

INVENTÁRIO FLORESTAL EM ÁREAS TROPICAIS CONSIDERANDO O MÉTODO DE AMOSTRAGEM EM MÚLTIPLOS ESTÁGIOS

PEDRO HERNANDEZ FILHO¹
DAVID CHUNG LIANG LEE¹
YOSIO EDEMIR SHIMABUKURO¹
CÉLIO PAIVA DOS SANTOS FILHO²

¹INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515
12201-970 - São José dos Campos, SP, Brasil

²IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos
Naturais Renováveis
Setor Áreas Isoladas Norte
AV. L-4 NORTE - BRASÍLIA - DF

Resumo. Foi testado um modelo de inventário florestal em múltiplo estágio na Floresta Nacional do Tapajós, localizada próximo da cidade de Santarém, Estado do Pará, Brasil. Esta área tem cerca de 550.000 ha, coberta pela floresta tropical densa. Foram identificadas cinco classes de floresta através da análise visual das imagens do sensor TM do satélite Landsat. Foram estimados os volumes de madeira médio (m^3/ha) e total (m^3) de três destas classes.

Abstract. A multistage model of forest inventory was tested at the Tapajós Forest, located close to the city of Santarém, Pará State, Brazil. This area has about 550,000 ha, covered by a dense tropical rainforest. Using the procedure of visual analysis of TM-Landsat images, five classes of forest were identified. The average and total volumes of timber for three forest classes were estimated.

1. Introdução

Os trabalhos de inventário florestal em nível regional, que utilizam métodos convencionais e baseados em coletas de dados de campo, são onerosos e demorados. Estes trabalhos, por apresentarem custos elevados, geralmente dificultam a avaliação periódica das práticas florestais no sentido de conduzir ou monitorar um manejo

florestal eficiente. Técnicas de interpretação de imagens de satélite integradas às informações de fotografias aéreas de escala pequena e grande, combinadas com modelos amostrais têm permitido avanços consideráveis nos trabalhos de inventário florestal. Estes métodos alternativos, baseados em múltiplos estágios, são indicados para extensas áreas (em nível regional), devido à característica sinótica dos dados do primeiro nível (imagem

de satélite), facilitando o mapeamento e melhorando a eficiência da alocação de amostras, o que resulta na redução dos custos do trabalho.

Estudos neste sentido foram conduzidos por Langley (1975), Kirby e van Eck (1977), nos quais foram avaliadas áreas com florestas temperadas e aplicados métodos alternativos para inventário florestal, com base no conceito de múltiplo estágio, os quais revelaram uma opção mais econômica e menos trabalhosa. Hernandez Filho et al. (1985) e Novaes, et al. (1988) adaptaram este modelo para inventário de áreas reflorestadas, obtendo resultados bastante animadores para a estimativa de volume de madeira.

Este trabalho visa a implantação de um modelo de inventário florestal, em múltiplo estágio, e também a composição de um banco de dados, georreferenciados, em áreas ocupadas por florestas tropicais, com o objetivo de fornecer subsídios a setores governamentais responsáveis pela definição de políticas e programas direcionados para a questão do meio ambiente.

Para a consolidação deste trabalho foi realizado um esforço conjunto, empreendido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), com suporte financeiro da International Tropical Timber Organization (ITTO) e suporte administrativo da Fundação Pró-Natureza (FUNATURA).

2. Delineamento do Inventário Florestal

Este método de inventário florestal, conhecido como multiestágio, é adequado para ser utilizado em nível regional e requer a utilização de uma técnica de amostragem para se estabelecer um estimador de volume de madeira. Este método exige a análise integrada de dados coletados em nível orbital (satélite), de aeronave e de campo. Para isso, faz-se necessário um método de amostragem, para tratar estes dados. Langley (1975) e Aldrich (1970) utilizaram a técnica de amostragem de probabilidade variada com reposição para obter estimadores de volume de madeira. Este método é também conhecido como probabilidade proporcional à grandeza (PPS) ou como probabilidade proporcional à predição (3P). Estas técnicas consistem na seleção de unidades primárias de amostragem (UPAs) para o primeiro estágio e na retirada de uma série de subamostras para serem amostradas em estágios subsequentes.

