

**Universidade do Amazonas - UA**  
**Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA**

**Modelagem de Biomassa Florestal Através do Padrão Espectral  
no Sudoeste da Amazônia**

**Mabiane Batista França**

**Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais do convênio INPA/UA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias, área de concentração em Ciências de Florestas Tropicais.**

**Manaus - AM**

**2002**

Universidade do Amazonas - UA  
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA

**Modelagem de Biomassa Florestal Através do Padrão Espectral  
no Sudoeste da Amazônia**

**Mabiane Batista França**

**Orientador: Dr. Bruce Walker Nelson**

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

Manaus – AM

2002



T  
634.9285  
F 814m  
p. 2

França, Mabiane Batista

Modelagem de Biomassa Florestal Através do Padrão Espectral no Sudoeste da Amazônia. / Mabiane Batista França. – Manaus-AM: INPA/UA. 2002

xiii + 106 pp.

Dissertação de Mestrado – INPA/UA

1. Biomassa Florestal    2. Densidade de madeira - 3. Ordenamento polar  
4. Padrão espectral – 5. Floresta Tropical

CDD (19. ed.) 634.92

Sinopse:

Estimativas de biomassa florestal através do padrão espectral, em florestas dominadas por bambu e florestas sem bambu, no Sudoeste da Amazônia. Mabiane Batista França. – Manaus-AM:INPA/UA. 2002

Palavras-chaves: Biomassa Florestal, Densidade de madeira, Ordenamento polar, Padrão espectral, Floresta Tropical

**A Deus**  
**Aos meus pais e irmãos**  
**Ao Bruno**  
**DEDICO.**



## AGRADECIMENTOS

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

Ao Dr. Bruce Walker Nelson, pela orientação, paciência, conhecimento transmitido, sugestões, amizade e contribuição ao meu amadurecimento científico no decorrer deste trabalho.

Ao Dr. Niro Higuchi, por suas valiosas sugestões, amizade e contribuição para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores do Curso de Ciências de Florestas Tropicais, em especial aos Drs. Gil Vieira, Joaquim dos Santos, Paulo de Tarso, Johannes van Leeuwen e Luis Antônio de Oliveira, pelos ensinamentos e pela amizade.

À CAPES, pela bolsa de estudos.

Aos meus amigos, Adriano, Edileve, Cláudia, Guilherme, pela amizade, companheirismo, apoio, e tudo mais que passamos juntos; em especial a minha amiga Lígia pelo carinho, amizade, incentivo e apoio na realização deste trabalho.

Aos colegas da turma de 1999, em especial a dois grandes amigos Lúcia e Hélio

Aos amigos Muza, Anne, Keillah, Ynglea, Reinaldo, Kikue, Juliana, Cileny, pelo apoio, colaboração e incentivo, ajudando a superar os obstáculos encontrados.

Ao amigo Dayson, por seu entusiasmo, apoio e constante companheirismo, e pela palavra de incentivo “*seja forte*”.

Um agradecimento especial ao Bruno, por seu amor, amizade, estímulo e por ter me dado coragem e força para realizar este estudo, ofereço os méritos desta conquista.

À todos que de alguma forma colaboraram na realização deste trabalho.

## RESUMO

Uma relação alométrica publicada para estimar a biomassa seca acima do solo a partir do diâmetro de árvores, elaborada para floresta densa da Amazônia Central, foi adaptada para uso em duas florestas abertas no sudoeste da Amazônia, aplicando duas correções lineares: uma que considera a menor densidade básica da madeira e outra que considera a menor altura de árvores para um dado diâmetro. Estas correções foram aplicadas para estimar a biomassa das duas florestas abertas -- uma com e a outra sem o bambu *Guadua weberbaueri* -- usando os inventários de Oliveira (2000). As correções foram derivadas usando dados coletados anteriormente de densidade de madeira de 12 árvores da Amazônia Central, dados relacionando altura com diâmetro de 348 árvores da Amazônia Central e dados inéditos de densidade básica, altura e diâmetro de 100 árvores derrubadas em cada uma das duas florestas abertas no sudoeste da Amazônia. A menor densidade básica e a menor altura das árvores no sudoeste da Amazônia comparado com Amazônia Central, teve forte efeito, reduzindo a estimativa de biomassa das duas tipologias de floresta no sudoeste amazônico. Os pesos secos totais estimados na floresta com bambu e sem bambu, com (sem) as correções, foram de 122 (206) t ha<sup>-1</sup> e 216 (300) t ha<sup>-1</sup>, respectivamente, para os caules >2,5 cm DAP. Para caules >10 cm DAP, a biomassa seca com (sem) a correção foi 100 (177) t ha<sup>-1</sup> na floresta com bambu e 200 (280) t ha<sup>-1</sup> na floresta sem bambu. Baseado nesse inventários, o bambu, que ocupa uma área de 180.000 km<sup>2</sup>, reduz em 44 - 50% o potencial de estocagem de biomassa nestas classes diamétricas. A biomassa da floresta sem bambu é 28-29% menor do que seria estimado sem as correções. A segunda parte deste estudo relaciona biomassa com o padrão espectral, no local dos inventários e extrapola esta relação para uma área de 90x90 km. Foi estimada a biomassa de cada pixel de floresta madura, em imagem do TM Landsat do ano de 1987, quando o bambu estava maduro e espectralmente estável. Todos os valores de reflectância, no espaço de atributos cujos os eixos são as bandas espectrais, foram ordenados ao longo de um eixo (nova banda) entre os dois centróides dos pixels das duas áreas inventariadas: floresta com e sem bambu. Os valores de reflectância ordenados foram escalonados para biomassa de árvores >10 cm DAP, fixando os dois extremos do eixo de ordenamento em 100 t ha<sup>-1</sup> e 200 t ha<sup>-1</sup>. Para aprimorar o modelo, foram executadas algumas etapas de pré-processamento digital na imagem de 1987 como: correção da variação no conteúdo de sombra ao nível de sub-pixel ao longo da varredura, causada pela geometria de iluminação; retificação geométrica; retificação radiométrica para uma atmosfera padrão mais limpa; transformação da radiância codificada em valores de reflectância topo-de-atmosfera e aplicação de filtro mediana com janela móvel de 7x7 pixels, para reduzir efeitos de sombras topográficas. Na área de 90x90 km, os pixels considerados florestados foram identificados usando três distâncias euclidianas: uma a partir do eixo de ordenamento e duas a partir dos extremos do eixo. A grande maioria dos pixels fora deste "cilindro de aceitabilidade" são capoeiras, pastos, área urbana, corpos d'água, praias e estradas; estes não foram modelados e constituem ~28% da área. Todas as etapas do pré-processamento, criação do cilindro de aceitabilidade e o ordenamento polar foram semi-automatizadas usando comandos de macro, para que o modelo possa ser rodado e modificado com facilidade, com diferentes variáveis de entrada. Na área de 90x90 km, o modelo detectou para as árvores >10 cm de DAP, uma biomassa média praticamente inalterada com e sem aplicação de filtro mediana nas bandas (168 t ha<sup>-1</sup> versus 167 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente). Com o filtro mediana, mais pixels de floresta foram corretamente identificados e incorporados no cilindro de aceitabilidade para modelagem, dentro do espaço-banda.

## ABSTRACT

A published allometric relationship that estimates above-ground dry biomass using tree diameters, based on Central Amazonian dense forest, was adapted for use in two open forests of the southwest Amazon by applying two linear corrections: one for the lower basic density of wood in each of these forests and another that considers the tendency for trees to be shorter in both open forests. Corrections were derived using previously collected density data for 12 Central Amazon trees, previously collected height-diameter relationships for 348 Central Amazon trees and new basic density, height and diameter data from 100 trees felled in each of the two open forests of the southwest Amazon, one with and one without the bamboo *Guadua weberbaueri*. The corrected allometric equation was then applied to estimate biomass of these two open forests, using inventory data from Oliveira (2000). Corrections for lower basic density and lower height, devised for each forest type, greatly reduced estimated biomass. Total above-ground dry weights in the forests with bamboo and without bamboo, with (without) corrections, were 122 (206) t ha<sup>-1</sup> and 216 (300) t ha<sup>-1</sup>, respectively, for all stems > 2.5 cm DBH (i.e., including bamboo stems). For trees > 10 cm DBH, the dry biomass with (without) correction was 100 (177) t ha<sup>-1</sup> and 200 (280) t ha<sup>-1</sup>, respectively. Presence of bamboo, which covers 180,000 km<sup>2</sup> in this region, thus reduces biomass storage potential by 44-50% in these size classes. The biomass of the forest without bamboo is 28-29% less than would be estimated without the corrections. In the second part of this study, a relationship between biomass and spectral patterns at the inventory sites was extrapolated across an area of 90x90 km. Biomass was estimated for all mature-forest pixels in an image from the Landsat Thematic Mapper orbital sensor, dated 1987, when the bamboo was mature and spectrally stable. All reflectance values in band-space were ordinated along an axis between the two centroids of pixels at the two inventory sites (forest with and without bamboo). Ordinated reflectance was then scaled to biomass for trees >10 cm DBH, i.e. using 100 t ha<sup>-1</sup> and 200 t ha<sup>-1</sup> for the two axis endpoints. To improve the model, several pre-processing steps were executed on the 1987 image: correction of along-scan variation in pixel shade content caused by illumination geometry, geometric rectification, radiometric rectification to a cleaner atmosphere standard, transformation of rectified encoded radiance values to top-of-atmosphere reflectance, and application of a median filter with 7x7 pixel kernel to reduce effects of topographic shadows. Over the entire 90x90 km area, all pixels considered forested were identified using three euclidian distance thresholds: one measured from the ordination axis and two measured from the endpoints of this axis. Most pixels outside this "cylinder of acceptability" are secondary forests, pastures, urban area, water bodies, beaches or roads; these masked unmodeled pixels constitute ~28% of the area. All stages of pre-processing, masking and the polar ordination itself were semi-automated using macro command notation, so that the model can be easily run and modified. Over the 90 x 90 km area, the model detected, for trees > 10 cm DBH, an average biomass value for all forested pixels which was similar whether or not the median filter was used on the raw bands (168 t ha<sup>-1</sup> versus 167 t ha<sup>-1</sup>, with and without filter, respectively). The median filter allowed more forested pixels to be properly identified and included in the cylinder of acceptability for modelling within TM band space.

## SUMÁRIO

CAPÍTULO I. INTRODUÇÃO GERAL.....	1x
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Estimativas de biomassa nas florestas Amazônicas.....	3
1.2. Sensoriamento remoto.....	5
1.2.1. Processamento digital.....	6
1.2.2. Correção geométrica.....	6
1.2.3. Intercalibração radiométrica.....	8
1.2.4. Imagem reflectância.....	9
1.2.5. Filtragem digital.....	10
1.2.5.1. Filtro passa baixa ou de suavização.....	10
1.2.5.2. Filtro de mediana.....	11
2. OBJETIVO GERAL.....	11
3. ÁREA DE ESTUDO.....	12
3.1. Localização.....	12
3.2. Vegetação.....	12
3.3. Solos.....	12
3.4. Clima.....	12
CAPÍTULO II. ESTIMATIVAS DE BIOMASSA EM DUAS TIPOLOGIAS	
FLORESTAIS NO ESTADO DO ACRE.....	15
1. INTRODUÇÃO.....	15
2. OBJETIVOS.....	15
3. MÉTODOS.....	15
3.1. Correção do efeito de altura sobre peso seco estimado: primeira aproximação.....	17
3.2. Correção do efeito de altura sobre peso seco estimado: segunda aproximação.....	19
3.3. Correção do efeito de densidade sobre peso seco estimado.....	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
4.1. Equações alométricas.....	24
4.2. Correção do efeito de altura sobre peso seco estimado: primeira aproximação.....	25
4.3. Correção do efeito de altura sobre peso seco estimado: segunda aproximação.....	28
4.4. Correção do efeito de densidade sobre o peso seco estimado.....	32
4.5. Estimativas de biomassa.....	34
4.6. Árvores ocadas.....	35
5. CONCLUSÕES.....	36
CAPÍTULO III. ORDENAMENTO POLAR DE VALORES DE REFLECTÂNCIA NO	
ESPAÇO-BANDA ENTRE FLORESTAS COM BAMBU E FLORESTA SEM BAMBU.....	38
1. INTRODUÇÃO.....	38
1.1. Modelagem de biomassa florestal utilizando Landsat TM.....	38
1.2. Fontes de erro no modelo.....	43
1.2.1. Geometria de iluminação.....	43
1.2.2. Sombras topográficas.....	43

1.2.3. Névoa/fumaça heterogênea na imagem.....	43
1.2.4. Correção geométrica.....	44
1.2.5. Intercalibração radiométrica.....	45
1.2.6. Imagem reflectância.....	45
1.2.7. Filtragem digital.....	46
2. OBJETIVOS.....	46
3. MÉTODOS.....	47
3.1. Imagens empregadas.....	47
3.2. Etapas de pré-processamento.....	47
3.2.1. Geometria de iluminação.....	47
3.2.2. Correção geométrica.....	47
3.2.3. Intercalibração radiométrica.....	48
3.2.4. Transformação de números digitais (DN) em valores de reflectância.....	49
3.2.5. Variância ocasionada pela topografia.....	52
3.2.6. Eliminação da banda 3.....	55
3.3. Ordenamento polar de reflectância e escalonamento para valores de biomassa viva acima do solo (> 10 cm DAP).....	55
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
4.1. Etapas de automatização do pre-processamento, da criação da máscara de aceite e do ordenamento polar.....	57
4.2. Estimativas de biomassa média e total para a área de 90x90 km.....	59
4.3. Imagens-Biomassa.....	59
5. CONCLUSÃO.....	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66
ANEXO I. Dados das árvores derrubadas nas duas tipologias florestais no Estado no Acre.....	70
ANEXO II. Detalhamento dos comandos de macro organizados em cinco etapas.....	75

