Campos. (INPE-7253-TDI/696). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, p.129.
- Araújo, L.S., Santos, J.R. dos., Dutra, L.V., Freitas, C.C. 2003. A contribuição de imagens de radar (banda P) em estudos florestais. In: Congresso de ecologia do Brasil, VI. Fortaleza. *Anais VI CEB*, Cap. 1 Floresta Tropical Pluvial Amazônica, p92-93.
- Bannari, A., Morin, D., Bonn, F., Huete, A.R. 1995. A review of vegetation indices. *Remote Sensing Reviews*. v13. p95-120.
- Bazzaz, F.A. 1991. Regeneration of tropical forest: physiological responses of pioneer and secondary species. In *Rain Forest Regeneration and Management*, edited by A. Gomez Pompa, T.C. Whitmore and M. Hadley, MAB Series, 6 (Paris: UNESCO), p91-111.
- Bernardes, S. 1998. *Índice de vegetação e valores de proporção na caracterização de floresta tropical primária e estágios sucessionais na área de influência da floresta nacional do Tapajós-Estado do Pará*. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, p.97.
- Bréda, N.J.J., Soudani, K., Bergonzini, J.C. 2002. *Mesure de l'indice foliaire en forêt*. Paris: ECOFOR, p157.
- Bréda, N.J.J. 2003. Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies. *Journal of Experimental Botany* 54 (392), 2403-2417.
- Bionte, 1997. Projeto Bionte. *Relatório Final*. INPA/DFID. Manaus. p.345.
- Bonan, G.B. 1993. Importance of leaf area index and forest type when estimating photosynthesis in boreal forests, *Remote Sensing Environ.* (43): 303-314.
- Cain, S.A.; Castro, G.M.O. 1971. *Manual of vegetation analysis*. Facsimilar da edição de 1959, New York, Hafner Publishing.

- Câmara, G. 1995. *Modelos, linguagens e arquiteturas para bancos de dados geográficos*. Tese (Doutorado em Computação Aplicada) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, São José dos Campos. p286.
- Campbell, G.S.; Norman, J.M. 1998. *An Introduction to Environmental Biophysics*. 2nd ed. Springer, New York, 286 pp.
- Carvalho J.A. Jr., Costa F.S., Veras C.A.G., Sandberg D.V., Alvarado, E.C., Gielow R., Serra A.M. Jr., Santos J.C. 2001. Biomass fire consumption and carbon release of rainforest-clearing experiments conducted in northern Mato Grosso, Brazil. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 106, N° D16, p. 17,877.
- Carneiro, V.M.C. 2004. *Composição florística e análise estrutural da floresta primária de terra firme na bacia do rio Cuieiras, Manaus-AM*. Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Fundação Universidade do Amazonas. Manaus-AM. p.67.
- Castilho, C.V. de. 2004. *Variação espacial e temporal da biomassa arbórea viva em 64 km² de floresta de terra firme na Amazônia Central*. Tese de doutorado em Ciências Biológicas. INPA/UFAM. Manaus, p72.
- Chander, G.; Markhan, B. 2004. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 41 (11): 2674-2677.
- Chander, G.; Markhan, B.; Barsi, J.A. 2007. Revised Landsat 5 Thematic Mapper Radiometric Calibration. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 41 (11): 2674-2677.
- Chapman, L. 2007. Potential applications of near infra-red hemispherical imagery in forest environments. *Agricultural and Forest Meteorology* 143, 151–156.
- Chauvel, A. 1982. Os latossolos amarelos, alícos, argilosos dentro dos ecossistemas das bacias experimentais do INPA e da região vizinha. *Acta Amazônica*, 12(3): 47-60.
- Chavez, P.S. 1988. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment*, 24 (3): 459-479.
- Chavez, P.S. 1996. Image-based atmospheric corrections: revisited and improved. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62 (9): 1025-1036.
- Chen, J.M.; Black, T.A. 1992. Defining leaf area index for non-flat leaves. *Plant, Cell and Environment* 15, 421–429.
- Chen, J.M.; Cihlar, J. 1995. Quantifying the effects of canopy architecture on optical measurements of leaf area index using two gap size analysis methods. *IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing*, 33, p777-787.
- Commission on development and environment for amazonia. 2002. *Amazonia without myths*. Ed. Inter-American development bank, United nations development programme and Amazon cooperation treaty. 120p.
- Crósta, A.P. 1992. *Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto*. Ed. ver. Campinas, SP. IG/UNICAMP. p. 170.
- Crow, T.R. 1980. A rainforest chronicle: a 30 year record of change in structure and composition at El Verde, Puerto Rico. *Biotropica*, 12, p 42-55.
- Cunha, N .G. de; Oliveira, V. A. de; Oenning, I; Souza, L.F.P. de. 1980. Pedologia. In: *RadamBrasil – Levantamento de Recursos Naturais, Folha Sc. 21 Juruena – Rio de Janeiro*. MME. p. 165-324.
- Dai, X.; Khorram, S. 1998. The effects of image misregistration on the accuracy of remotely sensed change detection. *IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing*, v.36, n.5, p. 1566-1577.