Este procedimento metodológico de inventário florestal em multiestágio foi aplicado na Floresta Nacional (FLONA) do Tapajós, com base nos dados históricos e na fundamentação teórica proposta por Langley (1975). A formulação matemática utilizada é baseada num estimador amostral de parâmetros de uma população, em três estágios, o qual emprega amostragem com probabilidade variável (Figura 2.1).

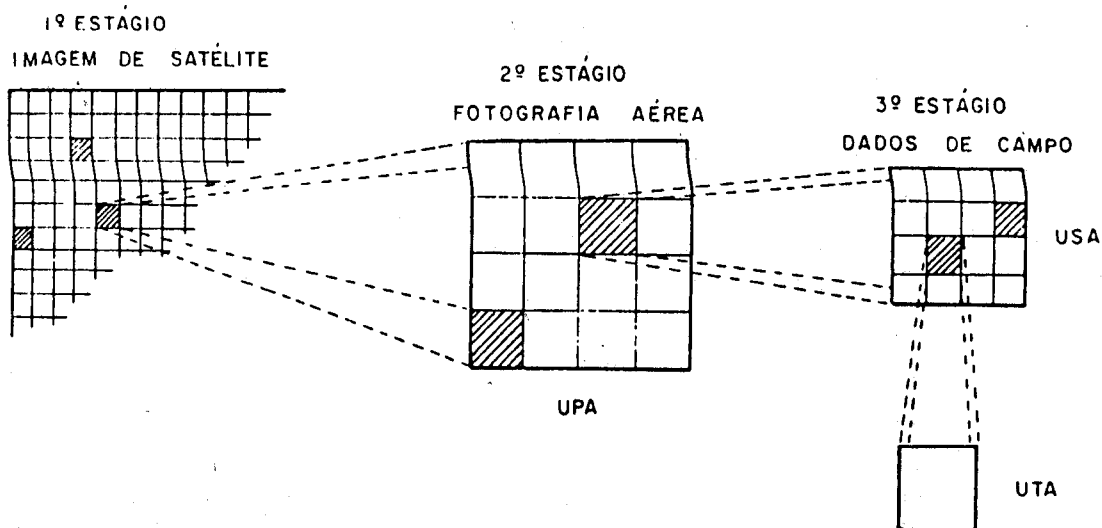


Fig.1 - Esquema de método de inventário florestal em múltiplo estágio.

Com este procedimento metodológico destinado ao inventário de floresta tropical estima-se o volume de madeira total (V_t), através da seguinte equação:

$$V_t = 1/m \sum_{i=1}^m 1/P_i n_i \sum_{j=1}^{n_i} 1/P_{ij} t_{ij} \sum_{k=1}^{t_{ij}} V_{ijk} / P_{ijk} \quad (1)$$

onde:

V_t = estimador do volume total de madeira em mutiestágio, que utiliza a técnica de amostragem com probabilidade variável;

m = número de unidades primárias incluídas no primeiro estágio;

P_i = probabilidade de selecionar a i -ésima unidade primária de amostragem;

n_i = número de unidades secundárias incluídas na i -ésima unidade de amostragem;

P_{ij} = probabilidade condicional de selecionar a j -ésima unidade secundária de amostragem, considerando que a i -ésima unidade primária de amostragem já tenha sido selecionada;

t_{ij} = número de unidades terciárias de amostragem na j -ésima unidade secundária de amostragem, considerando que a i -ésima unidade já tenha sido selecionada;

P_{ijk} = probabilidade condicional de selecionar a k -ésima unidade terciária de amostragem, considerando que a j -ésima unidade secundária de amostragem já tenha sido selecionada;

V_{ijk} = volume de madeira estimado na k -ésima unidade terciária, da j -ésima unidade secundária, da i -ésima unidade primária.

Para o cálculo do número de amostras (m) do primeiro estágio, procede-se da seguinte forma:

$$m = t^2(CV)^2/e^2, \quad (2)$$

onde:

t = valor de "t" tabelado;

CV = coeficiente de variação;

e = erro de amostragem esperado.

