

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

ALOMETRIA, ESTOQUE E DINÂMICA DA BIOMASSA DE
FLORESTAS PRIMÁRIAS E SECUNDÁRIAS NA REGIÃO DE
MANAUS (AM)

ROSEANA PEREIRA DA SILVA

Manaus - AM
Outubro - 2007

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

ALOMETRIA, ESTOQUE E DINÂMICA DA BIOMASSA DE
FLORESTAS PRIMÁRIAS E SECUNDÁRIAS NA REGIÃO DE
MANAUS (AM)

ROSEANA PEREIRA DA SILVA

ORIENTADOR: NIRO HIGUCHI, Ph.D.

Fontes Financiadoras: INPA
CAPES
FAPEAM

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais do convênio INPA/UFAM, como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de doutora em Ciências de Florestas Tropicais, área de concentração em Manejo Florestal.

Manaus - AM
Outubro - 2007

S586 Silva, Roseana Pereira
Alometria, estoque e dinâmica da biomassa de florestas primárias e secundárias na região de Manaus(AM) / Roseana Pereira da Silva .--- Manaus : [s.n.], 2007.
152 p. : il.

Tese (doutorado)-- INPA/UFAM, Manaus, 2007
Orientador : Higuchi, Niro
Área de concentração : Ciências de Florestas Tropicais

1. Manejo Florestal - Amazônia. 2. Dendrometria. 3. Capoeiras.
I. Título.

CDD 19. ed. 634.95

Sinopse:

Estudou-se o estoque e dinâmica da biomassa de florestas primárias e secundárias localizadas na região de Manaus-AM.

Aos meus pais e meus irmãos, aos meus filhos Gabriel e Emelly, ao meu esposo Celso e aos meus orientadores e amigos: Drs. Niro Higuchi e Joaquim dos Santos.

DEDICO

Agradecimentos

A realização desse trabalho tornou-se concretizável apenas por causa do esforço incansável de muitos que fazem parte da minha existência. E por isso, a todos devo muita gratidão. Desejo de coração mencionar todos. E não esquecer de mencionar nem mesmo um nome, pois isso seria injusto. Assim, agradeço:

À Deus Todo Poderoso, pela saúde e fé que me mantiveram erguida nos momentos mais difíceis.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia por todo aprendizado e oportunidade.

À Universidade Federal do Amazonas, por contribuir tão significativamente em minha formação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e especialmente à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) pela concessão da Bolsa. Assim como, a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM), por todo apoio concedido.

Ao Dr. José Francisco de Carvalho Gonçalves, pela criteriosa e brilhante coordenação frente ao Curso de Pós-Graduação em Ciências de Florestas Tropicais.

Aos meus orientadores Drs. Niro Higuchi e Joaquim dos Santos, amigos de todas as horas... Que não me permitiram sucumbir ao cansaço, estando eles, sempre presentes, orientando, disciplinando, exigindo, discutindo, e sempre... “sempre ajudando”.

Aos Pesquisadores Drs. Jeffrey Chambrs, Edgard Tribuzy, Maria Inês, Vânia Varela e Bruce Nelson, que sempre se mostraram disponíveis a sanar minhas dúvidas.

Aos companheiros de estudo: Mabiane, Adriano, Eloíse, Chico, Rosana e Guilherme.

Aos professores do Curso de Ciências de Florestas Tropicais: Drs. Gil, Paulo, Niro, Joaquim, João Ferraz, Isolde, Vânia, Jeffrey Chambrs, Luís Antônio, Marengo, Francisco, Andréia, Spironella e Antenor, por todo conhecimento transmitido.

Aos amigos Alberto, Fabiana, Leonora, Romeu, Kleber, Liliane, Morgana, Andreza e Vilany, que sempre estiveram presentes... Especialmente nas horas mais críticas.

Aos colegas da secretaria Sr. Roberto, Sra. Valdecira e Sr. Alcione, Sr. Ana Clycia Lopes, Sra. Beatriz Suano e Srta. Aline. Certamente, a competência de vocês foi decisiva na conquista e realização desse trabalho.

À minha família da ZF-2: Pedro, Armando, Bertran, Sebastião, Manuel Francisco, Vandeco, Sérgio, Chicó, Paulinho, Quintanilha, Bitonho, Zezão, Alquimar, Geraldo, Jesus, João e Aroldo que foram incansáveis no campo.

À minha família de Manaus: Suelly; Celso, Gabriel e Emelly, que entenderam o meu cansaço e falta tempo para dedicação familiar; compreenderam minha ausência e me ajudaram a buscar meus sonhos e crescimento profissional.

À grande amiga e companheira, Dra. Narrúbia Almeida, que sempre soube exatamente o momento de estar presente orientado em dupla jornada de trabalho – (com as questões profissionais, e ainda, as pessoais).

À Dra. Norma, por ter representado incontestável profissionalismo no Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal do Amazonas.

À minha querida Lindaura Lima, por toda paciência, ajuda e apoio.

Acredito que pela generosidade Deus e por todas as bênçãos que tenho recebido, devo agradecer ao Sr. Agostinho e Sra. Maria Luiza, (meus pais), minha referência de vida.

Sem a participação de todos, não seria possível a realização deste trabalho.

Muito obrigada.

Sumário

	Lista de figuras	xi
	Lista de quadros	xiii
	Resumo	xvi
	Abstract	xvii
1.	Introdução	1
2.	Objetivos	4
2.1.	Objetivo geral	4
2.2.	Objetivos específicos	4
3.	Revisão bibliográfica	5
3.1.	Aspectos legais das questões climáticas: Convenção do Clima e Protocolo de Quioto – sites principais: www.mct.gov.br e www.ipcc.ch	7
3.2.	Biomassa acima do nível do solo	10
3.3.	Biomassa de raízes grossas	11
3.4.	Biomassa de capoeira	11
3.5.	Incertezas	12
3.6.	Alometria	13
3.6.1.	Modelos alométricos	13
3.7.	Intensidade de amostragem e custos de coleta para as equações de biomassa	14
3.8.	Dinâmica da floresta	15
3.8.1.	Estoque e diferenças de estoque	15
3.8.2.	Projeção da dinâmica (Cadeia de Markov)	16

4.	Metodologia	18
4.1.	Caracterização da área de estudo	18
4.1.1.	Localização	18
4.1.2.	Vegetação	19
4.1.3.	Clima	20
4.1.4.	Solos	20
4.2.	Verdades de campo e de laboratório ("ground truth")	21
4.2.1.	Campo	23
4.2.1.1.	Biomassa acima do nível do solo de floresta primária: viva e morta	23
4.2.1.2.	Biomassa de raízes de floresta primária	32
4.2.1.3.	Biomassa acima do solo em capoeiras	34
4.2.1.4.	Biomassa de raízes grossa em capoeira	34
4.2.1.5.	Amostras pra determinação dos teores de água e carbono	35
4.2.2.	Laboratório	35
4.2.2.1.	Teor de água	35
4.2.2.2.	Teor de carbono	36
4.3.	Análises estatísticas	36
4.3.1.	Estoque de biomassa: incertezas	36
4.3.2.	Modelos alométricos: modelos testados, erros e confiabilidade	37
4.3.2.1.	Modelos testados	37
4.3.2.2.	Escolha do melhor modelo	37
4.3.2.3.	Modelos logaritmos <i>versus</i> não logaritmos	38
4.3.2.4.	Dinâmica da floresta	39
4.3.2.5.	Testes estatísticos	44
4.4.	Intensidade de amostragem, tempo e custos de coleta.	44
4.4.1.	Intensidade de amostragem	44
4.4.2.	Tempo e custos de coleta	45
5.	Apresentação e discussão dos resultados	47

5.1.	Aos tomadores de decisão	47
5.1.1.	Coleta de dados para biomassa total da árvore (em floresta primária)	47
5.1.2.	Alometria	48
5.1.3.	Inventário florestal contínuo (IFC)	48
5.1.4.	Outros resultados (média estimada e o intervalo de confiança a 95%) deste estudo	49
5.2.	Verdades de campo e de laboratório ("ground truth")	51
5.2.1.	Estoque de biomassa fresca e relações dendrométricas em floresta primária	51
5.2.1.1.	Estoque de biomassa fresca acima do nível do solo (aérea) - parcelas fixas	51
5.2.1.2.	Composição da biomassa fresca viva acima do nível do solo (aérea) – parcelas fixas	53
5.2.1.3.	Composição da biomassa fresca da parte aérea (DAP = 5cm) – individual em floresta primária	56
5.2.1.4.	Estoque de biomassa fresca de raízes – parcelas fixas	58
5.2.1.5.	Relação entre parte aérea e de raízes – parcelas fixas	60
5.2.2.	Estoque de biomassa fresca e relações dendrométricas em capoeiras de 14 e 23 anos de idade	61
5.2.2.1.	Estoque de biomassa fresca viva (apenas das árvores) – parcelas fixas	61
5.2.2.2.	Composição da biomassa fresca da parte aérea da árvore (DAP = 5cm) - individual	63
5.2.3.	Teor de água	65
5.2.3.1.	Floresta primária	66
5.2.3.2.	Capoeiras de 14 e 23 anos de idade	70
5.2.4.	Teor de carbono	72
5.3.	Equações alométricas (peso fresco como variável dependente)	73
5.3.1.	Floresta Primária	74
5.3.1.1.	Biomassa acima do solo	74
5.3.1.2.	Biomassa de raízes	79
5.3.1.3.	Biomassa total (aérea + raízes)	83

5.3.2.	Capoeiras de 14 e 23 anos de idade	87
5.3.2.1.	Biomassa acima do solo	87
5.3.2.2.	Biomassa de raízes	93
5.4.	Incerteza da estimativa, erro e confiabilidade dos modelos	95
5.4.1.	Incertezas	95
5.4.2.	Erro e confiabilidade do modelo	96
5.4.2.1.	Erro dos modelos	96
5.4.2.2.	Confiabilidade dos modelos	99
5.5.	Intensidade de amostragem para o desenvolvimento de modelos alométricos e custos da coleta de dados de forma destrutiva	102
5.5.1.	Intensidade de amostragem em floresta primária	102
5.5.2.	Custos de coleta de dados em floresta primária	104
5.5.2.1.	Coleta da biomassa total (aérea + raízes) e apenas aérea – método direto (destrutivo)	105
5.5.2.2.	Inventários florestais comerciais no Amazonas – método indireto	106
5.5.2.3.	Método direto <i>versus</i> método indireto	107
5.6.	Estimativas de estoques de biomassa (apenas) acima do nível do solo e diferença de estoques	108
5.7.	Projeção da dinâmica da floresta – cadeia de transição probabilística de Markov	115
6.	Conclusão	122
7.	Referências Bibliográficas	124