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Extensão das florestas dominadas por bambu no sudoeste da Amazônia. Fonte: B. Nelson & R. Kalliola (ined.), baseado na interpretação de imagens Landsat do INPE e INRENA.....13
- Figura 2. Florestas dominadas por bambu maduro no sudoeste da Amazônia são de cor amarelo-clara e florestas sem bambu são de cor verde-escura, em mosaico falsa-cor imagens TM, bandas, 3,4,5 (b-g-r). Quadrante SW da cena 002-066 indicado pelo contorno branco. Imagens adquiridas entre agosto e novembro de 1999. Fonte: EROS Data Center (<http://edcwww.cr.usgs.gov/>).....13
- Figura 3. Área modelada: 1/4 da cena 002-066 da imagem Landsat TM 25 de agosto de 1987. A seta indica a localização dos inventários de Oliveira (2000). Veja capítulo II. A cor amarela clara corresponde a floresta com bambu, a cor escura avermelhada corresponde a floresta semi-decídua sem bambu e a cor verde escura corresponde a floresta primária de platô, sem bambu. Pasto, área urbana e estradas são de cor vermelha.....14
- Figura 4. Distribuição dos inventários de Oliveira (2000). Floresta com bambu à direita (amarela), sem bambu à esquerda. Manchas arroxeadas geométricas são pastos.....16
- Figura 5. Regressões hipotéticas entre diâmetro e altura para árvores da Amazônia Central (linha tracejada) e uma das tipologias florestais no Acre (linha cheia).....19
- Figura 6. O fator multiplicativo de correção de peso de determinada árvore, em função da altura observada ser maior (ou menor) que o esperado, é dado pela inclinação desta reta.....21
- Figura 7. Relação entre altura total (HT) e diâmetro (DAP) para árvores da Amazônia Central (n=348; dados cedidos por Higuchi, excluindo 6 outliers) e duas tipologias agrupadas de florestas no Acre (n=201).....25
- Figura 8. Relação entre ln(DAP) e altura total (HT) em amostras de árvores de floresta densa da Amazônia Central.....26
- Figura 9. Relação entre HT e ln(DAP), para as árvores da floresta com bambu (n=100), comparadas com as árvores da Amazônia Central.....27
- Figura 10. Relação entre HT e ln(DAP), para as árvores da floresta sem bambu (n=101), comparadas com as árvores da Amazônia Central.....27
- Figura 11. Fator multiplicativo de redução do peso seco, após a estimação pela equação 2, baseado nas figuras 9 e 10.....28
- Figura 12. O eixo horizontal é  $X = \frac{(H - \hat{H})}{\hat{H}}$  e o eixo vertical  $Y_1 = \frac{(\hat{P}_{DH} - \hat{P}_{DH})}{\hat{P}_{DH}}$ . O eixo vertical indica quanto o peso fresco estimado pela RM com ln(DAP)obs e ALTobs é maior que o peso fresco estimado com ln(DAP)obs e ALTesperada. O eixo horizontal indica quanto a árvore é mais alta que o esperado, para seu diâmetro. A inclinação da reta é o valor de atenuação do fator multiplicativo de correção do peso seco.....28
- Figura 13. Relação entre ln(PF) e ln(DAP) para as árvores da Amazônia Central (n=348; dados cedidos por Higuchi).....30
- Figura 14. O eixo horizontal é  $X = \frac{(H - \hat{H})}{\hat{H}}$  e o eixo vertical  $Y_2 = \frac{(P - \hat{P})}{\hat{P}}$ . O eixo horizontal indica quanto a árvore é mais alta que o esperado para seu diâmetro e o vertical indica quanto a árvore é mais pesada que o esperado para seu diâmetro.....31
- Figura 15. Densidade básica e diâmetro das árvores da floresta sem bambu e com bambu.....33

Figura 16. Composição de falsa cor das bandas 3, 4 e 5 (B-G-R) do quadrante inferior esquerdo da cena 002-066 do sensor orbital Mapeador Temático (TM) do satélite. Imagem adquirida em 25/08/87. ....	40
Figura 17. Valores de brilho nas bandas 4 e 5 do sensor TM dos três locais: (a) floresta semi-decídua sem bambu; (b) floresta com alta densidade de bambu e (c) floresta intermediária. ....	41
Figura 18. Dois critérios de rejeição de alvos no modelo: (d) queimadas novas, que projetam muito além de uma extremidade do eixo de ordenamento e (e) áreas urbanas, com distância euclidiana do eixo excessiva antes da projeção. ....	42
Figura 19. Limiares de distância euclidiana nas áreas de rejeição e aceitabilidades dos pixels projetados entre os pólos, no espaço-banda. ....	42
Figura 20. Efeito de névoa/fumaça heterogênea, na banda 3 (faixa do visível vermelho), com polígonos de áreas desmatadas. ....	44
Figura 21. Correção aditiva variável (leste-oeste) em cada banda para cenas inteiras com 7000 colunas de pixels (Collett <i>et al.</i> , 1999). ....	49
Figura 22. Imagem aditiva para corrigir o efeito de anisotropia em cada banda, no sentido leste-oeste. A escala é apropriada para a banda 5 em uma cena inteira. ....	49
Figura 23. Histogramas e variância dos valores de brilho da banda 5, em um recorte de floresta com bambu (A) e sem bambu (B), ambas indicadas pelas caixas brancas na imagem e na legenda do histograma. A variância ocasionada pela topografia é maior na floresta com bambu, devido ao maior contraste entre o lado iluminado e o lado sombreado de colinas. ....	54
Figura 24. Reduzida variância de brilho na floresta com bambu (A) e sem bambu (B) após aplicação de filtro mediana com janela móvel de 7x7 pixels. ....	54
Figura 25. Imagem Landsat TM com composição de falsa cor das bandas 3-4-5, do quadrante inferior esquerdo da cena 002-066. A cor escura avermelhada corresponde a floresta semi-decídua sem bambu. A cor amarela clara corresponde a floresta com alta densidade de bambu. Pasto queimado, área urbana e estradas são indicados pela cor magenta. ....	60
Figura 26. Imagem biomassa ( $t\ ha^{-1}$ para árvores $>10\ cm$ de DAP) derivada de três bandas (4, 5 e 7) do Landsat - 5 TM, sem aplicação do filtro mediana. A cor azul corresponde a baixa biomassa na floresta dominada por bambu e a cor amarela clara corresponde a alta biomassa na floresta sem bambu. Os pixels pretos são aqueles externos ao cilindro de aceite e portanto, considerados não florestados: rio Purus, lagos, praias, estradas, pastos e área urbana. Entretanto, aproximadamente, 5% dos pixels de florestas são incorporados nesta máscara. ....	61
Figura 27. Imagem biomassa ( $t\ ha^{-1}$ para árvores $>10\ cm$ de DAP) derivada de três bandas (4, 5 e 7) do Landsat - 5 TM, com aplicação do filtro mediana 7x7. Neste caso a máscara de rejeição inclui apenas 1% dos pixels de floresta, aproximadamente. ....	62
Figura 28. Histograma de imagem biomassa para árvores maiores que 10 cm de DAP sem o filtro mediana. A máscara de aceitabilidade descarta pixels abaixo de $32\ t\ ha^{-1}$ e acima de $248\ t\ ha^{-1}$ , como sendo pixels não florestais, bem como pixels distantes do eixo de ordenamento. A distorção tendendo para a esquerda é devido a maior variância de valores de brilho na floresta com bambu. ....	63
Figura 29. Histograma de imagem biomassa para árvores maiores que 10 cm de DAP com o filtro mediana 7x7. A máscara de aceitabilidade descarta pixels abaixo de $50\ t\ ha^{-1}$ e acima de $231\ t\ ha^{-1}$ , como sendo pixels não florestais, e também rejeita pixels distantes do eixo de ordenamento. ....	63

- Figura 30. Ampliação de recorte da figura 27, mostrando com detalhes as duas áreas inventariadas, sem aplicação do filtro mediana, onde 5% ( $\pm 2$  desvios padrões) dos pixels de floresta foram rejeitados (pretos). A grande mancha preta é um pasto, corretamente rejeitado pelo modelo. A escala de biomassa é a mesma das figuras 27 e 28.....64
- Figura 31. Ampliação da mesma área, com aplicação do filtro mediana; apenas 1% ( $\pm 3$  desvios padrões) dos pixels de floresta foram rejeitados pelo modelo. ....64



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Distribuição das amostras aleatórias de madeira, baseada na área basal das classes diamétricas, nas duas tipologias florestais .....	24
Tabela 2. Médias da densidade de madeira na altura do peito para árvores nas duas tipologias florestais no Acre. ....	33
Tabela 3. Peso seco em pé ( $t\ ha^{-1}$ ) nas duas tipologias florestais, em três classes de CAP; total para estas três classes; e total para DAP >10 cm (CAP > 31,1 cm) e DAP > 31,8 cm (CAP > 99,9 cm). ....	34
Tabela 4. Fração do disco ocado à altura do peito em 12 árvores, nas duas tipologias florestais. ....	36
Tabela 5. Valores de $Lmin_{\lambda}$ , $Lmax_{\lambda}$ e $ESol_{\lambda}$ referentes às bandas do Landsat 5 TM das datas 1987 e 1988. ....	52
Tabela 6. Coeficientes da transformação linear de DN em reflectância, topo-de-atmosfera, padrão 1988. ....	52
Tabela 7. Resultados da modelagem de biomassa em área de 90x90 km. ....	59
Tabela 8. Coeficientes de transformação linear (reescalamento) da imagem [dte] baseado em Collett <i>et al.</i> (1999), considerando coluna 3061 como meio de varredura. ....	76
Tabela 9. Valores de radiância codificada nos alvos radiometricamente invariantes após a correção anisotrópica de iluminação e subtraído o offset de +5 DN. ....	83
Tabela 10. Coeficientes da transformação de DN (1987) em reflectância topo-de-atmosfera, padrão 26 de julho de 1988. ....	84
Tabela 11. Médias de reflectância “topo de atmosfera-limpa” de cada banda da imagem 1987, obtidas nas áreas inventariadas por Oliveira (2000) sem aplicação do filtro mediana. ....	85
Tabela 12. Médias de cada banda filtrada da imagem 1987, obtidas na floresta com bambu. ....	92

## CAPÍTULO I. INTRODUÇÃO GERAL

### 1. INTRODUÇÃO

A diversidade da floresta tropical pode sofrer alterações em virtude da dominância de uma única espécie. Esta dominância é atribuída a vários fatores como: crescimento rápido de uma única espécie, áreas de florestas primárias que sofreram perturbações por queimadas, desmatamentos, intervenções antrópicas e mecanismos de distúrbios naturais (Posey & Balée, 1989; Nelson, 1994).

Segundo Hart (1990), a dominância seria o resultado do estabelecimento maciço de uma única espécie de crescimento rápido e sugere que a competição interespecífica seja um dos principais fatores da monodominância.

Oliveira (2000) verificou no sudoeste da Amazônia a monodominância do bambu arborescente *Guadua weberbaueri* Pilger nas florestas de terra firme. A floresta aberta com bambu encontra-se distribuída principalmente nos Estados do Amazonas e do Acre e uma parte adjacente do Peru. A concentração do bambu, nesta formação, é de tal modo significativo, a ponto de ser denominada de "floresta de bambu" (Veloso *et al.*, 1991).

Com advento das imagens escaneador multi-espectral (MSS) do Landsat, os técnicos do Projeto RADAMBRASIL puderam delimitar, aproximadamente, as grandes áreas da floresta com bambu e determinar a sua importância, incluindo-a como mais uma "faciação florística da floresta aberta" nos Estados do Acre e do Amazonas. Contudo, foi pela incorporação de bandas do infravermelho médio do sensor mapeador temático (TM) do Landsat 4 que se pôde delimitar com mais precisão uma grande mancha de floresta com predominância de bambu, cercada de muitas outras manchas menores, dando a impressão de que as comunidades de bambu encontram-se em expansão (Veloso *et al.*, 1991).

Vidalenc (2000) demonstrou que as altas densidades do bambu *Guadua weberbaueri* no Acre ocorrem sobre vertissolos (argiloso, ricos em cátions e smectita, mal drenados), mas não ocorrem em latossolos ou podzóis lixiviados. Vertissolos são dominantes no sudoeste da Amazônia enquanto latossolos e podzóis geralmente predominam na terra firme no resto da Amazônia, fato que provavelmente explica a grande concentração de *G. weberbaueri* (e de *G. sarcocarpa*) no sudoeste da Amazônia. Entretanto, nem todos os vertissolos no Acre foram colonizados por bambu. A geometria das manchas de floresta de bambu em imagens Landsat sugere que estão ainda expandindo muito lentamente sobre vertissolos. A presença destas "bordas biológicas" em áreas de vertissolos fornece um experimento natural que permitiu a Oliveira (2000) e Nelson *et al.*

(2001) estimarem o incremento potencial de área basal e de biomassa de uma floresta com bambu *Guadua weberbaueri*, caso o bambu fosse eliminado por práticas de manejo. O colmo é facilmente derrubado com um ou dois golpes de terçado, e sua densidade é muito baixa durante alguns anos na fase de regeneração após a mortalidade sincronizada natural, característica de muitos bambus lenhosos. Há muito pouca rebrota de colmos grossos após a primeira limpeza, de modo que as limpezas sucessivas devem ser mais fáceis. Segundo agricultores do Acre, três limpezas sucessivas são suficientes para matar a planta, exaustando suas reservas subterrâneas.

Através de imagens Landsat TM, fotografias aéreas e verdade de campo, a área total dominada por bambu arborescente foi estimada em, aproximadamente, 180.000 km<sup>2</sup> da Amazônia ocidental, sendo 92.000 km<sup>2</sup> no Brasil (Nelson & Irmão, 1998). Tais florestas mostram um padrão espectral semelhante àquelas de capoeira jovens, pois as folhas de bambu preenchem os espaços entre árvores individuais, tomando a topografia do dossel mais regular (Ahem *et al.*, 1993 *apud* Clark & Judziewicz, 1999).