As probabilidades dos três estágios podem ser calculadas da seguinte forma:

$$P_i = x_i / \sum_{i=1}^M x_i \quad (\text{primeiro estágio}), \quad (3)$$

onde:

M = número total de unidades primárias de amostragem (UPAs);

x_i = variável auxiliar.

$$P_{ij} = x_{ij} / \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} \quad (\text{segundo estágio}), \quad (4)$$

onde:

N_i = número total de unidades secundárias de amostragem (USAs);

x_{ij} = variável auxiliar.

$$P_{ijk} = x_{ijk} / \sum_{k=1}^{T_{ij}} x_{ijk} \quad (\text{terceiro estágio}), \quad (5)$$

onde:

T_{ij} = número total de unidades terciárias de amostragem (UTAs).

Neste modelo é fundamental que as variáveis auxiliares em cada estágio apresentem uma alta correlação, pois, assim, haverá uma boa integração entre os resultados gerados em todos os níveis de abordagem. No caso específico da FLONA do Tapajós, utilizaram-se como variáveis auxiliares a área ocupada pela classe florestal para o primeiro estágio (imagens orbitais), a área e/ou densidade de copa para o segundo estágio (fotos aéreas) e a grandeza "volume de madeira" para o terceiro estágio (fase de campo).

Conforme Langley (1975), o estimador da variância deste método para dois estágios (ou mais) é aquele que foi obtido no primeiro estágio, o qual pode ser representado pela seguinte equação:

$$\text{Var}(V_t) = 1/m(m-1) \sum_{i=1}^m (V_i/p_i)^2 - m(V_t)^2, \quad (6)$$

onde:

V_i = volume estimado de madeira na i -ésima unidade do primeiro estágio, sendo que os outros termos foram anteriormente definidos.

Para se calcular o erro de amostragem, aplica-se a seguinte equação:

$$E.A. = (\text{var } V_t)^{1/2} \quad (7)$$

3. Área de Estudo

A área em estudo, Floresta Nacional do Tapajós, localiza-se no município de Santarém, Estado do Pará, e é administrada pelo

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). Situa-se entre os paralelos de 2°40'a 4°10'de latitude sul e os meridianos de 54°45'e 55°00' de longitude oeste. Esta área limita-se, ao norte, com a linha que liga o quilômetro 50 da Rodovia Santarém-Cuiabá e o ponto da latitude 20°45'S no Rio Tapajós; a leste com a Rodovia Santarém-Cuiabá, até o quilômetro 205, próximo do município de Rurópolis. Ao sul, com os rios Santa Cruz ou Cuparitinga e Cupari, descendo, rumo ao norte, até desaguar no rio Tapajós; e a oeste, com o rio Tapajós.

4. Material e Método

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados os seguintes materiais:

. dados históricos derivados dos inventários florestais realizados na FLONA de Tapajós pela empresa Santa Isabel e pela Universidade Federal de Viçosa;

. composições coloridas das imagens TM/Landsat, órbita/ponto (227/62 quadrante A e C), passagem de 03/08/88, canais 3,4 e 5 (BRG) e órbita/ponto (227/63 quadrante A), passagem de 06/08/89, canais 3,4 e 5 (BGR), na escala de 1:100.000;

4.1 - Técnica de Amostragem em Múltiplo Estágio

A técnica de amostragem aplicada no inventário florestal da FLONA do Tapajós foi aquela que utilizou imagens de satélite, fotografia aérea e dados de campo. Os produtos resultantes destes três níveis de coleta de dados foram analisados de forma integrada, o que permitiu a estimativa de volume de madeira da floresta.

4.1.1 - Primeiro Estágio

Considerando que foram definidas "m" UPAs para o primeiro nível de abordagem, os dados foram organizados conforme o observado na Tabela 1, em cada classe florestal. Para tanto, a área (ha) ocupada pelas classes foi considerada em cada UPA. Assim foram construídas tabelas, sendo que a primeira coluna (1) apresenta uma lista sequencial enumerada das UPAs. A segunda coluna (2) refere-se à grandeza (x_i = área em ha), derivada da classe florestal associada a UPA. A terceira coluna (3) contém o somatório acumulado do valor da grandeza que consta na segunda coluna. A quarta coluna (4) contém o intervalo do valor da grandeza obtido na terceira coluna.