Lista de figuras

Figura 4.1 -	Localização da Estação Experimental de Silvicultura Tropical do Inpa; Manaus-Amazonas, Brasil. Imagem da região de Manaus observada por Satélite (Landsat 7).	18
Figura 4.2 -	Estrato superior da cobertura vegetal da floresta densa na área de estudo.	19
Figura 4.3 -	Perfil descritivo de transição dos solos na área de estudo.	21
Figura 4.4 -	Ilustração esquemática dos quadrados selecionados.	24
Figura 4.5 -	Ilustração da área designada para coleta.	25
Figura 4.6 -	Desenho ilustrativo dos diferentes estratos de coleta para pesagem.	26
Figura 4.7 -	Figura ilustração da coleta de serapilheira grossa para pesagem.	27
Figura 4.8 -	Ilustração da divisão e pesagem do tronco.	28
Figura 4.9 -	Ilustração da separação e coleta de raízes.	28
Figura 4.10 -	Ilustração de raiz pivotante sendo removida do solo.	29
Figura 4.11 -	Ilustração esquemática da separação e divisão das partes da árvore.	30
Figura 4.12 -	Ilustração da balança com capacidade para 300 quilos utilizada para as pesagens.	31
Figura 4.13 -	Ilustração de coleta do pó serragem produzido pelo corte.	31
Figura 4.14 -	Ilustração de coleta e separação das folhas sobre uma lona.	31
Figura 4.15 -	Ilustração do material botânico para identificação científica.	32
Figura 5.1 -	Limite superior e inferior do intervalo de confiança (IC 95%) da relação da biomassa viva e morta (considerando a média estimada).	52
Figura 5.2 -	Contribuição (%) das categorias mudas, palmeiras, cipós e árvores à biomassa viva acima do nível do solo em floresta primária.	56
Figura 5.3 -	Contribuição (%) de cada parte (tronco, galhos grossos, galhos finos e folhas) ao peso total acima do nível do solo de uma árvore.	58
Figura 5.4 -	Contribuição (%) dos dois grupos de raízes (mais e menos grossas) em relação à média, considerando os limites inferior e superior.	60

Figura 5.5 -	Repartição (%) da biomassa viva total (acima do nível do solo e de raízes).	61
Figura 5.6 -	Contribuição da biomassa viva total (%) parte aérea e raízes na Capoeira 14 anos e capoeira de 23 anos.	64
Figura 5.7 -	Contribuição (%) de cada parte da árvore à biomassa aérea de uma árvore.	
Figura 5.8 -	Distribuição de resíduos – Biomassa acima do solo – Primária.	78
Figura 5.9 -	Distribuição de resíduos – Biomassa de raízes – Primária.	82
Figura 5.10 -	Distribuição de resíduos - Biomassa total (aérea + raízes) – Primária.	86
Figura 5.11 -	Distribuição de resíduos – aérea – capoeira 14 anos	87
Figura 5.12 -	Distribuição de resíduos – aérea – capoeira 23 anos	89
Figura 5.13 -	Distribuição de resíduos – capoeira - raízes	94
Figura 5.14 -	Erros (%) em relação à média das diferentes intensidades de amostragem	103
Figura 5.15	Dinâmica da biomassa acima do nível do solo (peso fresco em t/ha) em uma área manejada experimentalmente em Manaus (AM), de 1990 a 2005.	110
Figura 5.16 -	Incremento em biomassa (peso fresco em t/ha) dos diferentes tratamentos nos períodos de 1990.	111

Lista de quadros

Quadro 5.1	Estoques (em kg) de biomassa de raízes (PR) e da parte acima do solo (PA) e contribuição (em %) do estoque de biomassa viva (V) e morta (M) em relação ao total (viva + morta), nas parcelas fixas de floresta primária na ZF-2.	51
Quadro 5.2	Estoques (kg) de biomassa de mudas, palmeiras, cipós e árvores e a contribuição (%) de cada um à biomassa total acima do nível do solo.	55
Quadro 5.3	Floresta Primária - Contribuição (%) de cada parte ao peso fresco total de uma árvore acima do nível do solo.	58
Quadro 5.4	Estoques (em kg) de biomassa de raízes menos grossas (RMeG) e Raízes Mais grossas (RMaG) com a contribuição (%) de cada uma ao peso total (T) de raízes.	59
Quadro 5.5	Estoques de raízes menos grossas (RMeG) com diâmetro de base igual ou maior que 2 mm e menor que 5 cm – (em kg) e raízes mais grossas (RMaG) com o diâmetro de base igual ou maior que 5 cm – (em kg), total de raízes (pf-PR em kg), total da parte acima do solo (pf-PA em kg) e as contribuições (%) das raízes e da parte acima do solo ao peso total da árvore.	60
Quadro 5.6	Estimativa de biomassa fresca viva nas parcelas fixas.	61
Quadro 5.7	Composição (%) da biomassa viva acima do solo nas duas capoeiras.	63
Quadro 5.8	Resumo da primária – teores (%) de água das diferentes partes da árvore.	66
Quadro 5.9	Primária - Teor (%) de água em raízes grossas tiradas em alturas diferentes (base – 0%, meio – 50% e topo – 100%).	67
Quadro 5.10	Primária - Teor (%) de água na biomassa acima do nível do solo (aérea) – tronco.	68
Quadro 5.11	Primária - Teor (%) de água na biomassa acima do nível do solo (aérea) – galho grosso.	69
Quadro 5.12	Teores (%) de água em capoeiras.	71
Quadro 5.13	Teores de carbono em floresta primária.	72
Quadro 5.14	Estatística dos dados utilizados no desenvolvimento de equações alométricas.	74
Quadro 5.15	Resumo das equações testadas para a biomassa acima do solo em floresta primária.	76

Quadro 5.16	Análise de Variância de Regressão - Biomassa acima do solo – Primária.	77
Quadro 5.17	Resumo das equações testadas para a biomassa de raízes grossas em floresta primária.	80
Quadro 5.18	Análise de Variância de regressão – biomassa de raízes grossas – floresta primária.	81
Quadro 5.19	Resumo das equações testadas para a biomassa total (aérea + raízes) em floresta primária.	84
Quadro 5.20	Análise de variância de regressão – biomassa total (aérea + raízes grossas) – floresta primária.	85
Quadro 5.21	Resumo das equações testadas para a biomassa acima do solo em capoeiras.	90
Quadro 5.22	Análise de variância de regressão – biomassa aérea – capoeira de 14 anos.	91
Quadro 5.23	Análise de variância de regressão – biomassa aérea – capoeira de 23 anos.	92
Quadro 5.24	Resumo das equações testadas para a biomassa de raízes grossas em capoeiras (14+23).	93
Quadro 5.25	Análise de variância de regressão – biomassa de raízes – capoeiras (14 e 23 anos).	93
Quadro 5.26	Fatores de correções para modelos logarítmicos em diferentes categorias de biomassa.	98
Quadro 5.27	Aplicação dos modelos desenvolvidos na ZF-2 em 10 conjuntos de dados (100 de 127) selecionados aleatoriamente do sítio de Tomé-Açu (TA) – diferenças (em %) entre os valores estimados e observados.	100
Quadro 5.28	Confiabilidade de modelos para as capoeiras de 14 e 23 anos – diferença (%) entre o valor estimado e o valor verdadeiro.	101
Quadro 5.29	Erros (%) associados aos diferentes modelos aplicados em diferentes conjuntos de dados de biomassa acima do solo da floresta primária.	103
Quadro 5.30	Custos de coleta de biomassa acima do solo e de raízes em quadrados de 100 m ² – apenas trabalhos de campo em floresta primária.	105
Quadro 5.31	Custos de coleta de apenas biomassa acima do solo em quadrados de 400 m ² – apenas trabalhos de campo em floresta primária.	105

Quadro 5.32	Custo de coleta de dados de inventários florestais (IF) comerciais realizados pelo INPA em diferentes sítios no Estado do Amazonas.	106
Quadro 5.33	Comparação entre tempo de coleta (em minutos) por 100 m ² de biomassa (total e aérea) – método direto (destrutivo) e de inventário florestal comercial – método indireto, em floresta primária.	107
Quadro 5.34	Incrementos periódicos em biomassa acima do solo (peso fresco em t/ha) de diferentes tratamentos de um experimento de manejo florestal, nos períodos de 1990 a 1995, 1995 a 2000 e de 2000 a 2005. Incremento líquido incluindo balanço entre entrada via recrutamento e saída via mortalidade.	109
Quadro 5.35	Decomposição do incremento líquido (peso fresco em t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹) por tratamento dentro dos períodos observados.	112
Quadro 5.36	Biomassa (t/ha por período de 5 anos) acumulada via recrutamento e perda via mortalidade – Testemunha (T0).	113
Quadro 5.37	Biomassa (t/ha por período de 5 anos) acumulada via recrutamento e perda via mortalidade – Corte leve (T1).	113
Quadro 5.38	Biomassa (t/ha por período de 5 anos) acumulada via recrutamento e perda via mortalidade – Corte intermediário (T2).	114
Quadro 5.39	Biomassa (t/ha por período de 5 anos) acumulada via recrutamento e perda via mortalidade – Corte pesado (T3).	114
Quadro 5.40	Matriz (A) => transição do estado <i>i</i> para o estado <i>j</i> durante o período de 1995 e 2000.	116
Quadro 5.41	Matriz B (B1 e B2) – transição probabilística do estado <i>i</i> para o estado <i>j</i> durante o período de 1995 e 2000.	117
Quadro 5.42	Matriz C ou [B] ² – transição probabilística dois passos adiante, até 2005.	118
Quadro 5.43	Matriz D–Cálculo das frequências esperadas de cada classe ou estado.	119
Quadro 5.44	Frequências esperadas (E) para 2005 incluindo ajustes feitos para o recrutamento (R).	120
Quadro 5.45	Comparação entre frequências observadas (O) e esperadas (E) em 2005 – base hectare.	121