- Dubreuil, V.; Cautenet, G.; Planchon, O. 2002. Déforestation et climat au Mato-Grosso : Modélisation climatique à Méso-échelle dans la région d'Alta Floresta (MT-Brésil). *Association Internationale de Climatologie*, (14): 304-310.
- Espírito-Santo, F. D. B. 2003. *Caracterização e mapeamento da vegetação da região da floresta do Tapajós através de dados óticos, radar e inventários florestais*. São José dos Campos. (INPE-10133-TDI/898). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, p.277.
- Espírito-Santo, F. D. B.; Shimabukuro, Y. E.; Aragão, L. E. O. C.; Machado, E. L. M. 2005. Análise da composição florística e fitossociológica da Floresta Nacional do Tapajós com o apoio de imagens de satélite. *Acta Amazônica*, Manaus, v. 35. n. 2, p. 155-173.
- Ewers, R., Laurance, W., Souza Jr., C., 2008. Temporal Fluctuations in Amazonian Deforestation Rates. *Environmental Conservation*, 35(4): 303-310.
- Erwin, T. 1988. The tropical forest canopy: The heart of biotic diversity. In E.O. Wilson. *Biodiversity*. National Academy of Science Press. Washington, D.C. 123-129p.
- Fearnside, P. M. 1993. Deforestation in Brazilian Amazonia: the effect of population and tenure. *Ambio*, 22 (8).537-545.
- Fearnside, P. M. 1996. Amazonian deforestation and global warming: Carbon stocks in vegetation replacing Brazil's Amazon forest. *Forest Ecology and Management*, 80 (1-3): 21-343.
- Feldpausch, Ted R., Erick C.M. Fernandes, Susan J. Riha, Elisa V. Wandelli. 2005. Development of forest structure and leaf area in secondary forests regenerating from abandoned pastures in central Amazônia. *Earth Interactions*, 9 (6), 1-22.
- Ferment, A., Picard, N., Gourlet-Fleury, S., Baraloto, C. 2001. A comparison of five indirect methods for characterizing the light environment in a tropical forest. *Ann. For. Sci.* 58, p 877-891.
- Ferraz, J; Otha, S. ; Salles, P. C. 1998. Distribuição dos solos ao longo de dois transectos em floresta primária ao norte de Manaus (AM). In: Higuchi, N.; Campos, M. A. A.; Sampaio, P. T. B.; Santos, J. dos. (eds). *Pesquisas Florestais para Conservação da Floresta e Reabilitação de Áreas Degradadas da Amazônia*, 111-143.
- Finol, U.H. 1969. Possibilidades de manejo silvicultural para las reservas forestales de la region occidental. *Ver.For. Venez.*, 12(17): 81-107.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2005. Rapport de la FAO sur l'évaluation des ressources forestières mondiales 2005. Disponível em :<http://www.fao.org/forestry/fra2005/fr/>. Acesso em 11 nov. 2008
- Fournier, R.A.; Walter, J-MN (eds.) 2003. Special Collection: Measurement and use of leaf area index in monitoring vegetated ecosystems. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 29 (3): 299-427.
- Forget, P.M. 1994. Les forêts tropicales en sursis. *La Recherche* , 25 : 1154-1162.
- Frazer GW, Trofymow JA & Lertzman KP (1997) *A method for estimating canopy openness, effective leaf area index, and photosynthetically active photon flux density using hemispherical photography and computerized image analysis techniques*. Information Report BC-X-373, Pacific Forestry Centre, Victoria, BC, 73 pp.
- Frazer, G.W.; Trofymow, J.A.; Lertzman, K.P. 1997. A method for estimating canopy openness, effective leaf area index, and photosynthetically active photon flux density using hemispherical photography and computerized image analysis techniques. Information Report BC-X-373, Pacific Forestry Centre, Victoria, BC, 73 pp.
- Graça, P. M. L.A. 2004. *Monitoramento e caracterização de áreas subm à exploração florestal na Amazônia por técnicas de detecção de mudanças*. São José dos Campos. Tese de doutorado (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, p.275.