TABELA 1- EXEMPLO DE ORGANIZAÇÃO DE UMA TABELA PARA SELECIONAR UNIDADES PRIMÁRIAS DE AMOSTRAGEM (UPAs)

Número da UPA (1)	Grandeza (x) (2)	Som. Acum. a_i (3)	Intervalo (4)	Probabilidade de seleção (5)
1	x_1	$a_1 = x_1$	$1 - a_1$	x_1/a_n
2	x_2	$a_2 = a_1 + x_2$	$a_1 + 1 - a_2$	x_2/a_n
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
n	x_n	$a_n = a_{n-1} + x_n$	$a_{n-1} + 1 - a_n$	x_n/a_n

A probabilidade de seleção, coluna 5, para qualquer unidade particular, é variável e proporcional a um estimador do volume total de madeira (V_t), o qual tem alta correlação com a área obtida no primeiro estágio. O intervalo estatístico (coluna 4) é baseado totalmente no valor da grandeza (x_i) obtido nas UPAs. Observa-se que na primeira UPA, por exemplo, seu intervalo é definido de 1 a a_1 , desde que ela contenha a_1 unidades (x_i = área em ha) da classe florestal. Assim, a probabilidade de seleção para a primeira UPA é definida por x_1/a_n , sendo que o denominador encontra-se localizado no final da coluna 3 (somatório acumulado). O mesmo procedimento é usado para estabelecer os intervalos para as outras UPAs listadas neste exemplo. Para escolher as UPAs dos estágios subsequentes, é utilizada uma tabela de números aleatórios, os quais são comparados com os valores compreendidos no intervalo entre 1 e a_n . As UPAs selecionadas têm probabilidades de seleção proporcionais às suas grandezas (área em ha). Para isso, deve-se proceder da seguinte forma:

$$x_i/a_n, \quad (8)$$

onde:

x_i = grandeza do tipo florestal e

a_n = somatório acumulado da grandeza do tipo florestal.

As grandezas individuais de cada UPA (x_i), além de determinarem a probabilidade de seleção, também geram o intervalo para cada UPA.

Considerando a população (M) do primeiro estágio, tendo como indicador a grandeza "área", foram selecionadas (m) amostras para a análise estatística dos

estágios subsequentes. Desta forma, o mesmo roteiro apresentado para a análise e seleção das unidades de amostragem, conduzido no primeiro estágio, foi repetido para os estágios seguintes, considerando a grandeza adequada.

Procedeu-se a uma avaliação na FLONA do Tapajós utilizando o produto fotográfico (composição colorida) do sensor TM/Landsat, nos canais 3, 4 e 5, na escala de 1:100.000. Considerando os elementos de análise visual de imagens (tonalidade e textura fotográfica), aliado a informações de campo, foram definidas as classes florestais, com base nos aspectos fitofisiômicos.

Posteriormente, foi definido o tamanho da grade das unidades primárias de amostragem com 2x2cm, que corresponde a 2x2Km no campo, considerando a distribuição da classificação das classes florestais e a escala do produto fotográfico (1:100.000).

Para iniciar o processo de análise das UPAs, verificou-se que a FLONA do Tapajós tem cerca de 150km no sentido norte-sul, correspondendo a 1,50m na escala de 1:100.000 da imagem TM/Landsat. Diante das dificuldades para manusear a imagem da FLONA da dimensão mencionada, optou-se por dividi-la em três partes que passaram a ser denominadas blocos.

As quadriculas definidas por esta grade corresponderam às UPAs, isto é, à população (M) do primeiro estágio. Para cada classe e UPA, foi estimada a sua área, através da sobreposição de uma grade milimetrada no mapa resultante da interpretação visual. Este procedimento teve a

finalidade de aplicar o sistema de amostragem de probabilidade variável com reposição e, assim, selecionar "m" UPAs para serem analisadas nos estágios subseqüentes.

Os resultados da estimativa de área (ha) de cada UPA, foram transportados para fichas específicas.

4.1.2 - Segundo Estágio

Como a FLONA do Tapajós apresenta dois estudos de inventário florestal de pré-investimento realizados pela empresa Santa Isabel (Cailliez, 1977) e pela Universidade Federal de Viçosa (1983), decidiu-se utilizar os dados das amostras destes trabalhos. Foram definidas quinze linhas de amostragem, paralelas ao rumo leste-oeste, os quais contêm os pontos de amostragem.