Segundo Oliveira (2000) estes bambus são monocárpicos –florescem uma única vez de maneira sincronizada -- e possuem longos ciclos de vida (30 anos para *Guadua weberbaueri*). Após o evento reprodutivo, há mortalidade sincrônica de praticamente todos os indivíduos de uma população. Cada população sincrônica ocupa 10<sup>2</sup> a 10<sup>4</sup> quadrados.

Smith (2000) afirma que as florestas de bambus arborescentes no Estado do Acre estão distribuídas de forma contínua e em grandes manchas, conhecidas como "tabocais" na região. As florestas de bambus podem ser visualizadas em imagens de satélite, pois possuem um padrão espectral semelhante a florestas secundárias, distinguindo-as das florestas sem bambu. As imagens permitem também a distinção entre as fases de mortalidade, imaturo (restrito ao sub-bosque) e maduro (domina o dossel) no ciclo de vida de *Guadua*. Durante o período de mortalidade sincronizada, as florestas dominadas por bambu apresentam um padrão espectral de pixels misturados, de folhas saudias (as árvores) e galhos iluminados (o bambu sem folhas). Nesta fase, as florestas de bambus são reconhecidas pela maior reflectância na banda TM 5, tendo a tonalidade castanha quando apresentadas como composições falsa cor das bandas TM 3-4-5 atribuídas as cores primárias azul-verde-vermelho.

Nelson (1994) estudando florestas de bambu arbóreo (*Guadua weberbaueri* e *G. sarcocarpa*) que ocorrem no estado do Acre, utilizando imagens Landsat TM, pôde verificar, além da mortalidade sincrônica, diferentes estágios de crescimento, reconhecidos como grandes manchas com bordas redondas, espectralmente homogêneas internamente e

distintas entre si. De acordo com este mesmo autor, estes bambus são umas das poucas espécies de dossel amazônico reconhecidas pelo sensoriamento remoto.

Silveira (1999) e Oliveira (2000), em seus estudos para quantificar alterações na fisionomia das florestas com e sem bambu e na estrutura da comunidade, observaram que o lento restabelecimento de *Guadua weberbaueri*, aparentemente, fornece uma oportunidade temporária para o adensamento das árvores pioneiras. Entretanto, estas árvores devem sofrer rarefação com o futuro adensamento do bambu.

### ***1.1. Estimativas de biomassa nas florestas Amazônicas***

As estimativas de biomassa florestal fornecem informações imprescindíveis nas questões ligadas a fatores climáticos, as áreas de manejo florestal, estoque de nutrientes, dinâmica das florestas tropicais e na contribuição do desmatamento para o aumento do dióxido de carbono na atmosfera. No primeiro caso, a biomassa é usada para estimar o estoque de carbono, e conseqüentemente, são usados para estimar a quantidade de CO<sub>2</sub> que são liberados à atmosfera durante o processo de queimadas. Com relação ao manejo florestal, a biomassa está relacionada com os estoques de macros e micronutrientes da vegetação, onde são obtidos pelo produto da massa pelas concentrações de cada mineral (Higuchi *et al.*, 1998).

A contribuição das florestas Amazônicas na liberação do carbono para atmosfera tem sido estudada por vários autores, e apresentam fontes de incertezas. Diversos estudos têm tentado quantificar a biomassa acumulada e conseqüentemente o seqüestro do carbono pelas florestas primária e secundária.

As estimativas de biomassa florestal existentes na literatura, das diversas tipologias florestais na Amazônia, vêm de estudos de métodos diretos e indiretos. O método direto baseia-se na derrubada e pesagem de todas as árvores que ocorrem em parcelas fixas. Segundo Brown *et al.* (1989), estas estimativas não são confiáveis por basearem-se em poucas amostras, pequenas e tendenciosamente escolhidas. No método indireto, estas estimativas têm sido produzidas a partir de dados de inventário florestal, geralmente executados com a finalidade de planejar a exploração e o manejo florestal. 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 diâmetro à altura do peito (DAP) menor que 25 cm (Higuchi *et al.*, 1998). Higuchi & Carvalho (1994) citam que a densidade da madeira varia de espécie para espécie, dentro da mesma espécie e, entre os diferentes compartimentos da árvore (tronco, galhos grandes e pequenos etc.), e ainda dentro do

mesmo compartimento, no sentido base-topo e medula-casca. Da mesma forma, o fator de forma (usado para calcular o volume de cada árvore) varia de espécie para espécie e de sítio para sítio.

Outro método indireto para estimar a biomassa total acima e abaixo do solo, seria a aplicação de equações alométricas para cada árvore, relacionando peso seco das árvores (variável dependente) e mensurações de campo, como diâmetro, altura e densidade da madeira (variáveis independentes) (Nelson *et al.*, 1999).

Na Amazônia foram desenvolvidas equações para estimar a biomassa de espécie específica e para comunidades sem a identificação das espécies, com diferentes classes de diâmetros. Saldarriaga *et al.* (1988) desenvolveram equações para três diferentes classes de diâmetros em florestas sucessionais no noroeste na Amazônia, baseado em diâmetro à altura do peito (DAP), altura (H) e densidade da madeira. Equações baseadas em DAP, altura e densidade de madeira para várias espécies da floresta tropical da Amazônia e Ásia, foram desenvolvidas por Honzák *et al.* (1996), utilizando dados de Brown *et al.* (1989) para diâmetros de 5-35 cm de DAP. Outras equações também foram desenvolvidas na Colômbia, por Overman *et al.* (1994) combinando DAP, altura e densidade da madeira, abrangendo DAP entre 10 a 45 cm. Em florestas secundárias, foram desenvolvidas equações alométricas para espécies específicas (p.ex. *Cecropia*) e também para várias espécies com diferentes classes de diâmetro (Nelson *et al.*, 1999). Para as árvores maiores que 5 cm de DAP, em florestas densas da região amazônica, as melhores equações alométricas, que estimam a biomassa a partir do diâmetro, foram baseadas em árvores da Amazônia Central (Santos, 1996; Higuchi *et al.*, 1998; Chambers *et al.*, 2001). Atualmente este grupo de pesquisadores detem dados sobre peso fresco, altura e diâmetro de 354 árvores, doravante denominados dados do grupo SHC. Árvores de floresta densa do Pará demonstram uma boa concordância com as relações alométricas desenvolvidas na Amazônia Central (Higuchi & Carvalho, 1994). Baseando-se em 315 árvores (DAP  $\geq$  5 cm) cortadas na Amazônia Central, Chambers *et al.* (2001) elaboraram um modelo polinomial relacionando diâmetro e peso das árvores, o qual também apresentou boa concordância quando comparado com outros modelos desenvolvidos em diferentes florestas tropicais densas.

Rodin & Bazilevich (1967) *apud* Santos (1996), em seus estudos globais de biomassa seca, estimaram um valor médio acima de 500 t ha<sup>-1</sup>, para as florestas tropicais. De acordo com o dados do Zoneamento Ecológico e Econômico do Estado do Amazonas (1999), a vegetação de maior destaque em termos de t ha<sup>-1</sup> de biomassa fresca foi a

Florestas Tropical Densa (FTD) com  $414 \text{ t ha}^{-1}$ . Este fato deve-se ao acesso restrito a essas regiões que dificulta a exploração desejada pelos madeireiros. A estimativa mais recente de Feamside (2000a) indica uma média ponderada pela área de cada fisionomia florestal, de  $463 \text{ t ha}^{-1}$  de biomassa seca total na Amazônia, incluindo biomassa viva e morta, acima e abaixo do solo. Sua estimativa para biomassa acima do solo é de  $354 \text{ t ha}^{-1}$ , a qual  $28 \text{ t ha}^{-1}$  é morta; a média da biomassa abaixo do solo é de  $109 \text{ t ha}^{-1}$ .

Segundo vários autores os métodos para estimativa de biomassa têm sido assunto de muita polêmica e controvérsia e, produzem estimativas diferentes, mesmo quando se utiliza o mesmo banco de dados (Feamside *et al.*, 1993; Higuchi *et al.*, 1994; Brown *et al.*, 1995). O consenso existente entre os pesquisadores é de que é quase impossível determinar a biomassa de cada árvore, pelo método direto, ao executar um inventário florestal. Portanto, os recursos da análise de regressão para o desenvolvimento de modelos alométricos, para estimar a biomassa de árvores em pé, devem ser empregados para resolver este problema (Higuchi *et al.*, 1998).

### 1.2. Sensoriamento remoto

O sensoriamento remoto difere de outras técnicas de aquisição e análise de dados sobre os recursos naturais, devido à utilização de sensores que não estão em contato físico direto com o objeto sob investigação (Jensen, 1986).

Grande parte dos sensores remotos registram a radiação eletromagnética refletida ou emitida pelo objeto, entretanto, dependendo da aplicação para a qual se destinam, podem registrar também outros tipos de energia (acústica ou gravitacional) (Nishida, 1998).

No processo do sensoriamento remoto, destacam-se alguns componentes básicos na fase de aquisição de dados: fonte de radiação eletromagnética; o alvo que recebe, absorve e reflete esta radiação; sensor; plataforma do sensor; atmosfera por onde se propaga a energia e, finalmente, o produto resultante das interações entre radiação e alvo. As plataformas registram a energia proveniente do alvo, que será processada para posterior análises e interpretação (Nishida, 1998).

Um dos principais sistemas orbitais de sensoriamento remoto de recursos naturais é o Landsat 5. Atualmente, este satélite transporta um sensor TM (Mapeador Temático), o qual opera numa órbita com altitude nominal de 705 km. O sensor TM possui 7 bandas, cada uma representando uma faixa do espectro eletromagnético. As bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 possuem  $30 \times 30 \text{ m}$  de resolução geométrica, isto é, cada pixel da imagem representa uma

área de 0,09 ha de terreno. A resolução temporal do sensor, ou seja, a taxa de frequência de imageamento da Terra, é 16 dias, tempo que corresponde ao intervalo de repetições de imagens em um mesmo local, e cada imagem recobre uma área de 185 x 185 km, sendo composta de 6000 linhas de varredura cada qual com, aproximadamente, 6000 pixels. Na Amazônia, a resolução temporal efetiva do sensor fornece apenas uma ou duas imagens limpas, sem nuvens ou fumaças, por ano (Nelson, 1994).

### **1.2.1. Processamento digital**

O pré-processamento digital de imagens de sensoriamento remoto trata especificamente das técnicas utilizadas para identificar, extrair, condensar e realçar a informação de interesse para determinados fins, a partir de uma grande quantidade de dados que usualmente compõem essas imagens, para posterior análise e interpretação. Nesse sentido, sistemas dedicados de computação são utilizados para atividades interativas de análise e manipulação das imagens brutas (Crósta, 1992).

As imagens de sensores remotos possuem quase sempre uma característica que as diferenciam de outras imagens digitais: o fato de serem multiespectrais. Imagens multiespectrais são aquelas adquiridas em diferentes porções do espectro eletromagnético (Crósta, 1992).

De acordo com Richards (1993) *apud* Sassagawa (1999) nos estudos multitemporais, para o monitoramento de mudanças na cobertura vegetal, as imagens orbitais necessitam da aplicação de correções, que normalizem todas as cenas sob os mesmos parâmetros.

A análise digital de uma imagem engloba uma série de técnicas de manipulação numérica de dados contidos em imagens digitais. A seguir são apresentadas as técnicas de pré-processamento de imagens digitais.

### **1.2.2. Correção geométrica**

Imagens geradas por sensores remotos estão sujeitas a uma série de distorções espaciais, não possuindo, portanto, precisão cartográfica quanto ao posicionamento dos objetos, superfícies ou fenômenos nelas apresentados. Para que a precisão cartográfica seja introduzida em imagens de sensoriamento remoto, faz-se necessário que essas imagens digitais sejam corrigidas, segundo algum sistema de coordenadas. A transformação de

uma imagem de modo que ela assuma as propriedades de escala e de projeção de um mapa é chamada de *correção geométrica*. Esse tipo de correção pode ser executado em um sistema de processamento digital de imagens (Crósta, 1992).

Segundo Sassagawa (1999), o imageamento é afetado por diversas fontes de erro, os quais ocasionam distorções geométricas na imagem. Os erros internos são causados por distorções do próprio sensor e, o erro externo é ocasionado devido aos efeitos da plataforma e das condições de imageamento. Essas distorções podem estar relacionadas a vários fatores como: rotação da Terra; taxa de varredura de alguns sensores; curvatura da Terra; instabilidade na plataforma (altitude, latitude e velocidade); distorções panorâmicas relacionadas com a geometria de aquisição (Mather, 1987; Richards, 1993 *apud* Thalês, 2000; Richards, 1986 *apud* Pereira, 1996).

Nas imagens multi-temporais de satélite existe a necessidade de se combinar duas imagens diferentes de uma mesma área, ou seja, comparar mudanças ocorridas de uma determinada área, em diferentes épocas. Uma vez que a plataforma (satélite) que carrega o sensor é afetada por movimentos aleatórios, duas imagens obtidas em diferentes épocas jamais terão cobertura equivalente no terreno, ainda que o sensor e o satélite sejam os mesmos. Para que duas imagens sejam perfeitamente coincidentes no espaço é necessário que sofram um tipo de transformação especial conhecida por *registro*. O registro é então o ajuste do sistema de coordenadas de uma imagem (dado em pixels/linhas) ao sistema equivalente de uma outra imagem, cobrindo a mesma área (Crósta, 1992).

De acordo com vários autores (Crósta, 1992; Mather, 1987; Richards, 1993; Shimabukuro *et al.*, 1998 *apud* Sassagawa, 1999) o processo de correção geométrica envolve as seguintes etapas:

I – determinação da relação entre o sistema de coordenadas do mapa ou da imagem de referência, e da imagem a ser corrigida;

II – estabelecimento de um conjunto de pontos de controle na imagem a ser corrigida

III – cálculo dos valores de intensidade dos pixels na imagem corrigida, por interpolação das intensidades dos pixels da imagem original.