Resumo

A floresta desempenha um papel ambíguo no balanço de carbono trocado entre biosfera e atmosfera. Às vezes é fonte de gases de efeito estufa durante o processo de uso alternativo do solo. Outras vezes é sumidouro quando está sob manejo florestal ou mesmo em condições naturais. Depois da divulgação do 4º Relatório de Avaliação do IPCC, todas florestas ganharam destaques, em especial, a floresta amazônica. Em qualquer situação, é necessário dispor de métodos, confiáveis e passíveis de auditoria, para estimar os estoques de carbono da floresta e as diferenças com o passar do tempo. Este trabalho foi desenvolvido sob esta questão de fundo utilizando, como área demonstrativa, o experimento de manejo florestal do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, na região de Manaus, Amazonas. Foram utilizados os seguintes arquivos de dados: peso fresco da parte aérea da floresta primária ($n = 494$), peso fresco de raízes grossas da primária ($n = 131$), peso fresco da parte aérea de capoeiras ($n = 252$ de 14 anos e $n = 341$ de 23 anos), peso fresco de raízes de capoeiras ($n = 65$) e 12 parcelas permanentes de 1 ha cada de uma área manejada sob diferentes intensidades de corte, desde 1987. As hipóteses foram levantadas tanto para os modelos alométricos, como também para as diferentes relações dendrométricas e dinâmica da floresta. O peso fresco total (parte aérea + raízes grossas) pode ser estimado utilizando os seguintes modelos alométricos para floresta primária: $PF = 2,7179 * DAP^{1,8774}$ ($r^2 = 0,94$ e $s_{y,x} = 3,9\%$) e $PF = 0,5521 * DAP^{1,6629} * HT^{0,7224}$ ($r^2 = 0,95$ e $s_{y,x} = 3,7\%$). Foram desenvolvidos também modelos para diferentes componentes de biomassa, tanto para a floresta primária, como para duas capoeiras de 14 e 23 anos de idade. Os teores de água e de carbono foram bem consistentes confirmando, em parte, as informações contidas na literatura. Em floresta primária, por exemplo, os teores médios ponderados de água e carbono foram 41,6% (incerteza de 2,8%) e 48,5% (incerteza de 0,9%), respectivamente. O custo médio por árvore para coletar o peso fresco total (aérea e raízes) foi de R\$ 805,00 \pm R\$ 310,00 (IC 95%); e considerando apenas a parte aérea, o custo médio por árvore foi de R\$ 27,00 \pm R\$ 6,00 (IC 95%). Não há necessidade de utilizar a mesma intensidade de amostragem deste trabalho; 100 árvores são suficientes para manter o erro associado à média inferior a 10%. Os incrementos médios em biomassa fresca acima do solo das capoeiras de 14 e 23 anos foram, respectivamente: 10,8 t/ha/ano e 10,6 t/ha/ano. Os incrementos médios anuais de carbono dos tratamentos T_0 (testemunha), T_1 (corte leve), T_2 (corte médio) e T_3 (corte pesado) foram, respectivamente, 0,81 t.ha⁻¹ano⁻¹, 2,22 t.ha⁻¹ano⁻¹, 2,36 t.ha⁻¹ano⁻¹ e 2,39 t.ha⁻¹ano⁻¹. Estes resultados indicam que a ação humana pode melhorar a produtividade da floresta por meio do manejo florestal. A cadeia de transição probabilística de Markov apresentou um bom desempenho para a projeção da distribuição de frequência de diâmetros de área manejada.

Abstract

The forest role in the process of carbon exchange between biosphere and atmosphere is ambiguous. Sometimes it is source of greenhouse gas during land use processes, and it could be a sink under sustainable forest management or even in natural conditions. After the AR4 (IPCC Fourth Assessment Report), the forest role in the global changes processes was highlighted, in special, the Amazonian forest. In any condition, reliable methods are necessary to estimate forest carbon stocks and changes over time; keeping in mind that any method must be subject of auditing process. This work was carried out under this background. The forest management on sustainable yield basis experiment of the National Institute for Research in the Amazon (INPA) was utilized as demonstrative area. This experiment has been carried out since 1980 in Manaus region, Amazonas State. The following data sets were utilized: aboveground fresh weight of primary forest ($n = 494$), belowground – coarse roots - fresh weight of primary forest ($n = 131$), aboveground fresh weight of secondary forests ($n = 252$ from the 14 years old e $n = 341$ from the 23 years old), belowground fresh weight of secondary forests ($n = 65$), 12 permanent sample plots of 1-ha each of a forest managed under four different logging intensities. Scientific hypotheses were tested for different allometric equations, as well as for different dimension relations and for the forest dynamics. The total fresh weight (aboveground + coarse roots) could be estimated using the following models for primary forests: $PF = 2.7179 * DAP^{1.8774}$ ($r^2 = 0.94$ e $s_{y,x} = 3.9\%$) e $PF = 0.5521 * DAP^{1.6629} * HT^{0.7224}$ ($r^2 = 0.95$ e $s_{y,x} = 3.7\%$); where: PF = fresh weight in kg, DAP = DBH in cm, and HT = total height in m. Models for different components of biomass were developed too, either for primary and secondary forests. The results obtained for water and carbon contents were very similar to those found in the literature. For primary forest, for instance, the water and carbon contents averaged 41.6% (uncertainty = 2.8%) and 48.5% (uncertainty = 0.9%), respectively. The costs (running and personnel) for destructively collecting total biomass (aboveground + coarse roots) of an individual tree averaged from R\$ 805.00 \pm R\$ 310.00 (CI 95%) considering only aboveground biomass, averaged from R\$ 27.00 \pm R\$ 6.00 (CI 95%). There is no need to use the same sampling intensity used in this work; 100 trees (samples) are more than enough to keep the standard error of estimate below the limit of 10%. The annual aboveground biomass increment averaged 10.8 t.ha⁻¹.year⁻¹ and 10.6 t.ha⁻¹.year⁻¹ for 14 and 23 years old secondary forests, respectively. The annual aboveground carbon increments for logging treatments T₀ (control), T₁ (light logging), T₂ (medium logging) and T₃ (heavy logging) averaged 0.81 t.ha⁻¹.year⁻¹, 2.22 t.ha⁻¹.year⁻¹, 2.36 t.ha⁻¹.year⁻¹ e 2.39 t.ha⁻¹.year⁻¹, respectively. These results have indicated that the human induced activities could improve the productivity of the forests under sustainable forest management. Markov chain approach has shown a reliable performance in projecting the frequency distribution of diameter in managed forests.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Zianis e Mencuccini (2004), a discussão sobre biomassa florestal esteve ausente nos últimos 30 anos. Agora, por força do debate a respeito do papel das florestas sobre as mudanças climáticas globais, a biomassa florestal volta a desempenhar o seu papel histórico. Nos trópicos, Klinge e Rodrigues (1973), realizaram um dos primeiros trabalhos de biomassa florestal na região de Manaus. Estes autores adotaram metodologia semelhante à que Kira empregou na Malásia em 1971 (Kira, 1987).

Biomassa florestal ou fitomassa é a quantidade, expressa em unidade de massa, do material lenhoso contido em uma unidade de área da floresta (Araújo *et al.*, 1999). Segundo o IPCC (2004), a biomassa deve ser estimada, separadamente, considerando os seguintes componentes: (1) biomassa acima do nível do solo, que inclui tronco, galhos grossos e finos, casca, flores, frutos e folhas; (2) a biomassa abaixo do solo ou biomassa de raízes maiores do que 2 mm em diâmetro de base e (3) biomassa de matéria morta ou necromassa, que são todos os materiais vegetais mortos não contidos na serapilheira, sejam em pé, no chão ou no solo. Usando os teores de água e carbono, a biomassa florestal pode ser transformada em carbono da vegetação, que é a principal variável considerada no jargão de mudanças globais.

Este trabalho de tese aborda esses três componentes da biomassa florestal. Duas frentes foram abertas: desenvolvimento de modelos alométricos e aplicação dos mesmos em parcelas permanentes já existentes para estimar os estoques de biomassa e diferenças de estoques (dinâmica). No caso dos modelos alométricos foram utilizados os arquivos de dados do laboratório de manejo florestal (LMF) do INPA, que foram atualizados (componentes 1 e 2 para florestas primárias e manejadas) ou completados com novas coletas (componentes 1 e 2 de capoeiras e o caso da biomassa de matéria morta). Para a dinâmica de florestas primárias e manejadas foram utilizadas as parcelas permanentes do Projeto Bionte (Higuchi *et al.*, 1997).

As questões de fundo deste trabalho de pesquisa são os compromissos assumidos pelo governo brasileiro, como Protocolo de Quioto (inventário nacional de emissões, coordenado pelo Painel Intergovernamental sobre mudança do clima - IPCC) e com a Organização para a Agricultura e Alimentação da ONU – FAO (Avaliação dos Recursos Florestais – FRA 2005, por exemplo). Para o inventário de emissões, os resultados desta pesquisa poderão ser utilizados como “categoria 2” ou “*tier 2*” do guia de boas práticas do IPCC (V. item 4.1). Da

mesma maneira, para os próximos FRAs, os resultados serão úteis para corrigir as estimativas realizadas para 2005 e padronizar a metodologia para o futuro. Para isso, são necessárias estimativas confiáveis de áreas de florestas e outros tipos de áreas cobertas por florestas; estimativas de estoques de biomassa e mudanças de estoques com o passar do tempo e modelos para extrapolação.

As questões que envolvem determinação de áreas florestais poderão ser resolvidas da seguinte maneira: como marco inicial, as informações fornecidas por Skole e Tucker (1993) devem ser tomadas, sendo completadas com o monitoramento anual do desflorestamento da Amazônia realizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Sobre os outros tipos de áreas cobertas por florestas, que são as capoeiras da Amazônia, as estimativas das áreas podem ser obtidas cruzando as informações de desflorestamento do INPE e as de “área em uso” do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

As estimativas de biomassa, atualmente, disponíveis na literatura, dos diversos tipos florestais da Amazônia, vêm de estudos que utilizam métodos diretos e indiretos. O consenso existente entre os grupos de pesquisadores que trabalham com biomassa é de que é impossível estimar a biomassa acima do nível do solo na Amazônia por meio do método direto, daí a necessidade de aprimorar os métodos indiretos para se chegar a uma estimativa confiável. O ideal é desenvolver um modelo estatístico para cada tipo florestal e para cada sítio, sendo que, para o estudo de mudanças climáticas, é aconselhável priorizar as áreas de maior intervenção humana (Higuchi e Carvalho Jr., 1994). Por essa razão, os recursos da análise de regressão para o desenvolvimento de modelos estatísticos, para estimar a biomassa de árvores em pé, devem ser empregados para superar este problema.

A questão da biomassa acima do nível do solo está praticamente resolvida com os modelos estatísticos existentes, que são bastante consistentes e precisos para estimar a biomassa individual de espécies florestais da Amazônia. Os teores de água e de carbono na árvore e em seus vários compartimentos (tronco, galho grosso, galho fino, folha e flor/fruto) também estão disponíveis (Higuchi e Carvalho Jr., 1994). As raízes finas (diâmetro de base menor que 2 mm) também já têm metodologias definidas e há também estimativas para diferentes pontos da Amazônia (Guimarães e Mello-Ivo, 1997). Da mesma forma, as estimativas do estoque de carbono do solo amazônico estão disponíveis na literatura (Moraes *et al.*, 1995).

Estão faltando modelos para estimar a biomassa de raízes grossas (diâmetro de base maior ou igual a 2 mm), para completar os estudos de biomassa florestal (estoques acima e abaixo do nível do solo). O arquivo de dados de raízes grossas do LMF está, parcialmente, completo faltando apenas informações sobre as árvores que ocorrem em baixios. Usando as informações já existentes de teores de água e carbono, pode-se estimar o peso seco e o estoque de carbono de árvores individuais e do povoamento florestal. Com isso pode-se estimar o estoque de biomassa e carbono das florestas da região e, associando-se às observações em diferentes ocasiões (parcelas permanentes), pode-se, então, estimar as mudanças em estoque com o passar do tempo.

Além disso, é preciso completar o arquivo de dados de biomassa de capoeiras, acima e abaixo do nível do solo. Neste tipo florestal, foram desenvolvidos modelos alométricos específicos para capoeiras sem discriminar as espécies. Foram testados modelos de simples entrada (DAP) e de dupla entrada (DAP e altura total), os quais foram confrontados com os modelos de Nelson *et al.* (1999).