Foi planejado obter fotografias aéreas, na escala de 1:20.000, de todas as quinze linhas de amostragem. Porém, não foi possível a realização da missão de aerolevantamento, conforme o programado, devido às condições climáticas desfavoráveis. Apesar da tentativa de antecipar esta missão para o mês de setembro de 1991, com o propósito de evitar os problemas com cobertura de nuvens, foi somente possível efetuar o levantamento de 45% da área. Todas as UPAs sorteadas no primeiro estágio, em cada classe, no primeiro estágio, foram localizadas e demarcadas nas fotografias aéreas, cujo tamanho correspondeu a uma área de 10x10cm. Posteriormente, foi sobreposta uma grade de 0,5x0,5cm, que correspondeu a uma área de 100x100m (1 ha) em cada unidade no campo, a qual definiu uma população de 400

USAs.

Em seguida, foi estimada a densidade de copa, através da sobreposição de uma grade de pontos em cada USA de cada classe.

4.1.3 - Dados de Campo

Os dados de campo foram aqueles considerados em trabalhos anteriores, sendo que a cobertura por fotografias aéreas foi parcial. Desta forma, a orientação da localização das unidades amostrais, tanto as primárias como as secundárias, foi dirigida para as áreas que continham fotografias aéreas e informações de campo. Estes dados foram analisados e organizados, em cada unidade de amostragem, considerando o volume total de madeira (m³/ha) de todas as espécies com diâmetro à altura do peito (dap) superior a 15 cm.

4.2 - Trabalho de Campo

Na FLONA de Tapajós foram empreendidas duas missões de campo com o objetivo de reconhecer a localização das 15 linhas amostrais em relação à Rodovia Cuiabá-Santa-rém e obter fotos aéreas em colorido normal, na escala de 1:20.000, nas linhas de amostragem. Além disso, foram caracterizadas fisionomicamente as unidades de vegetação, obtidas através da interpretação da imagem TM/Landsat.

4.3 - Processamento de Dados

Os dados coletados e derivados dos níveis orbital, aéreo e de campo foram organizados e tabulados utilizando um programa em linguagem TURBO PASCAL,

compilado para microcomputadores IBM/PC ou compatíveis. O resultado deste programa foi o cálculo de área (ha), o volume total (m³) e o volume médio (m³/ha) das três classes de floresta.

5. Resultados e Discussão

5.1 - Múltiplo Estágio

No método de amostragem em múltiplo estágio, aplicado neste inventário florestal, foram considerados no primeiro estágio somente os resultados obtidos da análise visual das composições coloridas, correspondentes às bandas 3, 4 e 5.

5.1.1 - Dados do TM/LANDSAT

A análise dos dados das imagens do satélite foi produzida através da análise visual da composição colorida, nas bandas TM 3, 4 e 5, na escala de 1:100.000. Utilizando a terminologia de classificação da vegetação do projeto RADAMBRASIL foram definidas as seguintes classes de vegetação:

- Classe 1

. Floresta Tropical Densa (baixo platô com árvores emergentes, platô dissecado com cobertura arbórea uniforme);

. Floresta Tropical Aberta (sem palmeiras e relevo dissecado);

. Floresta Tropical Densa (áreas sedimentares e alto platô com árvores emergentes);

- Classe 2

. Floresta Tropical Densa (relevo ondulado com árvores emergentes e platô dissecado com cobertura arbórea uniforme);

. Floresta Tropical Densa (relevo ondulado e baixo platô com árvores emergentes);

. Floresta Tropical Densa (platô dissecado e baixo platô com árvores emergentes);

. Floresta Tropical Densa (platô dissecado com árvores emergentes);

- Classe 3

. Floresta Tropical Densa (platô dissecado com árvores emergentes e cobertura arbórea uniforme);

- Classe 4

. Floresta Tropical Densa (áreas submontanas e relevo dissecado com árvores irregulares);

. Floresta Tropical Aberta (áreas com palmeiras e relevo dissecado);

- Classe 5

. Floresta Tropical Aberta (relevo ondulado com palmeiras);

- Classe 6

. Floresta alterada (vegetação secundária e desmatamento).

A classificação destas unidades de vegetação, resultante da análise visual das imagens TM/Landsat, foi apresentada na forma de mapa.

Neste mapa resultante da interpretação visual, foi sobreposta uma grade com a finalidade de estimar a área (ha) ocupada em cada unidade primária de amostragem (UPA). O resultado desta avaliação pode ser observado no Apêndice B.