- Gower, S.T.; Kucharik, C.J.; Norman, J.M. 1999. Direct and Indirect Estimation of Leaf Area Index, f_{APAR} , and Net Primary Production of Terrestrial Ecosystems. *Remote Sensing of Environment* 70, 29–51.
- Hall, F.G.; Strebel, D.E.; Nickeson, J.E.; Goetz, S.J. 1991. Radiometric rectification: toward a common radiometric response among multirate, multisensor images. *Remote Sensing of Environment*, 35 (1): 11-27.
- Higuchi, N.; Jardim, F.C.S.; Santos, J.; Barbosa, A.P. & Wood, T.W.W. 1985. Bacia 3 – Inventário Florestal Comercial. *Acta Amazônica*, 15 (3-4): 327-369.
- Higuchi, N.; Carvalho Jr., J.A. 1994. Fitomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia: In: *Anais do Seminário "Emissão x Seqüestro de Co₂ – Uma Nova Oportunidade para o Brasil"* Companhia Vale do Rio Doce, Rio de Janeiro. p. 127-153.
- Higuchi, N.; Santos, J. dos; Ribeiro, J.R.; Freitas, J.V. de; Vieira, G.; Cöic, A.; Minette, L. 1997. Crescimento e incremento de uma floresta amazônica de terra-firme manejada experimentalmente. In: MCT-INPA. *Biomassa e nutrientes florestais – Relatório Final do Projeto Bionte*. Manaus. 89-131.
- Higuchi, N.; Santos, J.; Ribeiro, R. J.; Minette, L.; Biot, Y. 1998. Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia brasileira. *Acta Amazonica* 28 (2): 153-166.
- Higuchi, N. 2006. O desmatamento insustentável na Amazônia. *Ciência Hoje*, v. 39, p. 67-71.
- Honzak, M.; Foody, G.M.; Lucas, R.M.; Curran, P.J.; Amaral, I.; Amaral, S. 1996. Estimation of the leaf area index and total biomass of tropical regeneration forest: comparison of methodologies. In Grash, J.H.C.; Nobre, C.A.; Roberts, J.M.; Victoria, R.C., eds. *Amazonia deforestation and climate*. Chichester, John Wiles and Sons. p.365-382.
- Hueck, K. 1972. As florestas da América do Sul. São Paulo. Polígono. p.446.
- Huete, A.R., 1988. A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI). *Remote Sensing and the Environment*, 25: 53-70.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 1988. *Geografia do Brasil. Região Centro-Oeste*. Rio de Janeiro. 1: 267.
- INPE. 2008. Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por satélite: 2007-2008. São José dos Campos. SP. <http://www.obt.inpe.br/prodes/index.html>.
- Instituto do homem e meio ambiente da amazônia (Imazon)/SAD. 2009. Programa Transparência florestal da Amazônia legal. <http://www.imazon.org.br/novo2008/index.php?>
- Jardim, F.C.S.; Hosokawa, R.T. 1987. Estrutura da floresta equatorial úmida da estação experimental de silvicultura tropical do INPA. *Acta Amazonica*, (16/17): 411-508.
- Kalácska, M.; Sánchez-Azofeifa, G.A.; Rivard, B.; Calvo-Alvarado, J.C.; Journet, A.R.P.; Arroyo-Mora, J.P.; Ortiz-Ortiz, D. 2004. Leaf area index measurements in tropical moist forest: A case study from Costa Rica. *Remote Sensing of Environment* 91, p134-152.
- Kauth, R.J.; Thomas, G.S. 1976. The tasseled cap transformation - a graphic description of the spectral temporal development of agricultural crops as seen by Landsat. In: Symposium on the Machine Processing of Remotely Sensed Data, Purdue. *Proceedings*. Purdue: Purdue University, p. 4B41-4B51.
- Kimes, D. S., 1984, Modeling the directional reflectance from complete homogeneous vegetation canopies with various leaf-orientation distributions: *Jour. of the Optical Society of America*, v. 1, p. 725-737.
- Lamprecht, H. 1964. Ensayo sobre la estructura florística de la parte sur-oriental del Bosque Universitario “El caimital”, Estado Barinas. *Ver. For. Venez.*, 7 (10-11): 77-119.
- Lamprecht, H. 1990. Silvicultura nos trópicos: *Ecosistemas Florestais e Respektivas Espécies Arbóreas* – Possibilidades e métodos de aproveitamento sustentando. GTZ, Eschborn. p. 343.

- Landim, P.M.B. 2003. *Análise estatística de dados geológicos*. Editora UNESP. 2º edição ver. e ampl. São Paulo. p.253.
- Lang, A.R.G.; Xiang, Y. 1986. Estimation of leaf area index from transmission of direct sunlight in discontinuous canopies. *Agricultural and Forest Meteorology* 37, 229–243.
- Lima, A.J.N. 2002. *Análise da estrutura e do estoque de fitomassa de florestas secundárias, resultantes de corte raso seguido de queimada, da região de Manaus (AM)*. Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Fundação Universidade do Amazonas. Manaus-AM. p.79.
- Lima, A.J.N. ; Teixeira, L.M.; Carneiro, V.M.C.; Santos, J. dos.; Higuchi, N. 2007. Análise da estrutura e do estoque de fitomassa de uma floresta secundária da região de Manaus-AM, dez anos após corte raso seguido de fogo. *Acta Amazônica*. 37 (1): 49-54.
- Lima Filho, D.A.; Matos, F.D.A.; Amaral, I.L.; Revilla, J.; Coelho, L.S.. Ramos, J.F.; Santos, J.L. 2001. Inventário florístico de floresta ombrófila densa de terra firme, na região do rio Urucu- Amazonas, Brasil. *Acta Amazônica*, 31 (4) : 565-579.
- Longman, K. A & Jenik, J. 1987. Tropical forest and its Environment. *Longman Scientific and Technical*. p.347.
- Lorena, R. B. 2001. Espacialização da dinâmica do uso da terra em porção da Amazônia Ocidental (Acre), através de técnica de detecção de mudanças. 2001.. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. p.92
- Lovejoy, T.E.; Bierregaard Jr., R.O. 1990. Central Amazonian forests and the minimum critical size of ecosystems projects. In Gentry, A.H (ed.) *Four neotropical rainforests*. New Haven, Yale University Press. p.60-71.
- Lu, D.; Moran, E.; Batistella, M. 2003. Linear mixture model applied to Amazonian vegetation classification. *Remote Sensing of Environment*, v.87, n.4, p. 456-469.
- Lucas, R.M.; Honzák, M.; Amaral, I.do.; Curran, P.J.; Foody, G.M. 2002. Forest regeneration on abandoned clearances in central Amazonia. *Int. J. Remote sensing*. vol 23 (5), p965-988.
- Loureiro, R. L. de; Dias, A. de A; Magnago, H. 1980. Vegetação. In: *RadamBrasil. Levantamento de Recursos Naturais, Folha Sc. 21 Juruena* - Rio de Janeiro MME: 325-376.
- Ludwig, J. A.; Reynolds, J. F. 1988. *Statistical ecology: a primer on methods and computing*. New York: John Wiley & Sons, 1988. p. 337.
- Maciel, U.N. & Lisboa, P.L.B. 1989. Estudo Florístico de 1 hectare de Mata de Terra firme nokm 15 da Rodovia Presidente Médici – Costa Marques (RO-429), Rondônia. *Bol. Mus. Para. Emilio Goeldi, Sér. Bot.*, 5 (2): 25-37.
- Malheiros, A.F. 2000. *Análise estrutural da floresta tropical úmida do município de Alta Floresta, Mato Grosso, Brasil*. Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Fundação Universidade do Amazonas. Manaus-AM. p.68.
- Markham, B.L.; Barker, J.L. 1986. *Landsat MSS and TM pos-calibration dynamics ranges, exoatmopheric reflectances and at-satellite temperatures*. EOSAT Landsat Technical Notes. p.21.
- Mather, P.M. 1999. *Computer Processing of Remotely-Sensed Imagens. An Introduction*. Second Edition. John Wiley & Sons Ltd. England. p292.
- Matos, F.D.A. 2006. *Estimativa de biomassa e carbono em floresta ombrofila densa de terra firme na Amazônia Central, Manaus-AM, Brasil, por meio de dados de satélites de média e alta resolução espacial*. Tese de doutorado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba-PR. P128.
- McNeely, J.A.; Miller, K.R.; Reid, W.V.; Mittermeier, R.A.; Verne, T.B. 1990. *Conserving the world's biological diversity*. IUC-WRI-CI-WWF-WB. Switzerland.