Com a verdade de campo sobre biomassa acima do solo e de raízes grossas, foram produzidas tabelas contendo as estimativas dos estoques de biomassa e carbono, assim como as mudanças de estoques. As estimativas foram obtidas para os diferentes componentes (biomassa acima do nível do solo, biomassa de raízes e necromassa). Foi também produzida uma tabela para cada ocasião monitorada e para cada tipo florestal (floresta primária, floresta manejada e capoeiras de diferentes idades). Essas tabelas podem ser utilizadas como bases para realizar as projeções da dinâmica florestal. Essas informações são fundamentais para alimentar os modelos estocásticos, determinísticos e mistos (estocásticos + determinísticos), que incorporados ao sistema de informações geográficas, poderão ser utilizados nos inventários de carbono como *tier 3* (V. item 3.1).

Dessa forma, este estudo pode contribuir, efetivamente, com o guia de boas práticas do IPCC e com o FRA (Forest Resources Assessment) da FAO. Depois disso, o carbono poderá ser usado como mercadoria a ser negociada sob o Protocolo de Quioto e transformar-se em importante valor agregado para viabilizar o manejo florestal na Amazônia brasileira. Talvez, seja este o principal alvo deste trabalho, ou seja, viabilizar o manejo florestal tornando-o mais competitivo em relação às outras formas de uso do solo amazônico. Trata-se de uma aposta na conservação dos recursos florestais contra o desmatamento.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral:

Avaliar a dinâmica de diferentes tipos florestais em relação à biomassa florestal de diferentes compartimentos (acima do nível do solo, raízes e da necromassa).

2.2. Específicos:

Complementar os arquivos de dados de biomassa acima do nível do solo e de raízes grossas e produzir modelos alométricos atualizados;

Desenvolver modelos alométricos para espécies florestais em capoeiras;

Aplicar os modelos alométricos em parcelas permanentes em diferentes tipos florestais (floresta primária, floresta manejada e capoeiras);

Montar matrizes de transição probabilística para projetar a dinâmica da floresta

Desenvolver modelos para projeções da dinâmica florestal.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A floresta amazônica é formada por um conjunto de ecossistemas que, ao longo do seu desenvolvimento sócio-econômico, vem sofrendo grandes pressões ambientais. As principais pressões são: exploração desordenada de madeira e expansão dos sistemas agrícolas e outras formas do uso do solo (Furtado, 1997). A mudança no uso do solo, principalmente, a conversão da floresta para uso agrícola, representam a liberação dos estoques de carbono contidos na vegetação e no solo para atmosfera (Fearnside, 1996).

Este panorama tem chamado atenção e despertado o interesse da sociedade científica para desenvolver pesquisas que possam mitigar os efeitos nocivos das ações antrópicas, bem como criar estratégias para o uso e manejo dos recursos naturais de forma sustentável (Viana *et al.*, 2003). De acordo com estatísticas do INPE (2004), até 2003, 14,9% da cobertura original de floresta densa na Amazônia já estavam desmatadas, isto é, 627.714 km² destruídos de um total de 4.195.660 km² de cobertura florestal. Porto (2001) argumenta que as áreas, recentemente, exploradas não aparecem nas estatísticas de desmatamento, sinalizando que a tendência desse índice é aumentar com o passar do tempo. Laurance *et al.* (2001) destacam que em, aproximadamente, 20 anos, a floresta amazônica estará degradada se nada for feito.

Dentre os Estados amazônicos, o Amazonas tem apresentado as menores taxas de desmatamento nos últimos 20 anos. O fato de ter a menor área desmatada, do ponto de vista relativo, o Amazonas pode credenciar-se para liderar a discussão em torno do tema “antecipação da escassez.” Para isto, o Estado precisa estar preparado para recuperar as áreas já desmatadas e ter conhecimento suficiente para propor planos de utilização, conservação e preservação de seus recursos florestais primários.

Diante da quantidade de recursos naturais e, atualmente, das pressões ambientais que esse ambiente sofre, a Amazônia é um dos maiores desafios para a ciência florestal, no que concerne o seu aproveitamento em bases sustentáveis. Portanto, é de fundamental importância que esses recursos sejam utilizados diante de princípios do manejo florestal sustentável, com abordagens técnica, social, econômica e ecológica.

Estudos básicos que auxiliam e asseguram o manejo florestal sustentável, têm evoluído, consideravelmente, em todo o cenário mundial. Apesar de toda evolução (no que se refere à realidade amazônica), há carência de técnicas básicas para estimar, precisamente, a

biomassa individual de árvores em pé. Na Amazônia brasileira, por exemplo, só há verdades de campo para biomassa apenas em dois sítios. Não há registros de informações sobre intensidade de amostragem para o desenvolvimento de modelos alométricos e nem de custos de coletas para a verdade de campo.

De acordo com Higuchi (2001), as estimativas de biomassa florestal são informações imprescindíveis nas questões ligadas, entre outras, às áreas de manejo florestal e de clima. No primeiro caso, a biomassa está relacionada com os estoques de macro e micro nutrientes da vegetação, que são obtidos pelo produto da massa pelos teores de cada mineral. No caso do clima, a biomassa é usada para estimar o balanço de carbono da interação biosfera-atmosfera.

As interações existentes entre floresta e clima comprovam que a floresta tem um importante papel no processo de transformação da própria floresta em outras formas de uso do solo, atuando assim, como “fonte” de carbono e como “sumidouro” no processo de fixação de carbono na árvore (Higuchi, 2001). Dentre as informações geradas, quantificar a biomassa e, conseqüentemente, o carbono fixado e emitido podem oferecer um importante suporte para tomada de decisões relacionadas a sustentabilidade da floresta (Carvalho,1997).

A região tropical mundial abrange cerca de 1,5 bilhão de hectares, aproximadamente, 12% da superfície terrestre (MacDicken,1990) e abriga em torno de 50% das florestas do mundo (UNESCO,1978), entre elas a floresta amazônica, que representa 30% do estoque de carbono de vegetação em pé no mundo. Os processos associados com o acúmulo de carbono no sistema podem ser sensíveis às variações topográficas e edáficas (Luizão *et al.*, 2004; Silver *et al.*, 2000). Estudos de Chauvel *et al.* (1997) na Amazônia Central, comprovam que a variação topográfica está fortemente relacionada à textura do solo estabelecendo também significativa relação com a variação da estrutura da floresta e ocorrência de espécies.

As informações a respeito da distribuição das espécies e as diferenças e semelhanças entre os distintos lugares na Amazônia representam uma parcela de colaboração muito importante para definir estratégias de conservação dos recursos naturais em direção ao desenvolvimento sócio-econômico da região. Contudo, a Amazônia é uma das poucas reservas naturais que ainda detém os maiores níveis de biodiversidade do mundo, sendo que para a maioria dos grupos de organismos vivos, as estimativas obtidas até hoje, são pouco confiáveis, em relação ao número exato de espécies presentes na região; por esta razão, as atividades de manejo direcionadas à Amazônia precisam ser respaldadas no conhecimento de seus ecossistemas, contribuindo assim para a valoração, conservação e uso racional de sua riqueza florestal.

3.1. Aspectos legais das questões climáticas: Convenção do Clima e Protocolo de Quioto – sites principais: www.mct.gov.br e www.ipcc.ch

As questões climáticas globais, na forma de política internacional, foram tratadas formalmente, na Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, que foi assinada durante a Rio-92, em 1992, no Rio de Janeiro. O desdobramento da Convenção é o Protocolo de Quioto, que foi assinado em 1997, no Japão. O Secretário Geral da ONU é o fiel depositário da Convenção e do Protocolo. O IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima), subordinado a Organização Mundial de Meteorologia e Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, é o braço científico dos dois instrumentos. A COP (Conferência das Partes), com apoio do SBSTA (Corpo Subsidiário para Aconselhamentos Científico e Tecnológico) é a última instância dos dois instrumentos. Uma Parte da Convenção ou do Protocolo pode ser uma simples nação como EUA, como um grupo de nações como a Comunidade Européia.

O objetivo superior da Convenção é estabilizar as concentrações de gases de efeito estufa (GEE) aos níveis que impeçam que as atividades humanas afetem perigosamente o sistema climático global. No Brasil, a Convenção foi ratificada pelo Senado da República e publicada no DOU de 04/02/1994 - Seção - Decreto Legislativo nº 01; sendo, desde então, uma lei brasileira.

De acordo com a Convenção, os países desenvolvidos (PDs) teriam que reduzir, em 2000, os níveis de emissão de GEEs (especialmente CO₂), com base nas emissões de 1990. Como isso não aconteceu, na 3ª COP da Convenção, em Quioto (Japão), foi assinado o Protocolo de Quioto, para forçar o cumprimento dos compromissos assumidos durante a Rio-92. O Protocolo estabeleceu limites de emissões de GEEs para 38 PDs¹, chamados de “Partes do Anexo B.” As Partes aceitaram metas variadas baseadas no princípio da “diferenciação,” que reconhece que alguns países são mais capazes de reduzir suas emissões do que outros, na maneira como eles produzem e usam energia, no acesso às tecnologias limpas e aos seus níveis de poluição, entre outros numerosos fatores.

¹ Anexo B: países do G-8, Austrália, Áustria, Bélgica, Bulgária, Croácia, Rep. Checa, Dinamarca, Estônia, Finlândia, Grécia, Hungria, Irlanda, Letônia, Liechtenstein, Lituânia, Luxemburgo, Mônaco, Países Baixos, Nova Zelândia, Noruega, Polônia, Portugal, Romênia, Eslováquia, Eslovênia, Espanha, Suécia, Suíça e Ucrânia.

O cronograma das metas de emissões é o seguinte: a média do período 2008-2012 será comparada com a emissão de 1990. Exemplo: os EUA têm que reduzir em média 7% durante o período de 2008-2012, em relação àquilo que eles emitiram em 1990. Em geral, os PDs diminuirão as emissões, em média 5,2% durante o período comprometido, em relação às emissões de 1990. O Protocolo introduziu também medidas adicionais que encorajam a inclusão dos países em desenvolvimento (PEDs), ao Anexo B, bastando adotar os limites de emissões, fazer os seus inventários de estoques e seus relatórios de emissões e definir programas nacionais para mitigar e adaptar à mudança climática.

Para a sua implementação, o Protocolo incluiu três mecanismos de flexibilização para atender as metas estabelecidas, que são: (1) comércio de emissões (bônus) – troca de Carbono emitido por Carbono não emitido (2) implementação conjunta – projetos de redução ou de seqüestro de Carbono; e (3) Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Os dois primeiros deverão ser implementados entre países do Anexo B. O MDL foi designado para ajudar os países não incluídos no Anexo B, a buscar o desenvolvimento sustentável e para contribuir com o objetivo superior da Convenção, assim como, para apoiar os países do Anexo B na flexibilização da busca de suas limitações quantificadas de emissões e reduções comprometidas.

Em 1999, o Governo brasileiro criou a Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima, tendo os Ministros da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente, respectivamente como presidente e vice da mesma. Entre as várias finalidades da Comissão, existem: (i) definir critérios de elegibilidade adicionais àqueles considerados pelos Organismos da Convenção, encarregados do MDL, conforme estratégias nacionais de desenvolvimento sustentável; e (ii) apreciar pareceres sobre projetos que resultem em redução de emissões e que sejam considerados elegíveis para o MDL e aprová-los, se for o caso.