Posteriormente, foi conduzida a análise estatística dos dados derivados das UPAs com a

finalidade de estimar o número de amostras (m) necessárias para representar cada classe florestal, considerando um erro de amostragem de 20%. A seleção das amostras primárias de amostragem não só considerou a localização das quinze linhas de

amostragem (picadas) utilizadas em inventários realizados anteriormente, como também aquelas picadas que efetivamente foram aerofotografadas. O resultado desta análise pode ser observado na Tabela 2.

TABELA 2 - RESULTADO DA ANÁLISE ESTATÍSTICA DO PRIMEIRO ESTÁGIO

PARÂMETRO	CLASSE				
	1	2	3	4	5
M	769	178	659	132	68
AVG	228,20	238,30	295,07	278,60	198,79
S	135,56	134,80	133,58	140,00	135,34
C.V. (%)	47,04	56,59	45,27	50,26	68,08
m	5,5	8,0	5,1	6,3	11,6
m'	6	8	5	7	12
m''	6	7	5	5	5

Observa-se, na Tabela 2, que as classes 1 e 2 apresentaram as maiores populações (M) com 769 e 659 amostras, respectivamente. Nota-se que as classes 2 e 5 apresentaram o maior coeficiente de variação (C.V.) com 56,59% e 68,08%, respectivamente. Conseqüentemente, para representá-las foi necessário um maior número de amostras (m), com 8 e 11,6, respectivamente. Observa-se, também, que o número de amostras (m') necessárias para representar as classes 1, 2, 3, 4 e 5 foram 6, 8, 6, 7 e 12, respectivamente. Porém, as classes 2, 4 e 5 ficaram subamostradas, devido à indisponibilidade de amostras no

campo, pois apresentaram somente 7, 5 e 5 amostras (m''), respectivamente. As classes 4 e 5 não foram selecionadas para a estimativa de volume de madeira, em face do número insuficiente de amostras no campo. Como a seleção de amostras foi aleatória com reposição, para a classe 2, houve uma repetição de duas unidades amostrais. Desta forma, para fins de estimativa de volume de madeira, somente foram consideradas as classes 1, 2 e 3. Para fins de ilustração, a tabela 3 apresenta a localização e as probabilidades de seleção (P_i) das UPA's para a classe 1.

TABELA 3 - LOCALIZAÇÃO E PROBABILIDADE DE SELEÇÃO (P_i) DAS UPAS PARA A CLASSE 1

CLASSE 1/UPA						
N1	P	N2	B-L-C	N3	ÁREA= x_i	P_i
1	14	74	1-R-27	57	390	0,0017551
2	13	119	1-R-32	89	395	0,0017776
3	12	174	2-T-05	127	398	0,0017911
4	11	237	2-T-10	166	368	0,0016561
5	7	574	2-Y-30	402	398	0,0017911
6	7	591	2-R-31	409	395	0,0017776

Observa-se, na Tabela 3, que a primeira coluna (N1) representa o número seqüencial das UPAs selecionadas para a classe 1. A segunda coluna (P) indica quais as picadas correspondem às unidades amostrais. A terceira coluna (N2) representa o número seqüencial das UPAs contidas em toda a FLONA. A quarta coluna (B-L-C) mostra a localização da UPA em relação à grade de referência. A quinta coluna (N3) indica o número seqüencial da unidade amostral selecionada para a classe 1. A sexta coluna ($\text{ÁREA}=x_i$) mostra a área estimada, em hectares, nas UPAs selecionadas. A sétima (P_i) mostra a probabilidade proporcional à grandeza (área) das UPAs da classe 1. Observa-se que todas as UPAs apresentaram valores em torno de 400 ha, o que é o valor máximo estimado em cada quadrícula da grade de referência. Este desempenho mostra que estas unidades

apresentam boa uniformidade em termos de área.

As probabilidades foram obtidas pela razão entre o valor de cada unidade amostral, localizada na sexta coluna, e a soma acumulada de todas as UPAs, inclusive aquelas que não foram selecionadas. Observa-se que estes valores são bem similares, resultado da uniformidade entre as UPAs.