- McWilliam, A.-L.C.; Roberts, J.M.; Cabral, O.M.R.; Leitão, M.V.B.R.; Costa, A.C.L.; Maitelli, G.T.; Zamparoni, C.A.G.P. 1993. Leaf area index and above-ground biomass of terra firme rain forest and adjacent clearings in Amazonia. *Functional Ecology*, 7: 310-317.
- Mercier, J.R. 1991. *La deforestation en Afrique. Situation et perspectives*, EDISUD. p.178.
- Miranda, E. V. 2002. *Padrão de desenvolvimento radial horário do fuste de três espécies florestais típicas da Amazônia utilizando dendrômetros automáticos*. Dissertação de mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Universidade Federal do Amazonas. Manaus, Amazonas. p.75.
- Mitchell, P.L. and Whitmore, T.C. 1993. *Hemispherical photographs in forest ecology*. Oxford Forestry Institute. Department of plant sciences. 44: p.39.
- Monteiro, A.L.; Souza, C.M.; Barreto, P. 2003. Detection of logging in Amazonian transition forests using spectral mixture models. *Int J. Remote Sensing*. v24, n.1, p151-159.
- Monteiro, A.L.; Souza, C.M.; Lingnau, C. 2007. Avaliação de imagens Landsat para o monitoramento do manejo florestal na Amazônia. *Sci. For.* Piracicaba, n.75, p95-104.
- Moreira, M.A. 2003. *Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação*, ed. 2, Viçosa:UFV. p307.
- Morton, DC; DeFries, RS; Shimabukuro, YE; Anderson, LO; Arai, E; Espirito-Santo, FdB; Freitas, R; Morisette. 2006. *Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon*. J. Proc Natl Acad Sci USA. 103:14637–14641
- Nasa. 2002. Disponível em <http://ltpwww.zulu.ssc.gov.MrSid>, acessada em 10/02/2007.
- Nasa. 2007. Disponível em <http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/handbook.html>, acessada em 12/05/2007.
- Nasa. 2009. Landsat Missions. Disponível em <http://landsat.usgs.gov/>, acessada em 05/02/2009.
- Negreiros, G.H. de.; Sandberg, D.; Alvarado, E.; Hinckley, T.; Carvalho Jr., J.A.; Santos, J.C. 2000. *Processes and conditions governing flammability of Amazon seasonally dry forest*. Primeira conferência científica do LBA. Belém-PA.
- Nelson, B.W.; Mesquita, R.; Pereira, J.L.G.; de Souza, S.G.A.; Batista, G.T.; Couto, L.B. 1999. Allometric regressions for improved estimate of secondary forest biomass in the central Amazon. *Forest Ecology and Management* 114: 149-167.
- Nepstad, D., C. Stickler, O. Almeida. 2006. Globalization of the Amazon beef and soy industries: opportunities for conservation. *Conservation Biology* 20(6): 1595-1603.
- Nilson, T. 1971. A theoretical analysis of the frequency of gaps in plants stands. *Agric. Meteorol.* 8, p25-38.
- Nobis, M.; Hunziker, U. 2005. Automatic thresholding for hemispherical canopy-photographs based on edge detection. *Agricultural and Forest Meteorology* 128, 243–250
- Novo, E.M.L.M. 1992. *Sensoriamento remoto. Princípios e aplicações*. Editora Edgard Blücher Ltd. São Paulo. p308.
- Oldeman, R.A.A. 1978. Architecture and energy exchange of dicotyledonous trees in the forest. In: Tomlinson, P.B., Zimmermann, M.H., *Tropical Trees as Living Systems*, Cambridge University Press, p535-560.
- Oldeman, R.A.A. 1983. Tropical rain forest architecture, sylvigenesis and diversity, In: Sutton S.L., Whitmore, T.C. et Chadwick, A.C. *Tropical rain forest: ecology and management*, British Ecological Society, Blackwell-Oxford, Special Publication n° 2, p139-150.
- Oldeman, R.A.A., van Dijk, J. 1991. Diagnosis of the temperament of rain forest trees. In: Gomez-Pompa, A., Whitmore, T.C., Hadley, M., *Rain forest regeneration and management*, Paris, Mab, UNESCO, p21-65.