As Partes do Anexo B terão 2 opções para adquirir redução por meio do MDL. Primeiro, o MDL estende-se a “implementação conjunta” aos PEDs permitindo às Partes do Anexo B ganhar crédito em direção as suas metas de emissões pela parceria com um PED, num projeto para reduzir emissões neste PED. Exemplo: uma Parte do Anexo B pode adquirir reduções ao ajudar um PED distribuir energia solar aos cidadãos que de alguma forma dependem de combustíveis poluentes para a produção de energia. Segundo, as Partes do Anexo B poderão comprar reduções diretamente do MDL. Neste caso, os PDs podem financiar projetos para reduzir emissões nos PEDs, assistir as nações ameaçadas pelos impactos das mudanças climáticas e pagar custos administrativos. O MDL também cria um

significante incentivo para ações antecipadas permitindo às Partes do Anexo B a contar reduções adquiridas através do MDL já a partir de 2000.

As florestas, agricultura e outros sistemas, que podem absorver e armazenar carbono, são chamados de “sumidouros”. O Protocolo reconhece a importância deles ao incluir a preservação e desenvolvimento de “sumidouros” como passos que uma Parte do Anexo B pode tomar para alcançar a sua meta de emissões. Enquanto que a inclusão de “sumidouros” pode ter um impacto positivo sobre a proteção da atmosfera e das florestas, a linguagem do Protocolo é ambígua e cria tanto incentivos como desincentivos ao manejo florestal sustentável. Em particular, o Protocolo poderia promover a exploração (talvez, a eliminação) de floresta madura, em favor de outros tipos de uso do solo (reflorestamento ou manejo de capoeiras) que podem sequestrar CO₂. As Partes concordaram em resolver esta ambigüidade desenvolvendo manuais para avaliação de sumidouros.

Por conta disso, o IPCC preparou o Relatório Especial para subsidiar a COP na tomada de decisões quanto às questões relacionadas com estoques e mudanças de estoques de Carbono, mais precisamente sobre os artigos 3.3 (atividades relacionadas com florestamento, reflorestamento e desmatamento) e 3.4 (atividades adicionais induzidas por ações antrópicas) do Protocolo. O Relatório iniciou-se em janeiro/99 e foi submetido para aprovação durante a XVI Plenária do IPCC, em maio/2000, em Montreal, Canadá. Este relatório, entre outras coisas, aborda as implicações de diferentes definições, métodos de avaliação de emissão e sequestro de C e questões relacionadas com a contabilidade dos negócios com o C. Na COP 6.5 (Bonn, julho/2001) ficou acordado que reflorestamento e florestamento entram no MDL e o manejo florestal ficou pendente. Na COP 7 (Marraqueche, novembro/2001), manejo florestal não aparece no MDL.

As metodologias no Guia de Boa Prática 2003 (em particular, no Capítulo 3, denominado Guia de Boa Prática para o Setor Uso da Terra e Floresta – *LUCF Sector Good Practice Guidance*) são organizadas por categoria de uso da terra (seis seções), por grandes reservatórios de carbono, gases não-CO₂ e por *tier* (categorias).

A abordagem *tier 1* emprega o método básico contido no Guia Revisado do IPCC e os fatores de emissão *default* contidos no Guia IPCC 1995, com atualizações apresentadas no Guia de Boa Prática 2003. As metodologias *tier 1* normalmente utilizam dados de atividade que são espacialmente grosseiros, tais como estimativas nacionais ou globais de taxas de desflorestamento, estatísticas de produção agrícola e mapas globais de cobertura da terra.

O *tier 2* pode utilizar a mesma abordagem metodológica do *tier 1*, mas aplica fatores de emissão e dados de atividade que são definidos pelo país para as atividades e usos da terra mais relevantes. O *tier 2* pode também aplicar metodologias para estimativas de mudanças no estoque de carbono baseadas em dados específicos do país. Normalmente os dados de atividade têm melhor resolução do que os utilizados no *tier 1*.

No *tier 3*, métodos de mais alta ordem são utilizados, incluindo modelos e sistemas de mensuração para inventários, adaptados para as circunstâncias nacionais, repetidos no tempo e baseados em dados de atividade de alta resolução e desagregados em escala sub-nacional até malhas finas.

3.2. Biomassa acima do nível do solo

As estimativas de biomassa, atualmente disponíveis na literatura, dos diversos tipos florestais da Amazônia, vêm de estudos que se utilizam métodos diretos e indiretos. O método direto consiste na derrubada e pesagem de todas as árvores que ocorrem em parcelas fixas, fornecendo estimativas, que segundo Brown *et al.* (1989), não são confiáveis porque se baseiam em poucas parcelas, pequenas e tendenciosamente escolhidas. No método indireto, as estimativas têm sido produzidas a partir de dados de inventários florestais, que foram executados com a finalidade de planejar a exploração e o manejo florestal, sendo o volume da madeira, a principal variável. Neste método, a biomassa é estimada a partir do volume da madeira, usando-se a densidade média da madeira e um fator de correção para árvores com DAP < 25 cm.

Estes dois métodos geraram muita polêmica e controvérsias e produziram estimativas desconstruídas, mesmo quando se usou o mesmo banco de dados (Fearnside *et al.*, 1993, Brown *et al.*, 1989, Higuchi *et al.*, 1994 e Foster Brown *et al.*, 1995). Foram produzidas estimativas diferentes, com o passar do tempo, pelos mesmos autores e para o mesmo banco de dados (montado nos anos 70). Além disso, Foster Brown *et al.* (1995) criticam esses bancos de dados, afirmando que as alturas das árvores foram obtidas sem aparelhos de medição e que, esses erros não-amostrais não são mencionados.

O consenso existente entre os pesquisadores que trabalham com biomassa é de que é praticamente impossível determinar a biomassa de cada árvore, pelo método direto, ao executar um inventário florestal. Por esta razão, os recursos da análise de regressão para o desenvolvimento de modelos estatísticos, para estimar a biomassa de árvores em pé, devem ser empregados para superar este problema.

Salomão *et al.* (1996) citam apenas dois modelos estatísticos utilizados na Amazônia; um proposto por Sandra Brown e colaboradores e, outro, proposto por Christopher Uhl e colaboradores. O primeiro requer o conhecimento da densidade da madeira de cada indivíduo, que é praticamente impossível obtê-la durante o inventário e o segundo, é recomendado para florestas secundárias. Além desses, há o modelo de Overman *et al.* (1994), para a floresta amazônica colombiana, desenvolvido principalmente para árvores de pequenos diâmetros. Para a região de Manaus, há o modelo de Higuchi *et al.* (1998) que já foi validado em Tomé-açu (PA) por Araújo *et al.* (1999).

3.3. Biomassa de raízes grossas

Nos trópicos úmidos, há poucos estudos com biomassa de raízes grossas e esses poucos utilizam parcelas fixas para estimar a biomassa. Ainda não há na literatura, modelos alométricos para estimar de forma indireta a biomassa de raízes grossas de regiões tropicais. Para a região de Manaus, a única estimativa de biomassa de raízes grossas vivas é de Klinge (1973), que corresponde a 54 t/ha. Há também algumas estimativas fornecidas por Fearnside (1994), produzidas a partir de fatores de correção, para as regiões de Manaus (AM), Jari (PA) e Paragominas (PA), que são 122, 57 e 45 t/ha, respectivamente.

Trabalhos de Nepstad *et al.* (1994) e Canadell *et al.* (1996) indicam que, exceto raízes pivotantes que podem atingir até 8 m, o sistema radicular não é muito profundo e poucas raízes são encontradas abaixo de um metro. A principal zona de enraizamento são os 30-40 cm superficiais do solo (Jackson *et al.*, 1996).

3.4. Biomassa de capoeiras

Segundo Brown e Lugo (1990), mais de 30% das “florestas” (conceito FAO), são florestas em regeneração ou capoeiras. Na Amazônia brasileira, 47% da área desmatada até 1996, não estavam “em uso”, sendo, portanto, qualificada como capoeiras (Higuchi *et al.*, 2003). Lima (2001), após uma revisão compreensiva da literatura, também concluiu que as áreas de capoeiras no mundo tropical são significantes e desempenham papéis importantes nas trocas gasosas entre a biosfera e a atmosfera.

Os estudos de Salomão *et al.* (1996), as estimativas de biomassa de capoeiras de 5, 10 e 20 anos são, respectivamente 13, 44 e 81 t/ha. Em pastagens abandonadas de Paragominas (PA), as estimativas variam de 0,2 a 74 t/ha, de acordo com a intensidade de uso do solo (Uhl *et al.*, 1988). Na área de estudo, em 2001, as estimativas para capoeiras de 6, 10 e 25 anos foram, respectivamente, 26, 56 e 110 t/ha (Lima, 2001).

3.5. Incertezas:

O novo guia do IPCC, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (IPCC, 2006), devota um capítulo inteiro com 66 páginas para definir incerteza (“uncertainty”). Para inventários de projetos sob a chancela do Protocolo de Quioto, o tamanho da incerteza associada à média estimada é tão importante quanto a própria média. Segundo este guia, incerteza é a falta de conhecimento do valor verdadeiro de uma variável. Isto pode ser expresso por meio de uma função de densidade probabilística caracterizando a amplitude e a similaridade dos possíveis valores. A incerteza depende da qualidade e da quantidade de dados utilizados, assim como dos processos de coletas e de inferências.

Da estatística básica (Weiss e Hassett, 1982), os dados distribuídos normalmente estão: (i) 68,27% entre mais ou menos 1 desvio padrão da média; (ii) 95,45% entre mais ou menos 2 desvios e (iii) 99,73% entre mais ou menos 3 desvios. O multiplicador exato do desvio padrão da média para os níveis arredondados de 95 ou 99% pode ser encontrado ao integrar a função de densidade probabilística até estes pontos sob a curva normal padrão. Dependendo da intensidade de amostragem, o valor é t (pequenas amostras, $n < 30$) ou z (grandes amostras, $n \geq 30$). No guia do IPCC, o multiplicador é 2 para o nível de 95% ou 3 para o nível de 99%, independentemente, da intensidade de amostragem.

Foster Brown *et al.* (1995), na área da Hidrelétrica de Samuel, em Rondônia, trabalharam com a questão de incerteza das estimativas de biomassa na Amazônia. A abordagem dos autores, sobre os problemas em estimar a biomassa, é bem compreensiva. No entanto, a qualidade e a quantidade dos dados são questionáveis. O peso do tronco foi obtido por amostragem de toras (cilindros de, no máximo, 50 kg), cujas dimensões e massa foram usadas para determinar a densidade média da massa; este valor foi usado para transformar as medições de volume em biomassa das demais toras. No total, foram “estimados” pesos de 8 árvores com DAP variando 17,8 a 89 cm. Os resultados obtidos com os modelos alométricos testados foram excelentes; um modelo apresentou $r^2 = 0,996$.