5.1.2 - Dados de Aeronave

Conforme relatado no capítulo anterior, das quinze picadas, somente oito foram aerofotografadas, devido às condições climáticas desfavoráveis. Desta forma, a localização das USAs foi consequência desta restrição. A tabela 4, para fins de ilustração, apresenta a localização e as probabilidades de seleção (P_{ij}) das USA's para a classe 1.

TABELA 4 - LOCALIZAÇÃO E PROBABILIDADE DE SELEÇÃO (P_{ij}) DAS USAS PARA A CLASSE 1

CLASSE 1				
B-C-L	P	C-L	D (x_i)	P_{ij}
1-R-27	14	18-J	16	0,0023211
1-R-27	14	20-J	18	0,0026113
1-R-32	13	14-O	19	0,0027476
1-R-32	13	16-O	16	0,0023138
2-T-5	12	10-K	19	0,0027279
2-T-5	12	11-J	17	0,0024407
2-R-31	07	18-G	18	0,0026007
2-R-31	07	19-H	19	0,0027452
2-Y-30	07	10-K	18	0,0025869
2-Y-30	07	11-J	16	0,0022995
2-T-10	11	10-K	19	0,0029212
2-T-10	11	12-K	19	0,0029212

A primeira coluna (B-C-L) e a segunda coluna (P) da Tabela 4 contém a localização da USA na UPA e as linhas de amostragem, respectivamente. A terceira coluna (C-L) indica a localização da USA no sistema de referência da grade. A quarta coluna (D) indica a grandeza (número de árvore por USA) observada na fotografia aérea. A quinta coluna (P_{ij}) mostra a probabilidade de seleção das USAs.

Nota-se que o número de árvores da classe 1, observadas na fotografia aérea, varia de 16 a 19 para um máximo de 25 por USA. Dessa forma, observa-se que a classe 1 apresenta uniformidade da densidade de árvores por unidade de área.

5.1.3 - Dados de Campo

Os dados de campo utilizados neste método de amostragem em múltiplo estágio foram aqueles obtidos em trabalhos anteriores, realizados na Flona do Tapajós, os quais, para a classe 1, podem ser observados na Tabela 5.

A Tabela 5 apresenta, na primeira coluna, o volume de madeira (m^3) estimado no campo. A segunda e a terceira colunas mostram a localização destas unidades em relação ao sistema de referência da grade para o segundo e terceiro estágios, respectivamente. Nota-se que o volume de madeira, em torno de $300 m^3/ha$, mantém a uniformidade nos resultados, de forma similar àqueles observados na Tabela 4.

TABELA 5 - DADOS DE VOLUME DE MADEIRA OBTIDOS NO CAMPO PARA A CLASSE 1

CLASSE 1		
V_{ij} (m^3 /Ha)	C-L	B-L-C
383.84	18-J	1-R-27
288.40	20-J	1-R-27
305.24	14-O	1-R-32
315.24	16-O	1-R-32
289.24	10-K	2-T-5
342.80	11-J	2-T-5
300.08	18-G	2-R-31
329.12	19-H	2-R-31
290.40	10-K	2-Y-30
300.08	11-J	2-Y-30
319.56	10-K	2-T-10
304.56	12-K	2-T-10

5.1.4 - Análise e Integração de Dados

Considerando o modelo matemático apresentado no Capítulo 2, os dados obtidos nas

UPAS, USAs e campo foram organizados, armazenados e processados, resultando na estimativa do volume total de madeira (m^3), obtida em cada classe, conforme pode ser observado na Tabela 6.

TABELA 6 - ESTIMATIVA DO VOLUME TOTAL (m^3) E DO VOLUME MÉDIO (m^3 /ha) PARA TODAS AS CLASSES

CLASSE	V_t (m^3)	Area (Ha)	Volume (m^3 /Ha)
1	68.267.459,22	222.200,00	307,22
2	25.416.141,58	42.735,00	595,91
3	191.505.713,66	194.744,00	983,37

A segunda coluna da Tabela 6 indica o volume total de madeira (m^3) observado nas três classes. A terceira coluna contém a estimativa da área das classes em hectares, resultante do somatório dos valores obtidos em todas as UPAs analisadas no primeiro estágio. A quarta coluna expressa o volume médio

(m^3 /ha) resultante da razão entre a primeira e a segunda coluna. Observa-se que a classe 1 (222.200,00 ha) é aquela que apresenta a maior área em relação às classes 2 e 3. Considerando que a classe 1 corresponde ao inventário florestal realizado pela empresa Santa Isabel e que as classes 2 e 3 correspondem às áreas

inventariadas pela Universidade Federal de Viçosa, não foi possível comparar os resultados obtidos nestas duas áreas, em face das diferentes metodologias empregadas para a estimativa de volume. A classe 3 apresenta um volume de madeira total (Vt), quase oito vezes maior do que a classe 2, enquanto o volume médio em (m^3/ha) entre estas

duas classes foi quase duas vezes maior.