- Oliveira, A.A. de. 1997. *Diversidade, estrutura e dinâmica do componentr arbóreo de uma floresta de terra firme de Manaus, AM*. Tese de Doutorado. Instituto de Biociência. Universidade de São Paulo. p187.
- Oliveira, F.P.M.; Jardim, M.A.G. 1998. Composição florística de uma floresta secundária no município de Igarapé-açu, Estado do Pará, Brasil. *Bol. Mus. Pará. Emilio Goeldi, Sér. Bot.* 14 (2): 127-139.
- Oliveira, A.N.; Amaral, I.L. 2004. Florística e fitossociologia de uma floresta de vertente na Amazônia Central, Amazonas, Brasil. *Acta Amazônica*. 34 (1): 21-34.
- Organização das Nações Unidas – ONU. Princípios sobre sensoriamento remoto. Resolução 41/65 da Assembléia Geral da ONU de 9 de dezembro de 1986. Disponível em: http://www.sbda.org.br/textos/DirEsp/Prnc_Sens.rtf. Acesso em 20 de junho de 2009.
- Pereira, J.L.G. 1996. *Estudos de áreas de florestas em regeneração através de imagens Landsat TM*. São José dos Campos.. (INPE-5987-TDI/578). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, p.136.
- Pereira, R.; Zweede, J.C.; Asner, G.P.; Keller, M.M. 2002. Forest canopy damage and recovery in reduced impact and conventional selective logging in Eastern Para, Brazil. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v.168, p.77-89.
- Pereira, N.W.V. ; Venturin, N.; Machado, E.L.M.; Scolforo, J.R.S.; Macedo, R.L.G.; Oliveira, M.V.N. 2005. Análise das variações temporais na florística e estrutura da comunidade arbórea de uma floresta explorada com plano de manejo. *Cerne*, Lavras, v. 11, n. 3, p. 263-282.
- Pielou, E.C. 1962. Runs of one species with respect to another in transects through plant populations. *Biometrics*, v18, p579-593.
- Ponzoni, F.J. 2001. Comportamento Espectral da vegetação. In: Meneses, P.R.; Madeira Netto, J. S. *Sensoriamento Remoto: Reflectancia dos alvos naturais*. Brasília, DF: UNB. Planaltina: EMBRAPA Cerrados. p262.
- Puig, H. 2001. *La forêt tropicale humide*. Belin. Paris. p.448.
- RadamBrasil, 1976. *Mapa Fitoecológico*. Santarém Folha SA.21.
- RadamBrasil. 1978. *Levantamentos de recursos naturais*. Geologia, Geomorfologia, (18):17-530.
- Ranzani, G. 1980. Identificação e caracterização de alguns solos da Estação Experimental de Silvicultura Tropical do INPA. *Acta Amazonica*. 10 (1): 7-41.
- Ribeiro, J.E.L. da S.; Hopkins, M.J.G.; Vicentini, A.; Sothers; C.A.; Costa, M.A. da S.; Brito, J.M. de; Souza, M.A.D. de; Martins, L.H.P.; Lohmann, L.G.; Assunção, P.A.C.L.; Pereira, E. da C.; Silva, C.F. da; Mesquita, M.R. & Procópio, L.C. 1999. *Flora da Reserva Ducke: Guia de Identificação das Plantas Vasculares de uma Floresta de Terra-firme na Amazônia Central*. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA). Manaus, AM. p.816
- Ribeiro, R.J.; Higuchi, N.; Santos, J. Dos & Azevedo, C.P. de. 1999. Estudo Fitossociológico nas Regiões de Carajás e Marabá-PA, Brasil. *Acta Amazônica*. 29 (2): 207-222.
- Rich, P.M. 1990. Characterizing plant canopies with hemispherical photographs. In: Goel, N.S., Norman, J.M. Instrumentation for studying vegetation canopies for remote sensing in optical and thermal infrared regions. *Remote Sensing Reviews*, 5(1):13-29.
- Roberts, J.M. ; Cabral, O.M.R. ; Fisch, G. ; Molion, L.C.B. ; Moore, C.J. ; Shuttleworth, W.L. 1993. Transpiration from an Amazonian rain forest calculated from stomatal conductance measurements. *Agric. For. Meteorol.* 65: 175-196.
- Salete, G., Epiphanyo, J.C.N., Luiz, A.J.B., Formaggio, A.R. 2005. Planilha eletrônica para o cálculo da reflectância em imagens TM e ETM+ Landsat. *Revista brasileira de cartografia*, n. 57/02. p162-167.