Segundo Crósta (1992), a relação entre os dois sistemas de coordenadas (mapa e imagem a ser corrigida) pode ser calculada de duas formas. A primeira delas é através do *conhecimento exato dos parâmetros geométricos da órbita do satélite e de outras variáveis*, também chamada de *modelo de geometria orbital*. A segunda forma de se calcular a relação entre os dois sistemas de coordenadas, e também a mais utilizada, é



através da *definição de pontos de controle no terreno*, que tem de ser reconhecíveis tanto no mapa como na imagem a ser corrigida.

O método de correção geométrica consiste em estabelecer diferenças de posicionamento de alguns pontos na imagem e no mapa. A partir dessas diferenças, a natureza da distorção presente na imagem pode ser estimada e uma transformação adequada pode ser aplicada, com o objetivo de corrigir a imagem (Crósta, 1992). A transformação de coordenadas é então modelada usando-se um único polinômio linear, que pode ser de primeira, segunda e terceira ordem, obtidos por meio de um ajuste pelo método dos mínimos quadrados em relação aos pontos de controle (Sassagawa, 1999). O grau de polinômio a ser utilizado dependerá do número de pontos de controle disponível e de sua distribuição espacial, ou seja, quanto maior o grau do polinômio, maior o número de pontos de controle necessários (Richards, 1993 *apud* Sassagawa, 1999; Thalês, 2000).

### **1.2.3. Intercalibração radiométrica**

A intercalibração radiométrica refere-se à remoção ou diminuição de distorções no nível de energia eletromagnética registrado por cada detector (Eastman, 1998). A calibração radiométrica dos dados de satélite é um dos procedimentos mais importantes para analisar quantitativamente uma série multi-temporal de imagens (Chen & Herz, 1996). Essa análise deve considerar os problemas de variações na resposta espectral de alvos, que não estejam relacionados às mudanças em sua propriedade e sim decorrentes das diferenças atmosféricas e de iluminação entre esses dados multi-temporais (Sassagawa, 1999). O efeito de névoa nas imagens ocasiona um aumento de brilho nos alvos escuros e diminui o brilho dos alvos claros. Ocorre também a degradação temporal do sensor, mas estes efeitos não são facilmente removidos, exceto para alvos muito claros, pois os sítios utilizados para corrigir a reflectância incluem apenas alvos claros como salinas e desertos (Chen & Herz, 1996).

As imagens podem ser retificadas com relação a uma imagem referência e devem aparecer como se fossem adquiridas pelo mesmo sensor e nas mesmas condições atmosféricas e de iluminação desta imagem referência. Conseqüentemente, as variações radiométricas entre as diferentes passagens do satélite serão devidas apenas a alterações na natureza dos alvos analisados (Hall *et al.*, 1991).

A calibração relativa não requer o uso de parâmetros de calibração dos sensores, de degradação dos sensores ou de propriedades atmosféricas. Quando as informações sobre

atmosfera e calibração do sensor não são disponíveis para as imagens, uma imagem de referência com atmosfera mais limpa pode ser usada para corrigir as demais em relação a esta. Esta correção é efetuada utilizando os mesmos alvos imutáveis claros e escuros na imagem de referência e nas imagens a serem corrigidas (Roberts, 1993 *apud* Adams *et al.*, 1995).

#### 1.2.4. Imagem reflectância

Os valores digitais brutos (número digital, ou DN) das imagens Landsat TM são comumente utilizados para classificar estatisticamente tipos de cobertura, criar mosaicos digitais de várias imagens e detectar mudanças em imagens sucessivas de uma mesma área. No entanto, este procedimento pode proporcionar resultados e conclusões incorretos e imprecisos, visto que os números digitais não representam quantitativamente os valores físicos reais (e.g. radiância, reflectância) dos alvos na superfície terrestre, e são usados apenas por conveniência no processamento dos dados (Pereira *et al.*, 1996).

Os níveis digitais são relacionados por um modelo linear (calibração) à intensidade da energia radiante refletida. Entretanto, não são diretamente comparáveis entre satélites diferentes devido às diferenças na calibração dos sensores. Além disso, a comparação de imagens obtidas de diferentes sensores, em diferentes datas e locais, requer correção para os diferentes ângulos de iluminação solar em que as imagens foram adquiridas (Robinove, 1982 *apud* Pereira, 1996).

Os valores físicos comumente derivados dos números digitais são: radiância ( $\text{mW cm}^{-2} \text{sr}^{-1}$ ); e reflectância (adimensional, isto é, um número entre 0 e 1). A radiância é definida como o fluxo radiante ( $\text{mW}$ ) por unidade de ângulo sólido (esferoradiano, ou  $\text{sr}$ ) que deixa uma superfície numa dada direção, por unidade de área ( $\text{cm}^2$ ) perpendicular àquela direção; e a reflectância é a razão entre o brilho (radiância) refletido de um objeto e o brilho incidente sobre aquele objeto (Slater, 1980; Novo, 1992; Steffen, 1996 *apud* Pereira, 1996; Pereira *et al.*, 1996; Mather, 1999).

A transformação dos números digitais para valores físicos é imprescindível, quando se trata de classificação espectral, razão de bandas ou associação de informações de satélites com as propriedades biofísicas de alvos (como biomassa, concentração de clorofila, entre outros) usando dados obtidos em datas ou locais diferentes (Robinove, 1982; Barker *et al.* 1984a; Prince, 1987b; Chavez, 1989 *apud* Chen & Herz, 1996), pois na quantificação dos dados, as diferenças de condições atmosféricas, de iluminação e/ou

desempenho dos sensores precisam ser levadas em consideração (Chen & Herz, 1996). Convém ressaltar que a utilização desses valores físicos possibilita um melhor monitoramento do comportamento de uma determinada cobertura, uma vez que mudanças na sua resposta espectral estariam relacionadas somente às mudanças nas propriedades estruturais/espectrais, e não às mudanças no ângulo de iluminação solar ou degradação do sensor (Pereira *et al.* 1996).

Muitos autores enfatizam a importância de se trabalhar com valores de radiância e reflectância, ou seja, transformar os números digitais em valores físicos mais confiáveis, com o objetivo de explorar ao máximo os dados de sensoriamento remoto, os quais independem de condições atmosféricas, proporcionando desta forma, resultados mais confiáveis (Moran *et al.* 1992 *apud* Chen & Herz, 1996).

### **1.2.5. Filtragem digital**

Existem duas maneiras de se implementar as técnicas de filtragem de frequência: o processo conhecido por *convolução*, que opera no domínio espacial de uma imagem, utilizando janelas móveis, ou a *Análise de Fourier*, que opera no domínio das frequências que compõem a imagem. A maioria dos sistemas de processamento de imagens utiliza filtragem por convolução (Crósta, 1992).

#### **1.2.5.1. Filtro passa baixa ou de suavização**

O nome passa baixa ou de suavização advém do fato que esse tipo de filtro elimina as altas frequências da imagem, deixando "passar" somente as baixas frequências. Este é o tipo de filtro requerido no caso do modelo de biomassa no Acre, onde os valores dos pixels na imagem-biomassa são fortemente influenciados por sombras topográficas que repetem em função da colinosidade da paisagem. As colinas têm uma frequência espacial de 150 a 250 metros -- 5 a 8 pixels de distância -- nas áreas de vertissolos, e maior distanciamento em um baixo platô de latossolo e podzol. O grande problema desse tipo de filtro é o efeito colateral produzido que equivale a "desfocar" a imagem toda e, conseqüentemente, perde informações de detalhes, como bordas de pastagens, rios, estradas, desmatamentos e outras áreas que precisam ser identificadas para que não sejam incluídas no modelo de estimativa de biomassa.

### 1.2.5.2. Filtro de mediana

Neste tipo de filtro passa baixa, o valor de reflectância de um pixel central de uma janela móvel, é substituído, em uma imagem nova, pela mediana dos seus vizinhos. A janela é deslocada um pixel e o processo repetido até que seja transformada toda a imagem. A mediana de um conjunto de 49 números digitais (de uma janela de 7x7 pixels) representa neste caso o *DN* intermediário do conjunto. É um dos filtros de suavização que melhor preserva as bordas em uma imagem (Crósta, 1992). No software Idrisi, Eastman (1998) implementou um filtro mediana de dois estágios que tende a preservar ainda melhor as bordas.

## 2. OBJETIVOS

Aprimorar a estimativa de biomassa florestal através do padrão espectral em área de 90x90 km no sudoeste da Amazônia. O modelo (Nelson *et al.*, 2001) explora a correlação entre densidade de bambu na floresta, padrão espectral do dossel e biomassa da floresta, nesta região e não deve ser aplicado em outras partes da Amazônia. Os aprimoramentos são divididos em dois conjuntos, tratados nos Capítulos II e III.

*Capítulo II.* Adaptar a equação alométrica de Chambers *et al.* (2001), para o estudo de florestas abertas (com e sem bambu) no sudoeste da Amazônia, aplicando fatores de correção sobre o peso seco estimado por esta equação, considerando-se a menor altura de árvores e o efeito de menor densidade de madeira.

*Capítulo III.* Melhorar a modelagem de biomassa por ordenamento polar de dados multiespectrais do Landsat TM, que utiliza imagem de 1987. Apesar da névoa presente nesta imagem, é a única data que pode ser empregada no modelo, por apresentar bambuzais espectralmente estáveis e maduros. Serão efetuadas etapas de pré-processamento – remoção da variação espacial nos valores de brilho causada pela geometria de iluminação, correção geométrica, intercalibração radiométrica, transformação de números digitais em valores de reflectância e filtragem -- para melhorar/corrigir o resultado final do modelo, incorporando estas etapas na cadeia de passos automatizados.

### 3. ÁREA DE ESTUDO

#### 3.1. Localização

Este estudo foi realizado em uma área de 90x90 km, sendo o quadrante sudoeste de uma imagem Landsat-TM, órbita/ponto 002/66 dominado por floresta primária, na borda dos Estados do Acre e Amazonas. Os dados de campo foram coletados no km 25 da BR-364 entre a cidade de Sena Madureira e Manoel Urbano, e coordenadas geográficas 8° 58' S e 68° 52' W (Figuras 1, 2 e 3).

#### 3.2. Vegetação

Segundo Oliveira (2000), dois tipos de vegetação são predominantes na área de estudo: Floresta Ombrófila Aberta dominada por bambu (tabocal) e Floresta Ombrófila Aberta sem domínio de bambu (restinga). Floresta dominada por bambu encontra-se distribuída principalmente no Estado do Acre e partes adjacentes do Estado do Amazonas e Peru (Figura 1).

#### 3.3. Solos

De acordo com Vidalenc (2000), as florestas com alta densidade de bambu na região de Sena Madureira são restritas aos cambissolos, também denominados vertissolos. Este tipo de solo é caracterizado por altas concentrações dos cátions de  $\text{Ca}^{++}$  e  $\text{Mg}^{++}$ , alta capacidade de troca catiônica, textura argilosa ou siltosa e presença de argilas expansivas, que diminuem a permeabilidade do solo no período chuvoso. Os dois tipos de floresta (com e sem bambu) na área específica deste estudo, ocorrem sobre o mesmo tipo de vertissolo.

#### 3.4. Clima

O clima da região é quente e úmido, com temperatura média anual em torno de 24,5°C. A precipitação atinge valores médios anuais entre 1750 e 2250 mm, e no trimestre mais seco a média mensal não atinge 125 mm (Fonseca *et al.*, 1976). A região apresenta dois períodos distintos: o período chuvoso, formado nos meses de outubro até abril ou meados de maio e o período seco, no restante do ano.



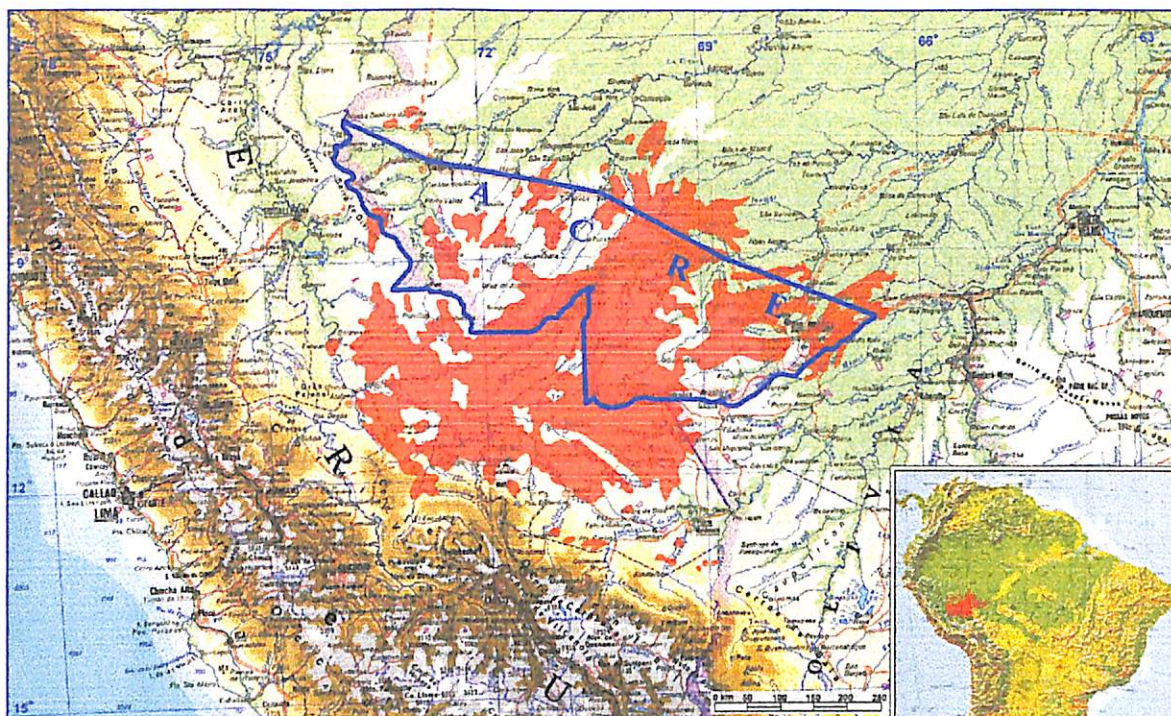


Figura 1. Extensão das florestas dominadas por bambu no sudoeste da Amazônia. Fonte: B. Nelson & R. Kalliola (ined.), baseado na interpretação de imagens Landsat do INPE e INRENA.