Estudo similar foi realizado na floresta nacional de Tapajós, no Pará (Keller et al., 2001), em um levantamento florestal de 392 ha de indivíduos com DAP ≥ 35 cm. As frequências das classes de diâmetros (DAP) inferiores até 15 cm foram estimadas utilizando o quociente de Liocourt. A biomassa foi estimada pelo produto da frequência e o peso da árvore no ponto médio da classe. Foram aplicados 4 modelos alométricos, todos de simples entrada (apenas o DAP como variável independente). Neste caso, não existe nenhum valor verdadeiro de biomassa.

Nos dois casos, a questão central é a confiabilidade ou a adequação dos modelos, mas não a incerteza das estimativas. Da mesma forma, o valor verdadeiro (“true value”) foi estimado ou não existe. Sem o valor verdadeiro, não se pode, sequer, afirmar se os modelos são confiáveis ou adequados e se estão sobre ou subestimando a variável de interesse.

3.6. Alometria

No jargão de mudanças climáticas globais, as equações de regressão são chamadas de equações alométricas. Alometria é composta das palavras *allos* (outra) e *metron* (medida), ambas em grego (Niklas, 1994). É o estudo das variações das formas e dos processos dos organismos e tem dois significados: (i) o crescimento de uma parte do organismo em relação ao crescimento do organismo inteiro ou de parte dele e (ii) o estudo das conseqüências do tamanho sobre as formas e os processos. No jargão florestal, é o estudo da biomassa (todo) em função de partes do todo (DAP, altura total e altura comercial).

O diâmetro à altura do peito (DAP) é uma variável que tem demonstrado, em qualquer situação ou bioma, correlação positiva e significativa com o peso da árvore. A altura total é uma variável que, segundo Loetsch *et al.* (1973) caracteriza o sítio em que a floresta se desenvolve. A presença desta variável no modelo é fundamental quando o mesmo é utilizado para estimar estoques de biomassa em regiões afastadas de sua origem (dos dados). A altura comercial é o comprimento do tronco que vai da base até a primeira inserção significativa de galhos. Esta variável não é tão biológica quanto a total, mas pode ser um diferenciador importante entre árvores com o mesmo DAP. Esta altura é mais fácil de ser medida no campo do que a total.

3.6.1. Modelos alométricos:

Os modelos utilizados para descrever o relacionamento entre biomassa e as variáveis independentes da árvore são originados dos modelos para volume de madeira (Santos, 1996, Higuchi *et al.*, 1998 e Araújo *et al.*, 1999). Estes modelos têm produzido resultados satisfatórios, com coeficiente de determinação (r^2) sempre superior a 0,95. As variáveis independentes mais utilizadas são diâmetro à altura do peito (DAP) e altura total. Há autores que defendem a inclusão da densidade da madeira como variável independente (Overman *et al.*, 1994 e Chave *et al.*, 2005). A questão que emerge é sobre a relação benefício-custo ao introduzir esta variável a um modelo que apresenta $r^2 = 0,95$.

Dependendo do número de variáveis independentes, o modelo pode ser simples ou múltiplo e, dependendo da natureza das equações, podem ser lineares e não lineares. Em

geral, os modelos não lineares são linearizados utilizando-se da transformação em logaritmo (natural ou base 10). Furnival (1961), Sprugel (1983) e Santos (1996) apresentam fórmulas para correções do erro padrão de estimativa, principalmente, quando se querem comparar modelos logarítmicos e não logarítmicos.

West *et al.* (1999) apresentam o seguinte modelo alométrico para biomassa

$$M = a D^b$$

onde: M = massa seca acima do solo; D = DAP; a = coeficiente de escala e b = expoente da escala. Este modelo é baseado na teoria da distribuição de recursos por meio do conjunto de galhos hierárquicos das plantas vasculares. O pressuposto deste modelo é que as variações relacionadas com tamanho podem ser caracterizadas por este modelo com um expoente universal, que são simples múltiplos de ¼. Segundo Pilli *et al.* (2006), o expoente universal pode assumir diferentes valores de acordo com os estágios das plantas.

Entretanto, Kozłowski e Konarzewski (2004) consideram que este modelo não tem fundamentação biológica e nem matemática. De outro lado, Zianis e Mencuccini (2004) e Pilli *et al.*, (2006) simularam diferentes expoentes e aplicaram sobre o modelo original em diferentes tipos florestais e concluíram que o modelo é confiável, mas sem o expoente universal. Os argumentos em favor do modelo de West, Brown e Enquist estão relacionados com a eliminação do método destrutivo.

O modelo de West, Brown e Enquist tem sido, amplamente, utilizado em alometria de biomassa de árvores. Na realidade, este modelo tem sido linearizado utilizando-se do logaritmo natural para a transformação dos dados. O modelo assume, então, a seguinte forma

$$\ln PF = a + b \ln D$$

sendo PF = peso fresco em kg, em vez de M e D = DAP em cm (Santos, 1996 e Higuchi *et al.*, 1998).

3.7. Intensidade de amostragem e custos de coletas de dados para as equações de biomassa:

No planejamento de inventários florestais, o profissional tem duas alternativas: fixa o custo do trabalho ou a precisão. Em geral, os inventários são realizados com a fixação dos custos e a precisão é estimada após os trabalhos de campo. Segundo Péllico Netto e Brena (1997) e Sanquetta *et al.* (2006), o limite de erro para inventários florestais é de 10%. A

intensidade de amostragem é calculada de acordo com o limite de erro fixado. Quando o custo é fixo, o processo é inverso.

Nos livros clássicos de inventário florestal e de dendrometria não há fórmulas para cálculo da intensidade de amostragem para as equações alométricas para volume ou biomassa (Husch *et al.*, 1972; Loetsch *et al.*, 1973; Péllico Netto e Brena, 1997, Campos e Leite, 2002; Machado e Figueiredo Filho, 2003 e Sanquetta *et al.*, 2006). Da mesma maneira, não há informações sobre custos de coletas. A falta deste tipo de informação pode desestimular a busca da verdade de campo para o desenvolvimento de modelos alométricos.

3.8. Dinâmica da floresta

3.8.1. Estoques e diferenças de estoques:

Estudar a dinâmica da floresta tropical úmida amazônica, manejada ou não, é um grande desafio para os florestais. Os modelos clássicos de produção florestal foram desenvolvidos para florestas temperadas e têm como principais variáveis, o índice de sítio e idade da árvore ou do povoamento (Sullivan e Clutter, 1972; Ferguson e Leech, 1978; Alder, 1980; Smith, 1983 e Clutter *et al.*, 1983). Essas duas variáveis são limitantes para o desenvolvimento de modelos de produção para as florestas da Amazônia porque são, praticamente, indisponíveis para o setor florestal, num curto prazo. Apesar de inúmeras tentativas, por meio da dendrocronologia ou da datação com ^{14}C , a determinação das idades das inúmeras espécies que ocorrem numa determinada área, continua sendo um grande obstáculo para a ciência florestal.

Sem a idade da árvore ou do povoamento ou com muita dificuldade para obtê-la, a alternativa é prognosticar a dinâmica da floresta com o uso de parcelas permanentes. Na Amazônia, entretanto, as parcelas instaladas e devidamente monitoradas são poucas, mal distribuídas e recentes (as mais antigas estão na Flona de Tapajós, desde 1978). Considerando que as idades de árvores com DAP > 50 cm, na região de Manaus, podem variar de 200 a 1400 anos, segundo Chambers *et al.* (1998), 20-30 anos de observações podem parecer insuficientes para descrever, com confiança, a dinâmica de uma floresta da Amazônia.

Apesar de todas essas dificuldades, mais de 1 milhão de hectares de florestas amazônicas são manejados, anualmente, para produção madeireira sob algum tipo de manejo em regime de rendimento sustentável. É difícil imaginar como os empresários florestais vão planejar os ciclos de corte subseqüentes, sem um modelo de produção. Se nada for feito, o manejo florestal tomará a mesma forma da agricultura itinerante. A melhor saída para esta

situação é usar modelos de curto prazo que dependem exclusivamente da situação imediatamente anterior ao atual, tendo como objetivo a projeção apenas para uma situação imediatamente posterior. Dentre os vários modelos disponíveis, o que melhor se ajusta às características das florestas da Amazônia, é a cadeia de Markov.

3.8.2. Projeções da dinâmica (cadeia de Markov):

A cadeia de Markov de primeira ordem é um processo estocástico no qual as probabilidades de transição durante o intervalo de tempo (t e $t+1$) dependem apenas no estado do indivíduo no tempo t ou no conhecimento do passado imediato no tempo $t+1$ e não em qualquer outro estado prévio (Horn, 1975; Chiang, 1980 e Bruner e Moser, 1973). Shugart (1984) enfatiza que a natureza invariável-em-tempo de cada uma das probabilidades de transição é uma importante característica da cadeia de Markov, tendo muito afinidade com o comportamento dos ecossistemas florestais.

De acordo com Bierzychudek (1982), um modelo de matriz de transição é um modelo classificado em tamanho ou uma forma da matriz de Leslie. A única exigência deste modelo é divisibilidade da população em grupo de estados e que existam probabilidades de movimento de um estado para outro, com o passar do tempo (Enright e Ogden, 1979).

Shugart e West (1981) apontam que a importância do entendimento dos ecossistemas florestais não é baseada nas idades, mas sim nas mudanças conhecidas no presente. Os modelos determinísticos consistindo de uma simples função matemática (linear, polinomial ou exponencial) não demonstraram ainda que são comprovadamente adequados, quando séries de tempo são envolvidas (Morrison, 1976).

Segundo Enright e Ogden (1979), nas florestas tropicais, o atributo tamanho pode ser mais importante do que a idade. Uma razão para isso, é que o tamanho pode ser mais ecologicamente informativo do que a idade, quando esta é difícil de ser obtida com precisão. Além disso, segundo ainda os mesmos autores, a divisão de ciclos de vida em estágios de desenvolvimento pode permitir a predição do comportamento futuro mais precisamente do que a divisão em puras classes de idade. Usher (1966) usou o atributo tamanho no lugar da idade para desenvolver um modelo para o manejo de recursos renováveis. Ele afirma que um organismo que está na i -ésima classe no tempo t , pode permanecer na mesma classe, mudar para a classe seguinte (mais de uma classe também) ou morrer, no tempo $t+1$.

Os modelos que usam matriz de transição são apropriados para análise de muitos problemas biológicos, principalmente, em estudos relacionados com a dinâmica da floresta

(Enright e Ogden, 1979). Esses modelos têm sido usados intensivamente em estudos de dinâmica de populações de plantas ou animais em várias regiões do mundo. Alguns exemplos são: a demografia do jack-in-the-pulpit em Nova York (Bierzychudek, 1982); dinâmica florestal de uma população de *Araucaria* numa floresta tropical úmida de Papua Nova Guiné e *Nothofagus* em floresta montana temperada da Nova Zelândia (Enright e Ogden, 1979); sucessão de térmitas em Gana (Usher, 1979); sucessão florestal na Nova Jersey (Horn, 1975); aplicação da Cadeia de Markov em estudos de dinâmica florestal em florestas tropicais (Acevedo, 1981); e a aplicação de Markov para prever o desenvolvimento de um povoamento florestal (Usher, 1966; Usher, 1969, Bruner e Moser, 1973; Peden *et al.*, 1973 e Buogiorno e Michie, 1980).