- Saldarriaga, J.G. and Luxmoore, R.J. 1991. Solar energy conversion efficiencies during succession of a tropical rain forest in Amazônia. *Journal of Tropical Ecology*, Vol. 7, p. 233–242.
- Salomão, R. de P.; Silva, M.F.F. da & Rosa, N.A.; 1988. Inventário Ecológico em Floresta Pluvial Tropical de Terra firme, Serra Norte, Carajás, PA. *Bol. Mus. Pará. Emílio Goeldi, Sér. Bot.* 4 (1): 1-46.
- Schubart, H.O.R. 1983. Ecologia e utilização das florestas. In: Salati, E.; Schubart, H.O.R.; Junk, W.; Oliveira, A.E., eds. *Amazônia: Desenvolvimento, Intergração e Ecologia*. São Paulo, Brasiliense. p101-143.
- Sellers, P.J. Mintz, Y.; Sud, Y.C. ; Dalcher, A. 1986. A simple biosphere model (SiB) for use within general circulation models, *J. Atmos. Sci* (43): 505-531.
- Shimabukuro, Y.E.; Smith, J.A. 1991. The least-squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 29(1):16-20.
- Shimabukuro, Y.E.; Melo, E.M.K.; Moreira, J.C.; Duarte, V. 1997. Segmentação e classificação da imagem sombra do modelo de mistura para mapear desflorestamento na Amazônia. São José dos Campos. INPE (6147-PUD/029), p.16.
- Skirvin.2004.http://www2.erdas.com/supportsite/downloads/models/user_models/user_model_2.html.
- Silva, R.P. 2007. *Alometria, estoque e dinâmica da biomassa de florestas primárias e secundárias na região de Manaus (AM)*. Tese de doutorado. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Fundação Universidade do Amazonas. Manaus-AM. p.152.
- Silva, M. F.F. ; Rosa, N.A.; Oliveira, J. 1987. Estudos botânicos na área do projeto ferro Carajas. 5. Aspecto florísticos da mata do Rio Gelado-PA. *Bol. Mus. Pará. Emílio Goeldi, Sér. Bot.* 3 (1): 1-19.
- Silva, M.F.F. da & Rosa, N.A. 1989. Análise do estrato arbóreo da vegetação sobre jazidas de cobre na serra dos Carajás-PA. *Bol. Mus. Pará. Emílio Goeldi, Sér. Bot.* 5 (2): 175-206.
- Slater, P.N. 1980. *Remote sensing: optics and optical systems*. Reading: Addison – Wesley. p.574.
- Soudani, K. 1999. *Etude de la structure et de la dynamique spatiale et temporelle des canopées forestière: approche par méthodes optiques indirectes et par télédétection*. Tese de doutorado. Université Louis Pasteur, Strasbourg, França. p227.
- Soudani, K.; Trautmann, J.; Walter, J.-M.N. 2001. Comparison of optical methods for estimating canopy openness and leaf area index in broad-leaved forests. *Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences, Paris, Sciences de la Vie* 324, 381–392.
- Souza, C.JR. , Barreto, P. 2000. An alternative a approach for detecting and monitoring selectively logged forests in the Amazon. *Int. J. Remote Sensing*. v21, n1. p173-179.
- Souza, C.JR. , Roberts, D.A., Monteiro, A.L. 2005. Multitemporal analysis of degraded forest in the Southern Brazilian Amazon. *Earth Interactions*, Madison, v.9, n.19, p1-25.
- Stone, T.A., Lefebvre, P.A. 1998. Using multi-temporal satellite data to evaluate selective logging in Para, Brazil. *International Journal Remote Sensing*, 13, p.2517-2526.
- Trichon, V. 1996. *Hétérogénéité spatiale des structures en forêt naturelle de basse altitude à Sumatra, Indonésie*. These. Université Paul Sabatier – Toulouse III. p.260.
- Trichon, V.; Walter, J.-M.N.; Laumonier, Y. 1998. Identifying spatial patterns in the tropical rain forest using hemispherical photographs. *Plant Ecology* 137, 227–244.
- Uhl, C.; Jordan, C.F. 1984. Sucession and nutrient dynamics following forest cutting and burning in Amazonia. *Ecology* (65) p1476-1490.
- Veloso, H. P.; Rangel Filho, A. L. R. & Lima, J. C. A. 1991. *Classificação da Vegetação Brasileira, Adaptada a um Sistema Universal*. IBGE, Rio de Janeiro. p.123.