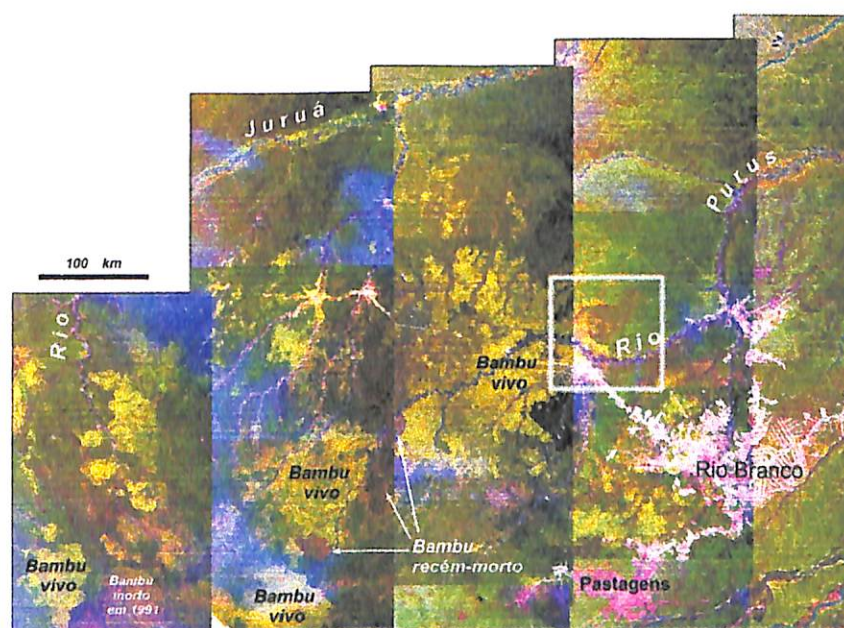


Figura 2. Florestas dominadas por bambu maduro no sudoeste da Amazônia são de cor amarelo-clara e florestas sem bambu são de cor verde-escura, em mosaico falsa-cor imagens TM, bandas, 3,4,5 (b-g-r). Quadrante SW da cena 002-066 indicado pelo contorno branco. Imagens adquiridas entre agosto e novembro de 1999. Fonte: EROS Data Center (<http://edcwww.cr.usgs.gov/>).



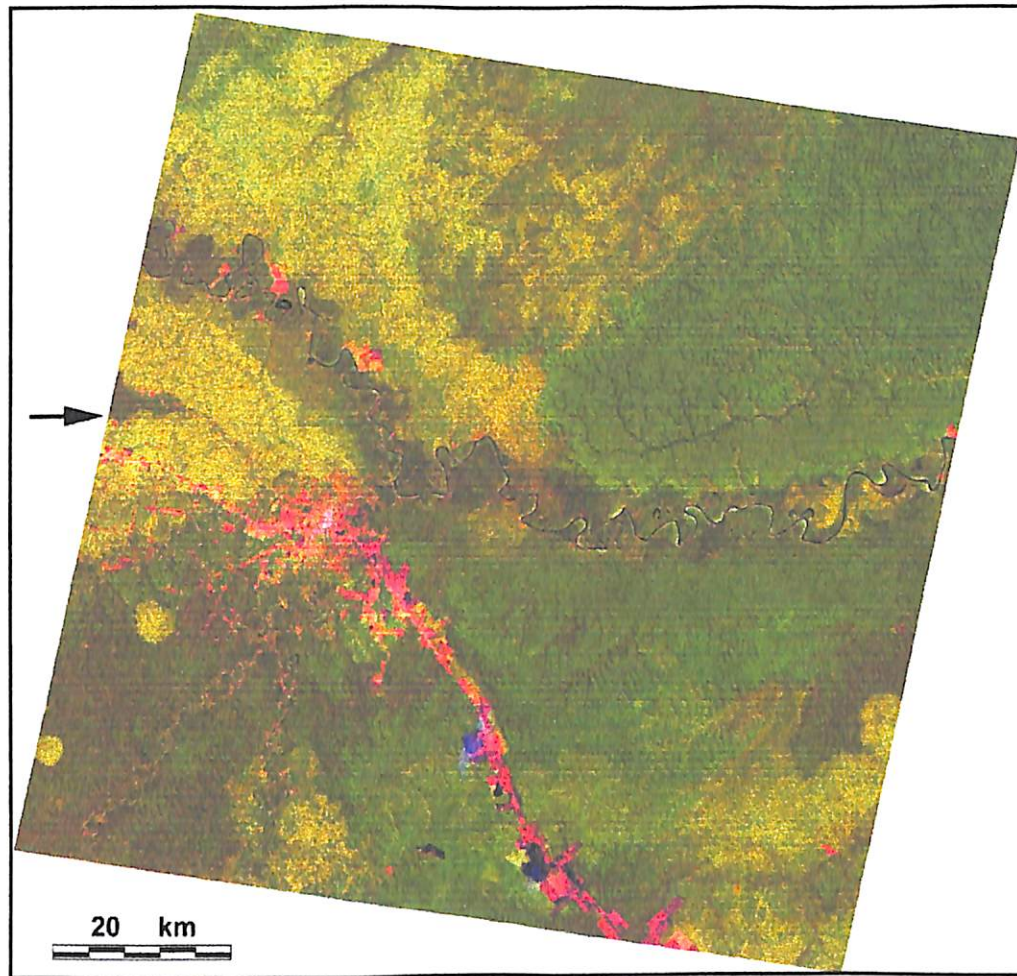


Figura 3. Área modelada: Quadrante da imagem TM/Landsat de 002-066 de 25/08/87, em composição colorida 3, 4, e 5. A seta indica a localização dos inventários de Oliveira (2000). A cor amarela clara corresponde a floresta com bambu, a cor escura avermelhada corresponde a floresta semi-decídua sem bambu e a cor verde escura corresponde a floresta primária de platô, sem bambu. Pasto, área urbana e estradas são de cor vermelha.

## **CAPÍTULO II. ESTIMATIVAS DE BIOMASSA EM DUAS TIPOLOGIAS FLORESTAIS NO ESTADO DO ACRE**

### **1. INTRODUÇÃO**

Como não há equações alométricas desenvolvidas para estimar a biomassa de floresta aberta da Amazônia, toma-se necessário o emprego de equações alométricas desenvolvidas para floresta densa. Entretanto, estas equações precisam ser corrigidas e adaptadas para obter estimativas mais confiáveis de biomassa.

### **2. OBJETIVOS**

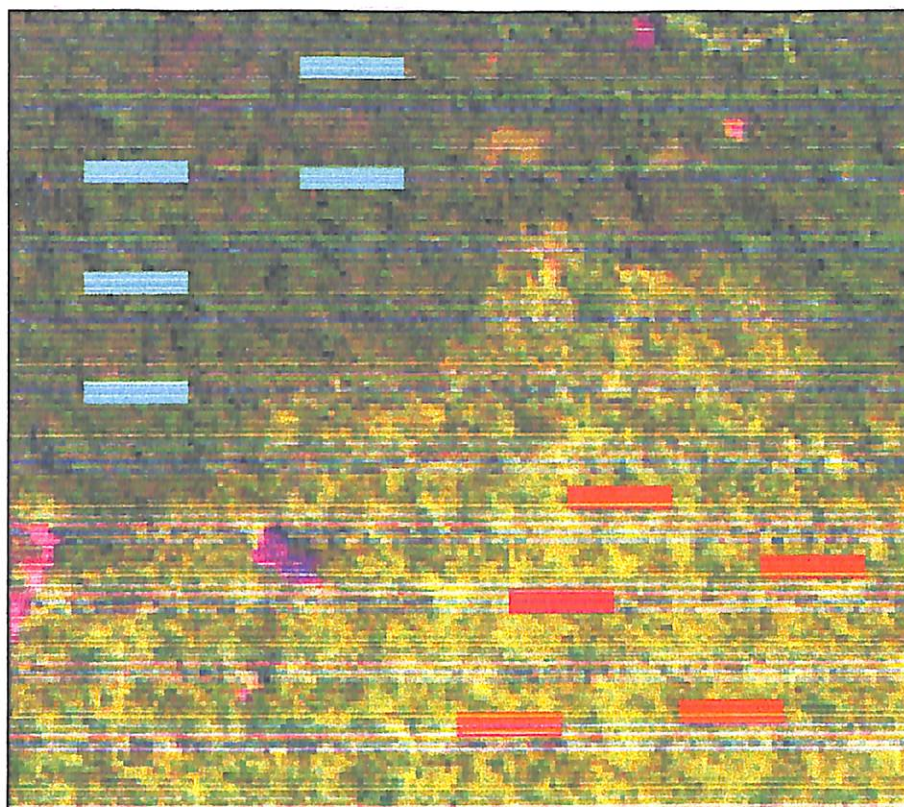
Adaptar a equação alométrica de Chambers *et al.* (2001) -- que foi baseado em dados de Santos (1996) e Higuch *et al.* (1998) -- para aplicação em florestas abertas, com e sem bambu, no sudoeste da Amazônia.

1. Aplicar uma correção que considera a menor altura de árvores (no sudoeste da Amazônia) para um dado diâmetro. A correção é linear para um determinado diâmetro dentro de determinado tipo de floresta.
2. Aplicar uma correção linear que considera o efeito de menor densidade de madeira. A correção é uma constante para qualquer árvore dentro de determinado tipo de floresta.

### **3. MÉTODOS**

As estimativa de biomassa nas duas tipologias no Acre, foram baseadas em inventários de árvores e arvoretas maiores que 2,5 cm de DAP (7,8 cm de CAP) em parcelas com desenho "nested" de Oliveira (2000). A área levantada por Oliveira consistiu na alocação de cinco parcelas em cada formação, distribuídos sistematicamente (Figura 4: imagem 1987 com transectos obtidos da imagem identificador de feições). Na floresta com bambu, foram escolhidas áreas com padrão espectral homogêneo. Em cada tipo de vegetação, Oliveira (2000) levantou 10 hectares para as árvores com CAP >60 cm, 05 hectares para indivíduos com CAP 30 a 59,9 cm e 0,3125 hectares para indivíduos de 7,8 a 29,9 cm de CAP. Os bambus são restritos a esta última classe.





**Figura 4.** Distribuição dos inventários de Oliveira (2000) . Floresta com bambu à direita (amarela), sem bambu à esquerda. Manchas arroxeadas geométricas são pastos.

Como equações desenvolvidas em outras tipologias florestais poderiam não ser adequadas para uso em florestas abertas, Oliveira (2000) não estimou a biomassa das florestas com e sem bambu no Acre. Um dos objetivos deste trabalho é a adaptação de uma equação alométrica, desenvolvida pelo grupo SHC para floresta densa na Amazônia Central (Chambers *et al.*, 2001), para uso nestes inventários de Oliveira em florestas abertas no Acre.

A equação de Chambers *et al.* (2001) não deve ser aplicada a caules menores que 5 cm de DAP, pois os dados do grupo SHC não incluem estas árvores. Para as árvores e arvoretas 2,5 - 4.9 cm de DAP, e para todos os bambus (cujo diâmetro nunca excede 07 cm de DAP), foi empregada uma regressão simples para a estimativa do peso seco de cada indivíduo a partir de seu diâmetro, desenvolvida em capoeira da Amazônia Central por Nelson *et al.* (1999) (Equação II-1). As plantas usadas para desenvolver esta regressão tiveram intervalo de DAP de 1,0 - 25,0 cm.

$$\ln(\text{PS}) = 2,4128 \cdot \ln(\text{DAP}) - 1,9968$$

**Equação II-1**

Para plantas maiores que 5 cm de DAP, as melhores equações alométricas, para estimativas de biomassa a partir do diâmetro, são baseadas em árvores da Amazônia Central (Santos, 1996; Higuchi *et al.*, 1998; Chambers *et al.*, 2001). Árvores de floresta densa do Pará demonstram excelente concordância com as relações alométricas desenvolvidas na Amazônia Central (Higuchi & Carvalho, 1994). Como as florestas abertas do Acre tem maior espaçamento entre as árvores, estas não competem tão intensamente para a luz como na floresta densa da Amazônia central. Observadas em perfil, percebe-se que as árvores da Amazônia Central são altas e finas, na maioria, pois na floresta densa são obrigadas a investir mais em crescimento vertical. É provável que uma determinada árvore no Acre tende a ser mais baixa do que uma árvore com o mesmo diâmetro na Amazônia Central ou no Pará (Higuchi, *com.pes.*). Outra fonte de erro na aplicação, às árvores do Acre, de equações alométricas desenvolvidas para as árvores da Amazônia Central, pode advir de uma diferença da densidade da madeira. A diferença deve ser pronunciada em árvores de crescimento rápido, associadas aos efeitos perturbadores do bambu no Acre.

Portanto, foram efetuadas duas correções sobre o peso seco estimado utilizando um modelo alométrico desenvolvido na Amazônia Central: (1) correção de altura e (2) correção de densidade.