Alder (1980) também descreve a matriz de transição como uma possível ferramenta para análise de dados de crescimento e incremento de povoamentos multianos de florestas tropicais mistas. A maioria dos trabalhos citados anteriormente inclui revisões razoáveis da teoria do método de Markov. Há também outras leituras úteis sobre o assunto, como Grossman e Turner (1974), Chiang (1980) e Anderson e Goodman (1957). Na Amazônia, este modelo foi testado por Higuchi (1987), Freitas (1993) e Rocha (2001).

4. METODOLOGIA

4.1. Caracterização da área de estudo

4.1.1. Localização

Os dois pontos principais de coletas estão localizados na Estação Experimental de Silvicultura Tropical (Figura 4.1) do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (EEST-INPA). No ponto 1, foram concentradas as coletas em florestas primárias e manejadas, entre km-21 e km-24, na margem esquerda da estrada vicinal ZF-2. No ponto 2, foram realizadas as coletas em capoeiras, margem esquerda da BR-174, entre km-45 e km-48.



Figura 4.1: Localização da Estação Experimental de Silvicultura Tropical do Inpa; Manaus-Amazonas, Brasil. Imagem da região de Manaus observada por Satélite (Landsat 7).

Fonte: GISLAB

4.1.2. Vegetação

A área de estudo é coberta por floresta tropical úmida de terra-firme, com características típicas da parte central da região amazônica (Higuchi *et al.*, 1998). RADAM-BRASIL (1978) denominou a área de sub-região dos baixos platôs da Amazônia e, com base na geomorfologia, em levantamentos florísticos e em inventários florestais, sub-classificou a mesma em macro-ambiente de relevo tabular. A cobertura florestal densa, raramente com estrato superior uniforme (Figura 4.2), é freqüentemente alterada por manchas de floresta aberta, onde os estratos arbustivo e herbáceo são compostos por regeneração natural das espécies arbóreas, por palmeiras e plantas não-vasculares.



Figura 4.2: Estrato superior da cobertura vegetal da floresta densa na área de estudo.

Fonte: Laboratório de Manejo Florestal

Na bacia do Tarumãzinho, área contígua ao rio Cuieiras, por meio do inventário florestal de 96 hectares, foram encontrados 14.922 indivíduos com $DAP \geq 25\text{cm}$, distribuídos em 51 famílias botânicas diferentes, com 409 espécies para 206 gêneros. As espécies mais abundantes

foram castanha jarana (Lecythidaceae), inharé (Moraceae), ucuúba (Mirysticaceae) e uxi (Humiriaceae), com uniforme distribuição espacial dentro da área (Higuchi *et al.*, 1985).

A floresta amazônica apresenta diversas fisionomias de vegetação, que fazem dela uma província fitogeográfica bem individualizada, heterogênea e frágil. Essa região de floresta tropical úmida de grande biomassa é caracterizada pela vegetação que é a camada autotrófica do seu ecossistema, que depende dos diversos tipos de solos (ácidos e pobres em nutrientes), bem como as variações no regime de chuvas (Pires-O'Brien e O'Brien, 1995; Ribeiro *et al.*, 1999).

Essa região possui a maior extensão de floresta tropical do mundo, reconhecida na literatura científica como um conjunto vegetal de características bem definidas, que se estende dos Andes até o oceano Atlântico como um verdadeiro mosaico de ecossistemas. Tem sido dividida em várias províncias, com base em diferenças da flora arbórea e outros critérios biogeográficos e deve sua existência, principalmente, ao ecossistema amazônico caracterizado pela presença da extensa bacia hidrográfica do rio Amazonas (Uribe, 1993).

4.1.3. Clima

Segundo a classificação de Köppen, o clima é do tipo "Amw". Esta classificação é caracterizada como clima tropical chuvoso, apresentando temperatura elevada, com variação térmica diurna maior do que a variação térmica noturna. Pesquisas realizadas na área de estudo por Miranda (2002), caracterizam a temperatura (°C), precipitação (mm) e umidade relativa (%) com máximas e mínimas de valores: (34,7 e 20,8); (116,2 e 00,0) e (100 e 69,0), respectivamente. Esses dados foram obtidos por meio da utilização da micro-estação meteorológica da torre de observação do km 14 na ZF-2.

4.1.4. Solos

Telles (2002) investigou a dinâmica do carbono nos solos amazônicos influenciada pela textura, drenagem, mineralogia e carvões, concluindo que o controle do estoque e tempo de ciclagem do carbono foi determinado, principalmente, pelo teor de argila e secundariamente pela drenagem, mineralogia e carvões microscópicos. O mesmo autor menciona que os carvões microscópicos separados representam para o carbono da fração densa, (constituída de raízes, carvões microscópicos e matéria orgânica humificada) 56% do carbono do Podzólico e para Latossolos cerca de 20% em profundidade de 0-5 centímetros. Para profundidade de 10-20 centímetros, os carvões microscópicos representam menos de 12% do carbono da fração densa.

No estudo de Ferraz *et al.* (1998) foi observado que 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 (Figura: 4.3).

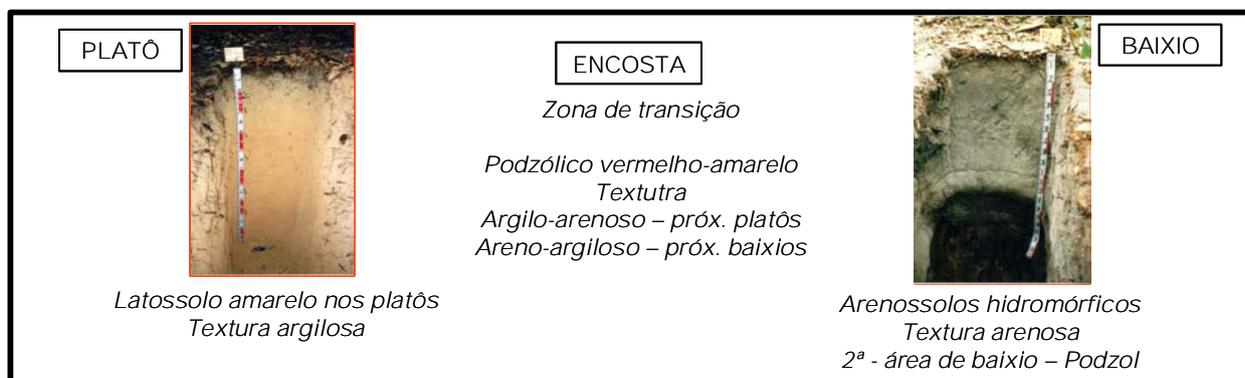


Figura 4.3: Perfil descritivo de transição dos solos na área de estudo

Fonte: Laboratório Temático de Solos e Plantas

O padrão da distribuição vertical dos teores dos nutrientes trocáveis K, Ca e Mg indicam que é na camada mais próxima à cobertura vegetal onde se processa com maior intensidade a ciclagem de nutrientes. A conservação da matéria orgânica nesses solos é fator importante para a manutenção da fertilidade dos solos. A disponibilidade de nutrientes para as plantas é baixa, e os solos podem ser classificados como distróficos. As maiores concentrações dos micronutrientes Fe, Mn e Cu estão nos solos dos platôs, o que pode ser associados à textura argilosa desses solos. A oferta de Fe e Zn para as plantas nos solos arenosos é provavelmente reduzida, devido aos maiores teores desses nutrientes estarem abaixo da zona principal de enraizamento das plantas (Ferraz *et al.*, 1998).

4.2. Verdades de campo e de laboratório:

Breve histórico:

O laboratório de manejo florestal (LMF) do INPA começou a trabalhar com biomassa florestal em 1987. As questões de fundo eram produtividade primária e ciclagem de nutrientes. Naquela oportunidade, apenas a biomassa acima do solo foi considerada. A base para iniciar este tipo de pesquisa era a experiência do LMF em trabalhar com equações de volume. A principal mudança era o tempo necessário para determinar o peso em vez do volume da árvore.

Em 1991, o LMF se associou ao grupo de combustão do INPE de Cachoeira Paulista (SP), liderada pelo Dr. João Andrade de Carvalho Jr., para um estudo sobre a eficiência da combustão em projetos de agricultura. Esta associação foi incentivada pelo grupo de uso do solo amazônico do INPE de São José dos Campos, liderado pelo Dr. Luiz Gylvan Meira Filho e Dr. Jesus Marden dos Santos. Foi nesta oportunidade que o LMF sistematizou a coleta realizando, ao mesmo tempo, a sua primeira coleta intensiva na estação experimental do INPA. Desta vez, sob a perspectiva das mudanças climáticas globais, um pouco antes da Convenção do Clima, que foi assinada durante a “Rio-92”.

Em seguida, em 1992, foram realizados dois inventários florestais para avaliação de estoques de biomassa nas regiões Sul do Pará e Sul de Roraima, duas regiões consideradas de “risco” para o desmatamento (Higuchi *et al.*, 1994). A metodologia do LMF foi amplamente debatida no Seminário “Emissão x Seqüestro de CO₂: uma nova oportunidade de negócios para o Brasil”, coordenado pelo Dr. Enéas Salati, Dr. Ângelo Augusto dos Santos e Israel Klabin e patrocinado pela Companhia Vale do Rio Doce (Higuchi e Carvalho Jr., 1994). Este evento ocorreu três anos antes do Protocolo de Quioto.

Em 1995, os resultados do experimento de eficiência de combustão foram publicados (Carvalho Jr. *et al.*, 1995). O trabalho na estação do INPA foi repetido em uma área privada em Tomé-Açu (PA). Estes primeiros dados foram utilizados para o desenvolvimento de duas teses de doutorado; os da estação do INPA por Santos (1996) e os de Tomé-Açu por Araújo (1995).

Em 1999, foi realizada a primeira coleta de raízes grossas em um quadrado de 100 m². Esta coleta foi financiada por um projeto do PPG7, coordenado pelo Dr. Getúlio Teixeira Batista do INPE de São José dos Campos. Em 2000, com a aprovação do projeto “Piculus” do LMF pelo PPG7-PPD intitulado “Crescimento e incremento de uma floresta de terra-firme manejada experimentalmente”, a metodologia de coleta de raízes se consolidou. Com este projeto, mais 10 quadrados foram coletados. Não há ainda nenhum trabalho publicado com biomassa de raízes.

Neste estudo, além da biomassa de raízes, foi também incluída a de florestas secundárias (capoeiras). A coleta de dados em capoeiras foi planejada, exclusivamente, para esta tese. Duas capoeiras de idades diferentes foram escolhidas, dentro da estação experimental do INPA. Os custos de coleta foram cobertos pelo próprio INPA.