- Walter, J.-M.N.; Torquebiau, E.F. 1997. The geometry of the canopy of a dipterocarp rain forest in Sumatra. *Agricultural and Forest Meteorology* 85, 99–115.
- Walter, J.-M.N.; Fournier, R.A.; Soudani, K.; Meyer, E. 2003. Integrating clumping effects in forest canopy structure : an assessment through hemispherical photographs. *Can. J. Remote Sensing*, v 29 (3): p388-410.
- Walter, J.-M.N. 1982–2009. CIMES-FISHEYE © A Package of Programs for the Assessment of Canopy Geometry and Solar Radiation Regimes through Hemispherical Photographs. Manual. Université de Strasbourg. <http://equinoxe.u-strasbg.fr/cimes>
- Welles, J.M. 1990. Some Indirect Methods of Estimating Canopy Structure. *Remote Sensing Review* 5, 31–43.
- Welles, J.M.; Norman, J.M. 1991. Instrument for Indirect Measurement of Canopy Architecture. *Agronomy Journal* 83, 818–825.
- Williamson, G. B.; Williamson, F. L. ; Oliveira, A. A.; Delamônica, P.; Gascon, C.; Lovejoy, T. E.; Pohl, L. 2000. Amazonian Tree Mortality during the 1997 El Niño Drought. *Conservation Biology*, v.14, n.5, p. 1538-1542.
- Wringt, I.R. ; Nobre, C.A. ; Tomasella, J. ; da Rocha, H.R. ; Roberts, J.M. ; Vertamatti, E. ; Culf, A.D.; Alvala, R.C.S.; Hodnett, M.G.; Ubarana, V.N. 1996. Toward a GCM surface parameterization of Amazonia. In: Grash, J.H.C.; Nobre, C.A.; Roberts, J.M.; Victoria, R.C., eds. *Amazonia deforestation and climate*. Chichester, John Wiles and Sons. p.474-504.
- Wirth, R.; Weber, B.; Ryel, R.J. 2001. Spatial and temporal variability of canopy structure in a tropical moist forest. *Acta Oecologica*. 22: 235-244.
- Ya'allah, S.M., Saradjian, M.R. 2005. Automatic normalization of satellite images using unchanged pixels within urban areas. Janeiro. *Information Fusion*, n.6, p235-241.

ANEXO 1

PROGRAMA LEGAL (SPRING) – CORREÇÃO AMOSFÉRICA “COST”, CHAVEZ (1996)

```
{
Imagem Im1, Im2, Im3, Im4, Im5, Im7, Imare1, Imare2, Imare3, Imare4, Imare5, Imare7
("1989_bruta");
Numerico Lsen1, Lsen2, Lsen3, Lsen4, Lsen5, Lsen7 ("grade_1989");
Numerico Imnt1, Imnt2, Imnt3, Imnt4, Imnt5, Imnt7 ("grade_1989");

Im1=Recupere (Nome="1989_b1");
Im2=Recupere (Nome="1989_b2");
Im3=Recupere (Nome="1989_b3");
Im4=Recupere (Nome="1989_b4");
//Im5=Recupere (Nome="1989_b5");
//Im7=Recupere (Nome="1989_b7");

//Imagem reflectância (numérico)
Imnt1=Novo (Nome="1989_b1refl", ResX=30, ResY=30, Escala=50000, Min=0, Max=10);
Imnt2=Novo (Nome="1989_b2refl", ResX=30, ResY=30, Escala=50000, Min=0, Max=10);
Imnt3=Novo (Nome="1989_b3refl", ResX=30, ResY=30, Escala=50000, Min=0, Max=10);
Imnt4=Novo (Nome="1989_b4refl", ResX=30, ResY=30, Escala=50000, Min=0, Max=10);
//Imnt5=Novo (Nome="1989_b5refl", ResX=30, ResY=30, Escala=50000, Min=0, Max=10);
//Imnt7=Novo (Nome="1989_b7refl", ResX=30, ResY=30, Escala=50000, Min=0, Max=10);

//Radiância medida pelo sensor - (numérico)

Lsen1=Novo(Nome="1989_b1rad", ResX=30, ResY=30, Escala=50000, Min=0, Max=5000);
Lsen2=Novo(Nome="1989_b2rad", ResX=30, ResY=30, Escala=50000, Min=0, Max=5000);
Lsen3=Novo(Nome="1989_b3rad", ResX=30, ResY=30, Escala=50000, Min=0, Max=5000);
Lsen4=Novo(Nome="1989_b4rad", ResX=30, ResY=30, Escala=50000, Min=0, Max=5000);
//Lsen5=Novo(Nome="1989_b5rad",ResX=30,ResY=30, Escala=50000, Min=0, Max=5000);
//Lsen7=Novo(Nome="1989_b7rad",ResX=30,ResY=30, Escala=50000, Min=0, Max=5000);
// imagem "exibição" da reflectância
```

```

Imare1=Novo (Nome="1989_b1r", ResX=30, ResY=30, Nbits=8);
Imare2=Novo (Nome="1989_b2r", ResX=30, ResY=30, Nbits=8);
Imare3=Novo (Nome="1989_b3r", ResX=30, ResY=30, Nbits=8);
Imare4=Novo (Nome="1989_b4r", ResX=30, ResY=30, Nbits=8);
//Imare5=Novo (Nome="1989_b5r", ResX=30, ResY=30, Nbits=8);
//Imare7=Novo (Nome="1989_b7r", ResX=30, ResY=30, Nbits=8);

//www2.erdas.com/supportsite/downloads/models/user_models/user_model_2.html

elev=48.7/57.2957795130;
zen=90/57.2957795130 - elev;
pi=3.141592654;
dmax=255;
d=1.014919;
pid2 = pi*d^2;

// DN do pixel escuro

Qdark1 = 47;
Qdark2 = 16;
Qdark3 = 10;
Qdark4 = 9;
//Qdark5 = 6;
//Qdark7 = 2;

//Parâmetros de calibração são obtidos na página:
//http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbook_htmls/chapter11/chapter11.html
// verificar na página -
//http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbook_htmls/chapter6/chapter6.html
//o link "nominal gain file (ASCII)" a recomendação de baixo ou alto ganho (órbita/ponto &
dia ano)

Lmin1=-1.52;
Lmin2=-2.84;