### *3.1. Correção do efeito de altura sobre peso seco estimado: primeira aproximação*

A altura de árvores não foi medida nos levantamentos de Oliveira (2000), o que impede o uso de uma regressão múltipla relacionando peso seco com diâmetro e altura (Santos, 1996; Higuchi *et al.*, 1998). Outro motivo para não usar as regressões múltiplas desenvolvidas na Amazônia Central, que incorporam altura como variável independente, é a constatação de Chambers *et al.* (2001), de que a melhor regressão para a estimativa de biomassa das árvores da Amazônia Central, é um polinomial (Equação II-2) que não utiliza altura como variável independente.

$$\ln(\text{PS}) = -0,370 + 0,333 * \ln(\text{DAP}) + 0,933 [\ln(\text{DAP})]^2 - 0,122 [\ln(\text{DAP})]^3 \quad \text{Equação II-2}$$

O modelo acima foi empregado na estimativa de peso seco de todas as plantas maiores que 5,0 cm DAP, com as duas correções, de altura e densidade, para diferenças regionais entre Acre e Amazônia Central.

Para proceder uma primeira "correção de altura", foram adotados os seguintes passos:

1. Derrubar 100 árvores da floresta com bambu no Acre, distribuídas em classes diamétricas de acordo com a contribuição de cada classe à área basal total, nos inventários de Oliveira (2000). Medir o DAP (cm) e altura total (m) destas árvores.
2. Derrubar outras 100 árvores da floresta sem bambu no Acre, também distribuídas em classes diamétricas de acordo com a contribuição de cada classe à área basal total da tipologia. Medir DAP e altura total.
3. Desenvolver uma regressão simples entre diâmetro e altura para as árvores da Amazônia Central, que foram a base da Equação II-2. Estes dados foram cedidos por Higuchi (n=348, excluindo 6 outliers). As variáveis foram transformadas para obter linearidade e para manter a variância constante em torno da linha de tendência.
4. Utilizando as árvores derrubadas na tipologia "floresta com bambu" do Acre (n=100), obteve-se uma regressão simples, entre diâmetro (transformado) e altura, para estimar a altura esperada de cada uma das ~4000 árvores levantadas nesta tipologia por Oliveira (2000).
5. Utilizando as árvores derrubadas na tipologia "floresta sem bambu" do Acre (n=100), obteve-se uma segunda regressão simples entre diâmetro (transformado) e altura, para estimar a altura esperada de cada uma das ~4000 árvores levantadas previamente nesta tipologia.
6. A linha de tendência relacionando diâmetro (variável independente) e altura (variável dependente) das 348 árvores da Amazônia Central foi plotada junto com a linha de tendência entre as mesmas variáveis para as 100 árvores da floresta com bambu, no Acre.

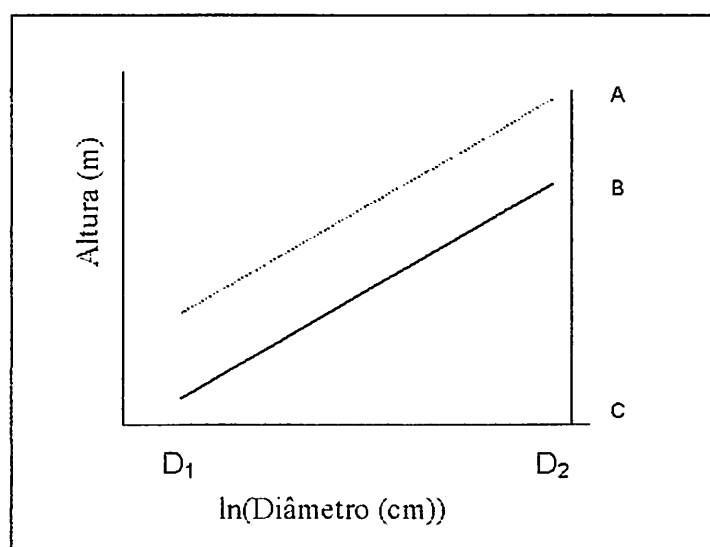


Figura 5. Regressões hipotéticas entre diâmetro e altura para árvores da Amazônia Central (linha tracejada) e uma das tipologias florestais no Acre (linha cheia).

É esperado que a linha de tendência para as árvores do Acre esteja localizada abaixo da linha de tendência da Amazônia Central, como no exemplo hipotético da figura 5. O peso seco de cada árvore no Acre é obtido pela regressão polinomial própria para árvores da Amazônia Central (Equação II-02), e então multiplicado -- numa primeira aproximação -- por um fator de redução que, no caso de árvore com diâmetro  $D_2$ , tem o valor  $BC/AC$ , onde  $BC$  é a altura esperada (indicada pela linha cheia) para esta árvore no Acre e  $AC$  é a altura esperada na Amazônia Central. Observa-se na figura hipotética, que a razão multiplicativa de correção deverá diminuir com diâmetros menores. Por exemplo, uma árvore com o diâmetro  $D_1$ , no Acre, teria um peso, após a correção multiplicativa de efeito de altura, muito menor que o peso de uma árvore com mesmo diâmetro na Amazônia Central, enquanto uma árvore no Acre com diâmetro  $D_2$ , teria um peso apenas um pouco menor que o peso de uma árvore com o mesmo diâmetro na Amazônia Central.

### 3.2. Correção do efeito de altura sobre peso seco estimado: segunda aproximação

Nos procedimentos acima, foi presumido que, se uma árvore de determinado diâmetro tiver uma altura 10% menor do que a altura prevista pela regressão entre diâmetro e altura (baseado nas 348 árvores da Amazônia Central), seu peso seria, também, 10% menor do que o peso previsto, para seu diâmetro, pela Equação II-2. Em outras palavras,

se  $BC/AC = 0,9$ , então o peso estimado da árvore deve ser reduzido em 10%. Este procedimento faz sentido para objetos cilíndricos, um modelo geométrico pouco realista para árvores. Duas árvores com o mesmo diâmetro, mas alturas diferente, podem ter copas, aproximadamente, iguais em peso. Neste caso, o fator multiplicativo de correção do peso, para a árvore 10% menor em altura, calculado na primeira aproximação deveria ser um pouco maior que 0,9, ou seja, retira-se menos de 10% do peso. Para obter um fator multiplicativo de correção de peso mais realista, foram adotados os procedimentos abaixo:

1. Utilizando os dados cedidos por Higuchi para 348 árvores da Amazônia Central, foi elaborada uma regressão linear múltipla entre peso fresco (variável dependente) e as variáveis independentes, diâmetro e altura total, após as devidas transformações das variáveis para satisfazer as exigências de regressão. O modelo da regressão múltipla tem a forma:

$$\ln(\text{PF}) = a \cdot \ln(\text{DAP}) + b \cdot \text{ALT} + c. \quad \text{Equação II-3}$$

As transformações no modelo serão justificadas nos Resultados. O procedimento requer alta confiança no coeficiente parcial da variável altura na regressão múltipla.

2. Para cada uma das 348 árvores calcula-se:

$$X = \frac{(H - \hat{H})}{\hat{H}} \quad \text{Equação II-4}$$

onde:

$H$  = altura total observada de cada árvore

$\hat{H}$  = altura total estimada de cada árvore, pela regressão simples com diâmetro transformado.

$$Y_1 = \frac{(\hat{P}_{DH} - \hat{P}_{D\hat{H}})}{\hat{P}_{D\hat{H}}} \quad \text{Equação II-5}$$

onde:

$\hat{P}_{DH}$  = peso fresco estimado de cada árvore pela regressão múltipla, utilizando seu diâmetro observado (D) e sua altura total observada (H) (dados de Higuchi)

$\hat{P}_{D\hat{H}}$  = peso fresco estimado de cada árvore pela mesma regressão múltipla, utilizando seu diâmetro observado (D) e sua altura total estimada ( $\hat{H}$ ) pela regressão simples com diâmetro transformado.

$\hat{P}_D$  pode ser substituído no lugar de  $\hat{P}_{D\hat{H}}$  no cálculo dos valores de Y sem afetar os resultados.

Observa-se que a variável X informa quanto determinada árvore da Amazônia Central é mais alta que uma árvore de altura "normal" para seu diâmetro, enquanto a variável Y informa quanto esta mesma árvore é mais pesada que uma árvore de altura "normal" para seu diâmetro. A variável Y, neste caso, é baseada inteiramente em regressões lineares de modo que todos os resíduos dos dados originais estarão suprimidos. Os valores de cada árvore são plotados em diagrama de dispersão, onde o eixo horizontal corresponde à variável X e o eixo vertical é a variável Y. Para exemplificar o uso do gráfico, se a inclinação da reta for 0,7, então uma árvore 10% mais alto que o esperado teria um peso apenas 7% maior que o esperado (Figura 6).

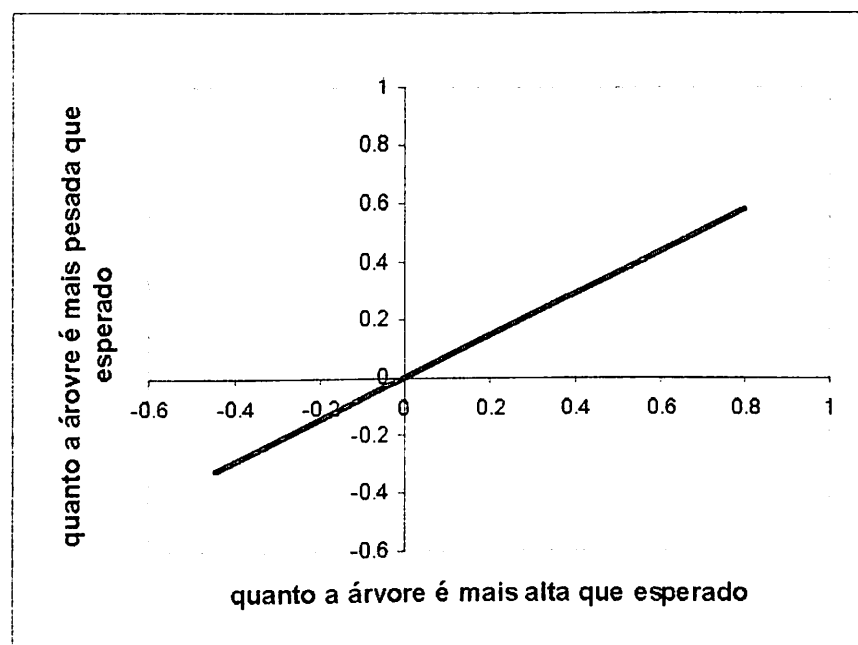


Figura 6. O fator multiplicativo de correção de peso de determinada árvore, em função da altura observada ser maior (ou menor) que o esperado, é dado pela inclinação desta reta. Um valor de 0,5 no eixo horizontal indica que a árvore está 50% mais alta que o esperado para seu diâmetro. Pela reta, esta mesma árvore estaria apenas 40% mais pesada que o esperado para o seu diâmetro.

Como os resíduos são suprimidos pelo procedimento acima, o  $R^2$  do gráfico XY deve ser 1,0 e a confiança no procedimento depende da significância estatística do coeficiente parcial de altura na equação II-03.

Um outro procedimento que não suprime os resíduos dos dados originais, utiliza no eixo vertical:

$$Y_2 = \frac{(P - \hat{P})}{\hat{P}}$$

Equação II-6

onde:

P = peso fresco observado de cada árvore obtido no campo (dados de Higuchi)

$\hat{P}$  = peso fresco estimado de cada árvore, ou pela regressão simples com diâmetro observado, ou pela regressão múltipla com diâmetro observado e altura total esperada ( $\hat{H}$ ).

### 3.3. Correção do efeito de densidade sobre peso seco estimado

Utilizando dados publicados para amostras de madeira reidratada, sem casca, Fearnside (1996) estimou uma densidade básica de  $0,69 \text{ g cm}^{-3}$  para a floresta amazônica como um todo, quando ponderada pela extensão de diferentes tipologias, ou  $0,65 \text{ g cm}^{-3}$  pela média simples das espécies reportadas. Higuchi & Carvalho (1994) calcularam a densidade básica de 12 árvores de floresta densa na Amazônia Central, utilizando volume fresco e peso seco em estufa a  $105^\circ\text{C}$ . Obtiveram uma média de  $0,80 \pm 0,10 \text{ g cm}^{-3}$  (média  $\pm$  2 erros padrões;  $n=12$ ; (peso seco)/(volume fresco com casca)) para discos de madeira retirados à altura do peito. Densidade obtida através de reidratação tende a ser maior que a densidade básica obtida utilizando o volume fresco e volume com casca, pois a madeira provavelmente não recupera todo seu volume fresco quando imerso em água. A densidade obtida por Higuchi & Carvalho (1994) poderia ser um pouco menor que aquela obtida por deslocamento de água, utilizado neste trabalho, se os discos não forem perfeitamente cilíndricos. O número de árvores levantados na Amazônia Central é também pequeno, de modo que a verdadeira média da densidade básica para a população pode estar entre  $0,7$  e  $0,9 \text{ g cm}^{-3}$  (intervalo de confiança de 95%). Diante destes resultados, seria recomendável obter a densidade básica, com diferentes métodos de estimativa de volume, para um grande número de árvores derrubadas na floresta densa da Amazônia Central. Isto permitiria uma aplicação mais confiável, da relação alométrica da Amazônia Central, em outras regiões, com correção para a densidade.

Neste trabalho operamos sob a suposição de que a densidade básica de madeira à altura do peito, na Amazônia Central, é 0,8. Consideramos também que as variações da base para o topo são consistentes em todas as árvores. O fator multiplicativo de correção do peso seco estimado foi:

$$\frac{DB_A}{0,80}$$

onde:

$DB_A$  = Densidade básica média, de uma das tipologias florestais no Acre;

0,80 = densidade básica de madeira estimada para Amazônia Central por Higuchi & Carvalho (1994)

A densidade da madeira foi obtida ao nível do DAP nas árvores das florestas com e sem bambu no Acre, onde a escolha das árvores amostradas foi determinada pela proporção da área basal total em cada classe diamétrica, nos inventários das duas tipologias (Oliveira, 2000; tabela 1).