4.2.1. Campo:

De acordo com IPCC (2003), as categorias de biomassa da vegetação são as seguintes:

(i) Biomassa viva acima do solo (above-ground biomass): toda a biomassa acima do nível do solo incluindo tronco, toco, galhos, casca, sementes e folhas. Neste estudo, foram ainda separados em galhos grossos e finos e, quando presentes, flores e frutos;

(ii) Biomassa de raízes (below-ground biomass): toda a biomassa de raízes vivas. Raízes finas com diâmetro de base menor do que 2 mm são excluídas porque não são bem separadas, empiricamente, da matéria orgânica do solo ou da serapilheira fina. Neste estudo, as raízes grossas foram separadas em: finas - com diâmetro de base maior ou igual a dois milímetros e menor que cinco centímetros ($2\text{mm} < \text{Ø} < 5\text{cm}$) e grossas maiores que cinco centímetros ($\text{Ø} > 5\text{cm}$) e

(iii) Biomassa morta ou necromassa (dead wood biomass): toda a biomassa lenhosa não viva não contida na serapilheira fina, seja em pé ou no chão ou, ainda, no solo. Neste estudo, os galhos com diâmetro de base acima de 5 mm foram considerados serapilheira grossa.

Todas estas categorias de biomassa foram coletadas de forma destrutiva e pesadas integralmente. Amostras de partes das árvores foram utilizadas apenas para a determinação dos teores de água e de carbono.

4.2.1.1 Biomassa acima do nível do solo de floresta primária: viva e morta

O conjunto de dados de biomassa viva acima do solo utilizado neste estudo é composto de três partes:

(i) 319 árvores coletadas durante o experimento de eficiência de combustão de floresta primária derrubada para a agricultura (Carvalho Jr. *et al.*, 1995) e utilizadas por Santos (1996);

(ii) 131 árvores coletadas durante o projeto “Piculus” (Convênio INPA/Finep/PPG7) para a obtenção da biomassa de raízes grossas e

(iii) 44 árvores coletadas durante aulas práticas para alunos de engenharia florestal.

O trabalho de campo foi desenvolvido na Estação Experimental de Silvicultura Tropical do INPA (Núcleo ZF2), localizada, aproximadamente, 90 km a noroeste de Manaus.

O primeiro conjunto de dados foi coletado em 5 quadrados de 400 m² cada, aleatoriamente, escolhidos em uma área de 10.000 m². (Figura: 4.4).

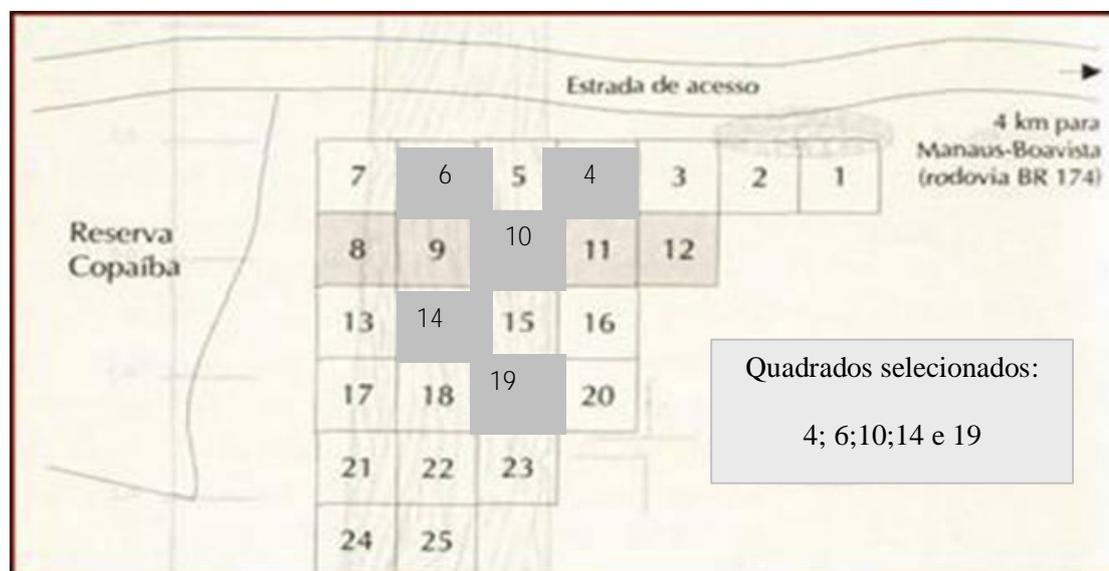


Figura 4.4: Ilustração esquemática dos quadrados selecionados.

Fonte: Santos, 1996.

Esta área foi especialmente selecionada para serem incluídas as coletas de raízes grossas em capoeiras. Duas áreas de florestas secundárias foram selecionadas, tendo sido as amostras (quadrados) sorteadas de forma aleatória. Ressalta-se que as capoeiras possuem diferentes idades de existência (14 e 23 anos) e diferentes históricos de uso do solo. A primeira capoeira selecionada para dar início a nova etapa de coletas sofreu derrubada, queima e abandono. Sua área de localização está a 02¹ 35 18,7 S e 60¹ 02 37,3 W. A outra capoeira de 23 anos de existência (guardadas as datas iniciais de 2005) sofreu corte e abandono. Sua localização está a 02¹ 38 00 S e 60¹ 09 49,9 W.

As duas capoeiras são pertencentes à área da Estação experimental de Silvicultura Tropical (EEST) do Instituto Nacional de pesquisas da Amazônia (INPA). E diversos grupos de pesquisa, ao longo dos anos, desenvolveram muitos estudos no local. Alguns desses estudos ainda permanecem em andamento, por exemplo, pesquisas a respeito da decomposição vegetal, em escala macro e micro ambientais, e dessa forma, agregando conhecimento para argumentar as respostas aos questionamentos sobre a dinâmica da floresta.

Para a obtenção do segundo conjunto, uma área de 36.000 m², sobre platô, coberta por floresta primária, foi subdividida em 320 quadrados de 100 m² cada (Figura 4.5). Área semelhante foi designada para coleta em áreas de baixio. Os quadrados foram escolhidos, aleatoriamente, para a coleta. No total, foram derrubadas e pesadas todas as árvores contidas em 11 quadrados, sendo 8 no platô e 3 no baixio.

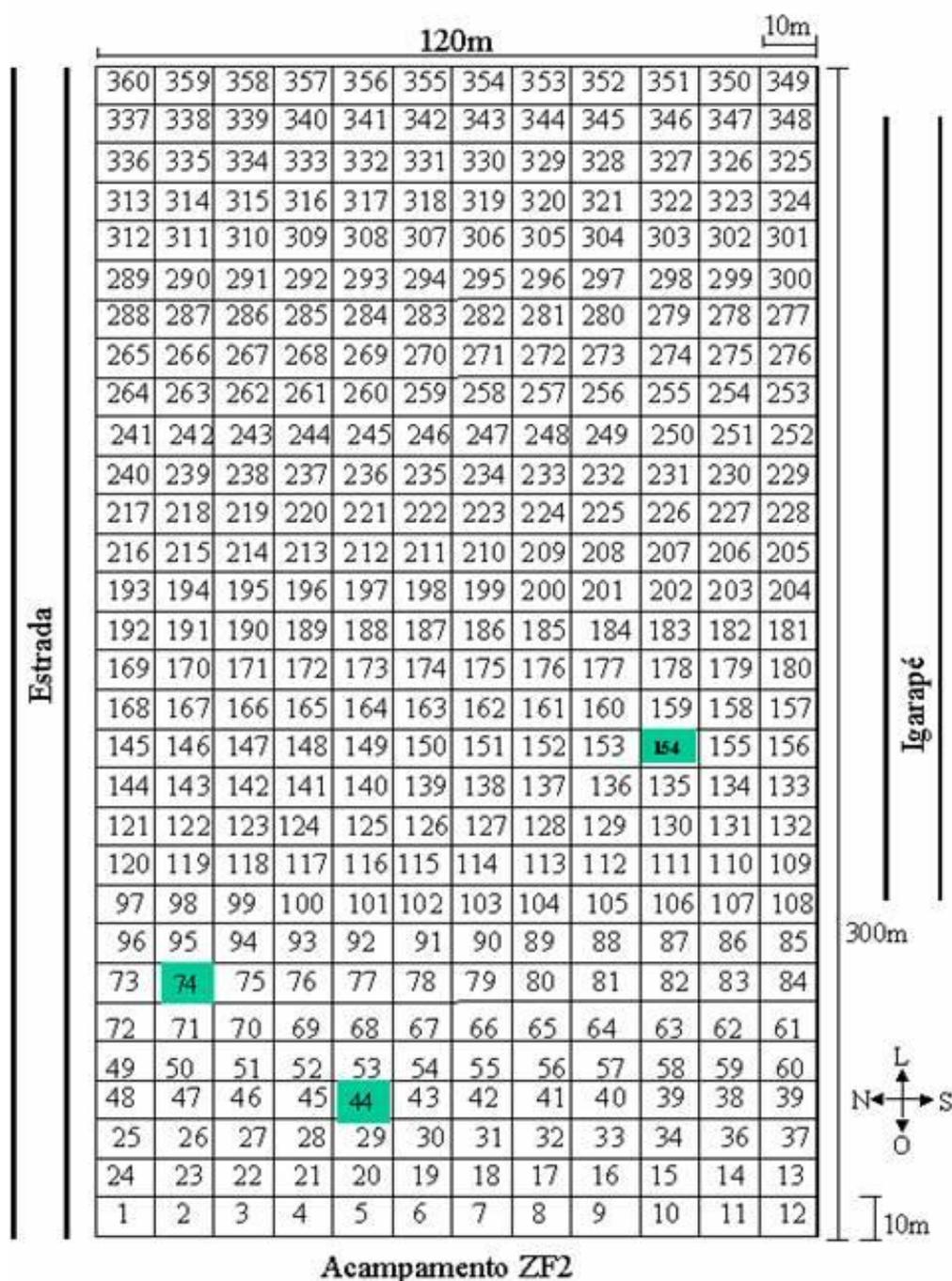


Figura 4.5: Ilustração da área designada para coleta

Fonte: Laboratório de Manejo Florestal.

A biomassa viva acima do solo (ou biomassa aérea) é composta de espécies arbóreas com DAP \geq 5cm (árvores), espécies arbóreas com DAP $<$ 5 cm (mudas), e ainda, cipós e palmeiras que foram inventariados. As coletas, destrutivamente, foram realizadas na seguinte ordem: mudas, cipós e palmeiras (figura: 4.6).



Figura 4.6: Desenho ilustrativo dos diferentes estratos de coleta para pesagem.

Fonte: Romeu Dantas de Paiva.

Antes de derrubar e pesar as árvores, 5 sub-amostras de 1 m² cada foram estabelecidas, em cada quadrado, para coletar a serapilheira grossa que compõe a biomassa morta ou necromassa. As 5 sub-amostras medem 1m x 1m cada uma; e foram sorteadas aleatoriamente dentro quadrado maior de 10m x 10m conforme ilustração e montagem com imagem digital no ato da coleta em campo, e a ilustrações esquemática com delineada pelo técnico Florestal da Reserva (Figura 4.7).