```



```

Lmin3=-1.17;
Lmin4=-1.51;
//Lmin5=-0.37;
//Lmin7=-0.15;
Lmax1=193;
Lmax2=365;
Lmax3=264;
Lmax4=221;
//Lmax5=30.2;
//Lmax7=16.5;
Esun1=1957;
Esun2=1829;
Esun3=1557;
Esun4=1047;
//Esun5=219.3;
//Esun7=74.52;

// Lmin = Radiância Mínima Alvo
Lmia1 = Lmin1 + Qdark1 * (Lmax1 - Lmin1)/ dmax;
Lmia2 = Lmin2 + Qdark2 * (Lmax2 - Lmin2)/ dmax;
Lmia3 = Lmin3 + Qdark3 * (Lmax3 - Lmin3)/ dmax;
Lmia4 = Lmin4 + Qdark4 * (Lmax4 - Lmin4)/ dmax;
//Lmia5 = Lmin5 + Qdark5 * (Lmax5 - Lmin5)/ dmax;
//Lmia7 = Lmin7 + Qdark7 * (Lmax7 - Lmin7)/ dmax;

// Radiância de fundo - 1%
L11pc = (0.01*Esun1*(cos(zen))^2)/(pid2);
L21pc = (0.01*Esun2*(cos(zen))^2)/(pid2);
L31pc = (0.01*Esun3*(cos(zen))^2)/(pid2);
L41pc = (0.01*Esun4*(cos(zen))^2)/(pid2);
//L51pc = (0.01*Esun5*(cos(zen))^2)/(pid2);
//L71pc = (0.01*Esun7*(cos(zen))^2)/(pid2);
L1haze = Lmia1 - L11pc;
L2haze = Lmia2 - L21pc;
L3haze = Lmia3 - L31pc;

```

```

L4haze = Lmia4 - L41pc;
//L5haze = Lmia5 - L51pc;
//L7haze = Lmia7 - L71pc;

// Radiância "bruta" recebida no sensor;
Lsen1 = Lmin1 + Digital (Im1) * (Lmax1 - Lmin1) / dmax ;
Lsen2 = Lmin2 + Digital (Im2) * (Lmax2 - Lmin2) / dmax ;
Lsen3 = Lmin3 + Digital (Im3) * (Lmax3 - Lmin3) / dmax ;
Lsen4 = Lmin4 + Digital (Im4) * (Lmax4 - Lmin4) / dmax ;
//Lsen5 = Lmin5 + Digital (Im5) * (Lmax5 - Lmin5) / dmax ;
//Lsen7 = Lmin7 + Digital (Im7) * (Lmax7 - Lmin7) / dmax ;

// geração da reflectância (MNT) subtraindo-se a Lsen (bruta) - Lhaze

Imnt1= (pid2 * (Lsen1 - L1haze))/(Esun1 * (cos(zen))^2);
Imare1= Imagem (Imnt1*255);
Imnt2= (pid2 * (Lsen2 - L2haze))/(Esun2 * (cos(zen))^2);
Imare2= Imagem (Imnt2*255);
Imnt3= (pid2 * (Lsen3 - L3haze))/(Esun3 * (cos(zen))^2);
Imare3= Imagem (Imnt3*255);
Imnt4= (pid2 * (Lsen4 - L4haze))/(Esun4 * (cos(zen))^2);
Imare4= Imagem (Imnt4*255);
//Imnt5= (pid2 * (Lsen5 - L5haze))/(Esun5 * (cos(zen))^2);
//Imare5= Imagem (Imnt5*255);
//Imnt7= (pid2 * (Lsen7 - L7haze))/(Esun7 * (cos(zen))^2);
//Imare7= Imagem (Imnt7*255);

```

ANEXO 2

GAP FRACTION ANALYSIS

Enter the name of the *.bmp file: **f9-dscn1281.bmp**

Loading BMP: f9-dscn1281.bmp

Geometric distortion of the fish-eye lens:

1: equidistant (or polar)

2: orthographic

? **1**

BMP: f1-dscn1882.bmp Loaded

Do you want to extract the working image from the background (y/n) ?

y

Enter coordinates of three points:

Point 1 (X integer Y integer): **660 60**

Point 2 (X integer Y integer): **220 510**

Point 3 (X integer Y integer): **1120 510**

Center: 670.00, 510.00

Radius: 450.00

Is the working image binary or grey-toned (b/g) ? g

g

Threshold (y/n) ?

y

Enter a threshold value (integer): **195**

Thresholding: 195

Thresholding finished

Do you want to compute a clumping factor (y/n) ? n

Extracting Gap Fraction

Enter the number of zenith and azimuth divisions (integer integer):

9 24

Enter magnetic declination, degrees (float: - West, + East): **-15.5**

Polar projection 9 x 24 begins...

DONE...

Este processo cria um arquivo denominado *gapfract.txt*.