Foram utilizadas as mesmas 100 árvores derrubadas em cada tipologia florestal (Anexo D), mencionadas acima. De cada árvore, retirou-se um disco de madeira com espessura, aproximadamente, constante na altura do peito, utilizando motosserra. Com martelo e terçado, retirou-se uma única amostra em forma de uma fatia de pizza, desde o centro até o exterior, incluindo a casca. Quando os anéis de crescimento iniciais eram posicionados fora do centro do disco, a fatia foi retirada numa área intermediária, entre a região de anéis compactos e a região de anéis distantes entre si, para evitar a coleta de madeira de crescimento mais lento (denso) ou mais rápido (leve) que a média. As amostras frescas, pesando geralmente entre 200 e 700 g, foram colocadas, logo após o corte, em sacos plásticos rotulados e fechados para não perderem umidade.

A densidade básica das amostras foi obtida pela razão entre peso seco e volume fresco em estufa. O volume fresco foi medido no mesmo dia da coleta, pelo deslocamento de água, onde as amostras de madeira foram submersas pela pressão de uma agulha em bquer, em cima de uma balança digital. No caso de madeira com densidade exatamente igual à densidade de água (densidade = 1,0) a agulha não faz nenhuma pressão sobre a amostra e o incremento de peso registrado pela balança (gramas) corresponde ao volume da amostra ( $\text{cm}^3$ ). No caso de amostra de madeira menos densa que água, a pressão da agulha forçando a amostra debaixo da água, junto com o peso da própria amostra, imitam o efeito de um objeto com densidade 1,0. O incremento registrado na balança com a amostra



mergulhada (g) é também equivalente ao volume da amostra (cm<sup>3</sup>). Quando a amostra é mais densa que água, seu peso no fundo do béquer (g) excede seu volume (cm<sup>3</sup>). Neste caso é necessário remover o excesso de peso, suspendendo a amostra presa na ponta da agulha, no meio da água, e mais uma vez o incremento final, do peso do sistema (g), é equivalente ao volume da amostra (cm<sup>3</sup>). A balança utilizada no campo foi da marca OHAUS, modelo LS200, capacidade de 2000g, precisão de 0,1 g e erro (*accuracy*) de 1%. Foi usado um balão volumétrico de 250 ml, contendo água, para checar o erro da balança todos os dias, antes de iniciar as pesagens. Para a determinação do peso seco das amostras, estas foram colocadas em sacos triplos de papel logo após a determinação do volume, e levadas para secar em estufa elétrica a 75°C, até peso constante, utilizando a mesma balança. O peso dos sacos de papel, subtraído, foi baseado no peso seco em estufa de um maço de 50 sacos.

**Tabela 1.** Distribuição das amostras aleatórias de madeira, baseada na área basal das classes diamétricas, nas duas tipologias florestais.

Classes de diâmetro CAP (cm)	Floresta com bambu		Floresta sem bambu	
	AB	Nº de amostras	AB	Nº de amostras
7,5 a 15	1,9	8	1,45	5
15 a 30	3,9	17	3,4	11
30 a 45	2,7	12	2,3	8
45 a 60	2,5	11	2,7	9
60 a 75	1,8	8	2	7
75 a 90	1,2	5	2,15	7
90 a 105	1,1	5	2,4	8
105 a 120	1,1	5	2,5	8
120 a 135	0,7	3	1,8	6
135 a 150	0,5	2	1	3
> 150	5	22	8	27
Total	22,4	100	29,7	100

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

##### 4.1. Equações alométricas

No modelo atual, para estimar a biomassa das árvores e arvoretas com DAP  $\geq$  2,5 cm nas duas tipologias florestais, foram empregadas duas equações alométricas. Para as árvores com DAP entre 2,5 – 4,9, e para todos os bambus (DAP  $\geq$  7 cm) foi aplicado uma regressão simples (Equação II-1), desenvolvida em capoeira da Amazônia Central por

Nelson *et al.* (1999). Para as árvores com DAP >5 cm, foi utilizada a equação de Chambers *et al.* (2001) (Equação II-2) desenvolvidas para as árvores da Amazônia Central. Ao peso seco calculado foram aplicadas:

- duas reduções multiplicativas baseadas na menor altura de árvores do Acre para um determinado diâmetro; e
- uma correção multiplicativa baseada na menor densidade de madeira da floresta com e sem bambu.

As derivações matemáticas destes fatores multiplicativos seguem abaixo.

#### 4.2. Correção do efeito de altura sobre peso seco estimado: primeira aproximação

Pela figura 7 fica evidente que as árvores do Acre tendem a ter menor altura que as árvores da Amazônia Central, para um dado diâmetro.

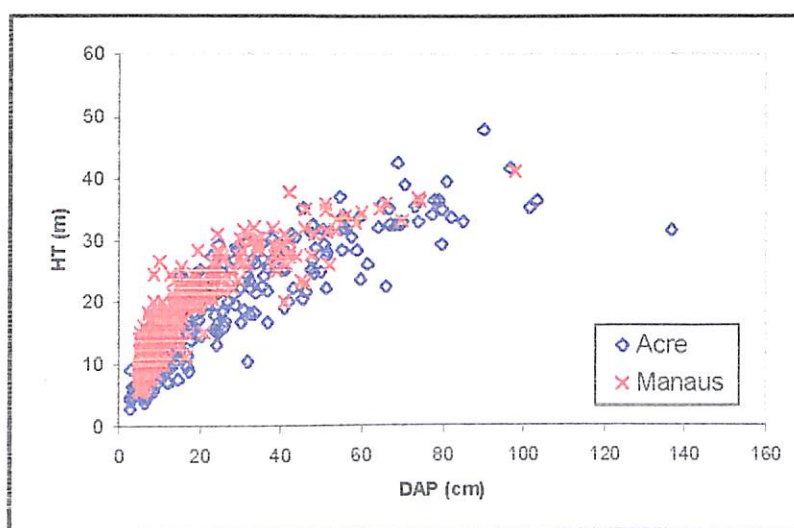


Figura 7. Relação entre altura total (HT) e diâmetro (DAP) para árvores da Amazônia Central (n=348; dados cedidos por Higuchi, excluindo 6 outliers) e duas tipologias agrupadas de florestas no Acre (n=201).

Para estabelecer o fator multiplicativo de correção é necessário obter uma regressão linear entre DAP e altura total para cada uma das três populações de árvores: floresta densa da Amazônia Central, floresta com bambu no Acre e floresta sem bambu no Acre. A variável independente DAP foi transformada para escala logarítmica para obter linearidade e manter a variância constante ao longo da linha de tendência (Figura 8). Observa-se na figura 8 que não foi necessário transformar a variável altura.

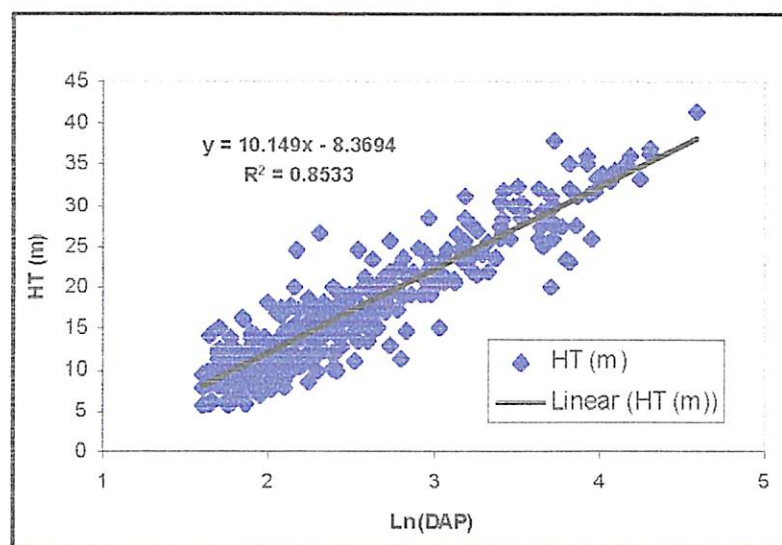


Figura 8. Relação entre  $\ln(\text{DAP})$  e altura total (HT) em amostras de árvores de floresta densa da Amazônia Central.

Nas duas tipologias florestais no Acre, obteve-se duas regressões simples, entre diâmetro (transformado) e altura, para estimar a altura esperada de cada árvore levantada por Oliveira (2000), onde verificou-se que as linhas de tendências para as árvores da floresta com e sem bambu no Acre ficaram localizadas abaixo da linha de tendência da Amazônia Central (Figuras 9 e 10), conforme previsto por Higuchi (com. pes.).

O peso seco de cada árvore com  $\text{DAP} > 5$  cm foi obtido pela equação de Chambers *et al.* (2001) e multiplicado, na primeira aproximação, por um fator de redução. Na floresta com bambu, o fator multiplicativo de correção para um dado diâmetro é dado pela razão:

$$\frac{\text{altura prevista da floresta com bambu}}{\text{altura prevista da floresta densa da Amazônia Central}}$$

Utilizando as regressões mostradas na figura 9, determinou-se que esta razão varia de 0,46 a 0,90 para diâmetros de 5 cm a 85 cm, respectivamente. Para a floresta sem bambu (Figura 10) uma razão semelhante varia de 0,80 a 0,96, para diâmetros de 5 cm a 137 cm, respectivamente, indicando que a fisionomia da floresta sem bambu aproxima-se daquela da Amazônia Central devido ao maior fechamento do dossel, tornando as árvores mais altas e estreitas que na floresta com bambu. Os fatores de redução para qualquer diâmetro são mostrados na figura 11.

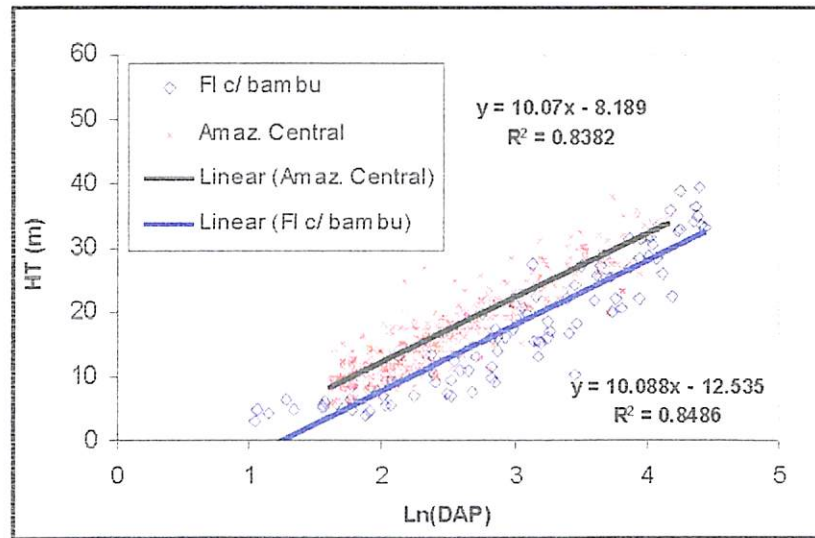


Figura 9. Relação entre HT e ln(DAP), para as árvores da floresta com bambu (n=100), comparadas com as árvores da Amazônia Central.

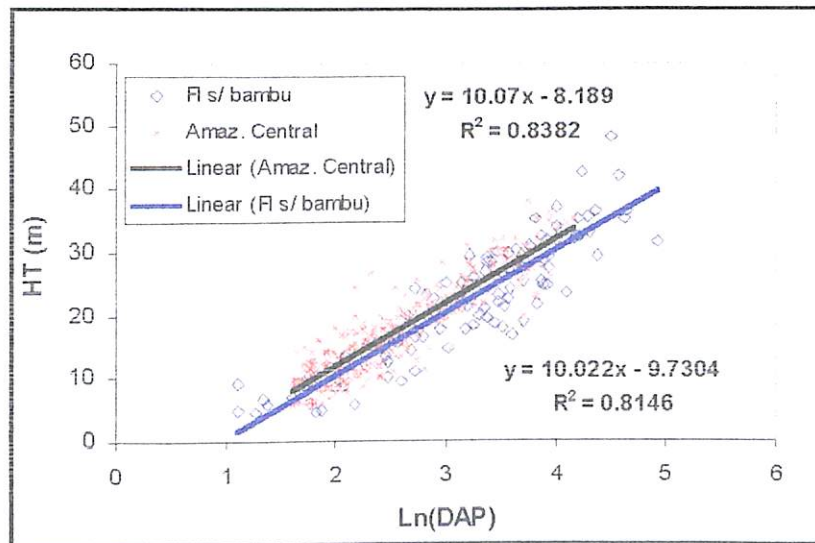


Figura 10. Relação entre HT e ln(DAP), para as árvores da floresta sem bambu(n=101), comparadas com as árvores da Amazônia Central.

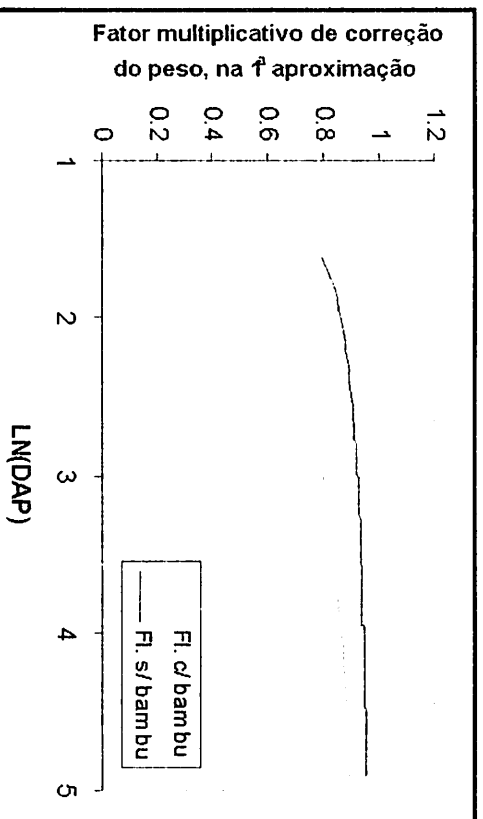


Figura 11. Fator multiplicativo de redução do peso seco, após a estimação pela equação 2, baseado nas figuras 9 e 10.