Com base na Equação 3, foram calculadas as variâncias para as três classes, e posteriormente, estimados os erros de padrão e de amostragem, cujos resultados podem ser observados na Tabela 7.

TABELA 7 - CÁLCULO DO ERRO DE AMOSTRAGEM PARA TODAS AS CLASSES

CLASSE	Volume Total (m^3)	Erro padrão (m^3)	Erro de (*) Amost. (%)
1	68267459,22	1682786,23	2,46
2	25416141,58	1473291,06	5,79
3	191505713,66	4330924,61	2,26

(*) variação de um desvio padrão do volume estimado de desenvolvimento metodológico deste trabalho.

Na Tabela 7 nota-se que o erro de amostragem para as classes 1 e 3 foi de aproximadamente 2%, enquanto para a classe 2 este valor foi um pouco maior que 5%. Estes resultados mostram que o erro de amostragem calculado (Equação 4) é menor do que o erro esperado (Equação 2) e, por conseguinte, aceitável para inventário florestal em nível regional.

Considerando os dados de campo da FLONA do Tapajós, sugere-se que se faça uma estimativa de volume da madeira por espécies, usando a metodologia de inventário florestal em múltiplo estágio.

Sugere-se ainda que esta metodologia de trabalho seja utilizada em outras áreas com características fisionômicas e estruturais diferentes, a fim de que sejam obtidos resultados mais conclusivos a respeito deste modelo de inventário florestal.

6. Conclusões e Recomendações

Este modelo de inventário florestal em múltiplo estágio, que utiliza simultaneamente imagens de satélite, fotografias aéreas e dados de campo, permitiu a estratificação e a estimativa de área, em hectares, dos tipos florestais, bem como o cálculo do volume médio e total de madeira de toda a FLONA do Tapajós.

Recomenda-se que se faça uma análise de custo/benefício, comparando este método de inventário florestal com trabalhos cujas metodologias são diferentes.

Não foi possível estabelecer uma comparação de custo/benefício com outros modelos de inventário florestal, em face do caráter de pesquisa e

Annual Meeting of ACMS and
ASP. Washington, DC, 1970.

Cailliez, F Inventaire de
preinvestissent de la Forêt
Nationale du Tapajós.
Evaluation provisoire des
resultats. Brasilia, oct.
1977. (PNUD/FAO/IBDF/BRA-
76/027).

Hernandez Filho, P.; Lee,
D.C.L.; Shimabukuro, Y. E.;
Assis, O.R.; Medeiros, J.S.
Relatório das atividades do
Projeto IBDF/INPE de 1982-
1984. São José dos Campos,
INPE, jan. 1985. (INPE-3396-
RTR/067).

Kirby, C.L.; Van Eck P.I. A
basis for multistage forest
inventory in the Boreal Forest
Region. In: Canadian
Symposium on Remote Sensing,
4., Quebec, 1977. Proceedings.
Ottawa, Ontário, Canadian
Aeronautics and Space
Institute, 1977, v.4, p.72-94.

Langley, P.G. Multistage
variable probability sampling:
theory and use in estimating
timber resources from space
and aircraft photography.
(PH. D. Dissertation) -
Berkeley, University of
California, Berkeley, 1975.

Novaes, R.A.; Lee, D.C.L.;
Hernandez Filho, P.; Santos,
A. P.; Ponzoni, F.J. Nation-
wide forest mapping and timber
volume estimation using
Landsat-5 TM imagery. São José
dos Campos, INPE, aug., 1988.
(INPE-4643-PRE/1354).

Universidade Federal de Viçosa.
(UFV) Inventário florestal
preliminar da Floresta
Nacional do Tapajós, Estado do
Pará - Floresta de flanco e de
declive. Viçosa, 1983.