### 4.3. Correção do efeito de altura sobre peso seco estimado: segunda aproximação

Um fator multiplicativo de correção mais realista foi aplicado, após a primeira aproximação, seguindo o raciocínio elaborado na Metodologia, utilizando os dados da Amazônia Central cedidos por Higuchi (Equações II-4 e 5 e Figura 7). Embora os resíduos seriam suprimidos nesta razão de estimativas derivadas de regressões, ainda ocorreram pequenos resíduos, que foram ampliados quando o eixo vertical é baseado em kg e não ln(kg) (Figura 12).

A inclinação da reta obtida é 0,727 (Figura 12), significando que uma árvore 10% mais baixa que o esperado para um dado diâmetro, tem um peso fresco apenas 7% mais leve que o estimado pela regressão simples com diâmetro (ou pela regressão múltipla com diâmetro observado e altura esperada para aquele diâmetro). Do mesmo modo, uma árvore 10% mais alta do que o esperado para o seu diâmetro, é apenas 7% mais pesada que o peso fresco previsto. Estas correções sobre o peso fresco valem também para o peso seco, presumindo uma relação linear entre estas duas variáveis.

A correção multiplicativa do peso seco estimado pela Eq.II-2, incorporando as duas aproximações, varia em função do diâmetro da árvore no Acre, sendo 0,61 a 0,93 para a floresta com bambu e 0,85 a 0,97, para a floresta sem bambu.

A regressão múltipla para estimar peso fresco das árvores da Amazônia Central, utilizada para obter a correção de variações de altura, conforme explicado na metodologia, foi:

$$\ln(\text{PF}) = 2,05987 \cdot \ln(\text{DAP}) + 0,050069 \cdot (\text{ALT}) - 1,12505$$

Os coeficientes parciais de ambas as variáveis independentes foram altamente significativos ( $p \leq 0,0001$ ), indicando que não há problemas de multicolinearidade. Para determinar as transformações necessárias das variáveis na regressão múltipla, foram elaboradas três regressões simples entre DAP e ALT (Figura 8) entre PF e ALT e entre PF e DAP (Figura 13). Verificou-se que os requisitos de uma regressão linear foram obtidas com as transformações logarítmicas de PF e DAP, não sendo necessário a transformação da variável ALT em nenhuma das regressões simples.

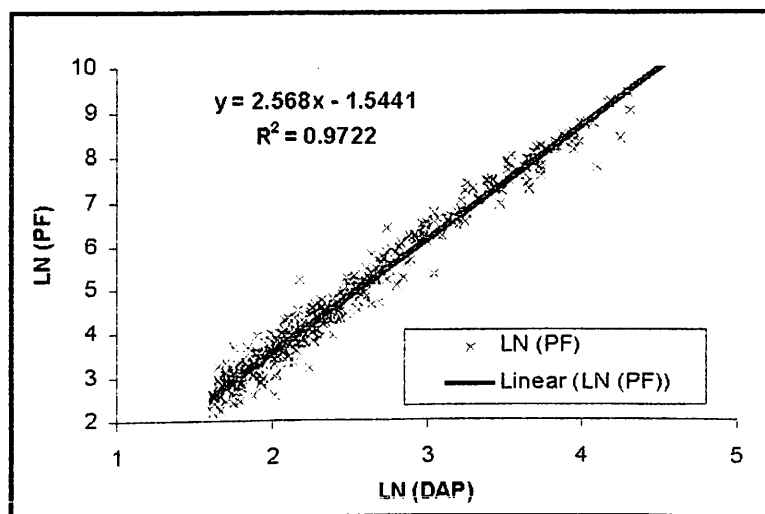


Figura 13. Relação entre  $\ln(\text{PF})$  e  $\ln(\text{DAP})$  para as árvores da Amazônia Central ( $n=348$ ; dados cedidos por Higuchi).

Na figura 13 os resíduos dos dados observados são suprimidos, pois todos os termos que compõem as razões plotadas são derivados de modelos de regressão linear. Um outro procedimento que não suprime os resíduos dos dados originais, utiliza no eixo



vertical:  $Y_2 = \frac{(P - \hat{P})}{\hat{P}}$ , onde  $P$  = peso fresco observado para cada uma das 348 árvores da Amazônia Central.  $\hat{P}$  = peso fresco estimado de cada árvore, ou pela regressão simples com diâmetro observado, ou pela regressão múltipla com diâmetro observado e altura total esperada ( $\hat{H}$ ).

A figura 14 utiliza  $Y_2$  no eixo vertical, sendo idêntica a figura 13 no eixo horizontal.

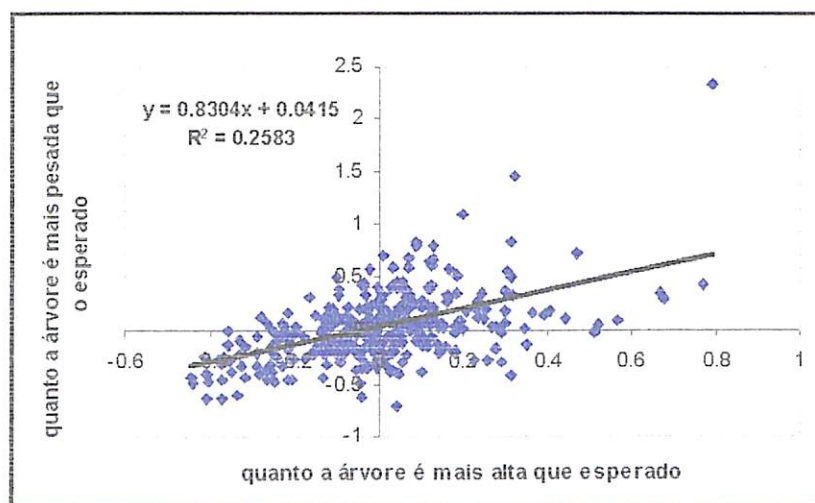


Figura 14. O eixo horizontal é  $X = \frac{(H - \hat{H})}{\hat{H}}$  e o eixo vertical  $Y_2 = \frac{(P - \hat{P})}{\hat{P}}$ . O eixo horizontal indica quanto a árvore é mais alta que o esperado para seu diâmetro e o vertical indica quanto a árvore é mais pesada que o esperado para seu diâmetro.

A figura 14 mostra a influência, sobre o peso fresco, de mudanças na altura para um dado diâmetro. No quadrante superior direito da figura 14, observa-se que as árvores são mais altas que o esperado para o seu diâmetro e são também mais pesadas do que o esperado pela regressão simples com diâmetro. As árvores plotadas no quadrante inferior esquerdo seguem o mesmo padrão sendo mais baixas que o esperado para o seu diâmetro e conseqüentemente mais leves que o esperado para o seu diâmetro. Entretanto nos outros dois quadrantes, ocorrem muitas árvores que não seguem este padrão. Por exemplo, no quadrante inferior direito, as árvores mais altas que o esperado para o seu diâmetro, são mais leves do que deveriam ser para o seu diâmetro. Obviamente, a altura não é a única variável biométrica que está influenciando nas variações do peso fresco para um determinado diâmetro fixo. Outros fatores certamente influenciam como por exemplo:

variação de copas, árvores ocadas, forma das árvores, densidade da madeira e árvores caducifólias.

Os resultados abaixo demonstram que a densidade da madeira é uma variável importante que pode explicar estes desvios evidentes na figura 14.

#### 4.4. Correção do efeito de densidade sobre o peso seco estimado

A figura 15 mostra a grande dispersão dos valores de densidade dentro de cada tipo de vegetação e nenhuma tendência em função de diâmetro. Apesar da dispersão, a diferença entre as duas tipologias foi altamente significativa (teste t unicaudal,  $p \leq 0,000183$ ; Tabela 2). As árvores da floresta com bambu apresentaram uma densidade básica, com casca e na altura do peito, de  $0,517 \pm 0,034 \text{ g cm}^{-3}$  (média  $\pm 2$  erros padrões da média;  $n=100$ ). Nas árvores de floresta sem bambu a densidade foi  $0,601 \pm 0,031 \text{ g cm}^{-3}$  (média  $\pm 2$  erros padrões;  $n=101$ ). A menor densidade básica de madeira, para as árvores da floresta com bambu, é atribuída ao favorecimento de espécies pioneiras, na presença dos efeitos perturbadores do bambu (Oliveira, 2000).

O fator multiplicativo de redução do peso seco em função da menor densidade, aplicado às árvores da floresta com bambu (densidade de madeira na floresta com bambu / densidade de madeira da Amazônia Central), foi  $0,64 \pm 0,088$  (razão das duas médias  $\pm 2$  erros padrões da razão). Para a floresta sem bambu o fator de redução foi  $0,75 \pm 0,098$ . O erro padrão das razões é baseado na fórmula da propagação de erro:

$$EP_{raz} = \left( \sqrt{\left(\frac{EP_{AC}}{M_{AC}}\right)^2 + \left(\frac{EP_{AM}}{M_{AM}}\right)^2} \right) * \left(\frac{M_{AC}}{M_{AM}}\right)$$

onde:

$EP_{raz}$  = Erro padrão da razão;

$M_{AC}$  = Média da densidade básica da tipologia no Acre ( $n=100$ );

$M_{AM}$  = Média da densidade básica das 12 árvores da Amazônia Central ( $n=12$ );

$EP_{AC}$  = Erro padrão da tipologia no Acre; e

$EP_{AM}$  = Erro padrão das 12 árvores da Amazônia Central.



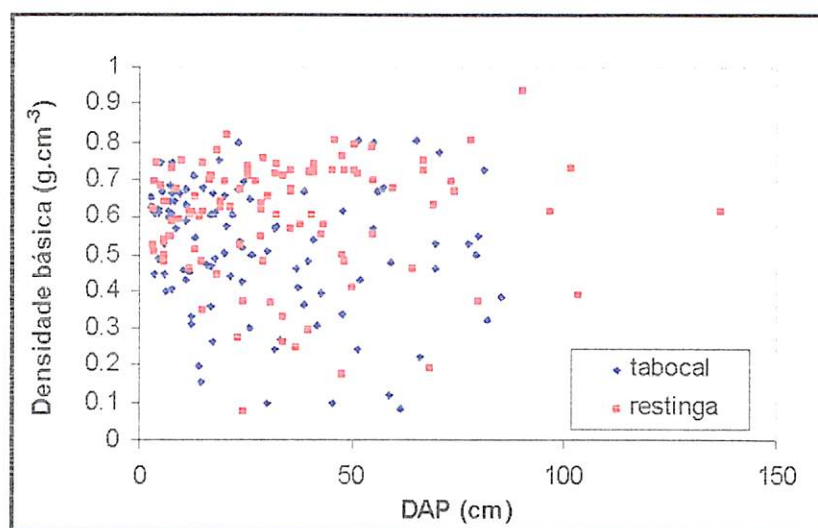


Figura 15. Densidade básica e diâmetro das árvores da floresta sem bambu e com bambu.

Os valores de densidade básica para a floresta sem bambu ocupam o intervalo 0,078 a 0,936  $\text{g cm}^{-3}$ , e os valores para a floresta com bambu ocorre no intervalo 0,083 a 0,804  $\text{g cm}^{-3}$ . A presença de árvores de densidade  $<0,2 \text{ g cm}^{-3}$ , como *Jacaratia* sp (Caricaceae), e a quase ausência de densidades acima de 0,8  $\text{g cm}^{-3}$  tendem a puxar a média da densidade para baixo, nas duas tipologias florestais, comparadas com Amazônia Central. A menor densidade básica média em floresta sem bambu no Acre bem como um menor número de árvores ocadas, pode indicar árvores de crescimento mais rápido, e mais jovens, devido ao solo mais fértil que Amazônia Central. Na floresta com bambu, os efeitos perturbadores do bambu favorecem árvores pioneiras de crescimento muito rápido e portanto densidade básica muito baixa.

As médias da densidade nas duas tipologias florestais em estudo, são apresentadas na tabela 2, incluindo os intervalos de confiança e a probabilidade do teste *t* para a diferença entre as duas médias.

Tabela 2. Médias da densidade de madeira na altura do peito para árvores nas duas tipologias florestais no Acre.

Tipos de Floresta	Média $\pm$ 2 erro padrão	Intervalo de confiança (95%)	Teste t
Fl. s/ bambu	0,601 $\pm$ 0,031	0,570 a 0,632	p $\leq$ 0,000183
Fl. c/ bambu	0,517 $\pm$ 0,034	0,483 a 0,552	

#### 4.5. Estimativas de biomassa

A tabela 3 apresenta as estimativas de biomassa seca acima do solo por hectare -- após efetuar a correção de efeito de altura e de densidade para cada árvore inventariada por Oliveira (2000) -- nas duas tipologias florestais no Acre, distribuídas em 3 classes de CAP. A biomassa de caules > 10 cm DAP para a floresta sem bambu foi de 200 t ha<sup>-1</sup>, na floresta com bambu foi de 100 t ha<sup>-1</sup>. Estes valores serão aplicados no segundo capítulo na modelagem de biomassa sobre uma área de 90 x 90 km. Os dados da terceira coluna, para árvores >31,8 cm DAP (=100 cm CAP) são incluídos para permitir comparações com estimativas de biomassa baseados nos inventários Projeto RADAMBRASIL.

Tabela 3. Peso seco em pé (t ha<sup>-1</sup>) nas duas tipologias florestais, em três classes de CAP; total para estas três classes; e total para DAP >10 cm (CAP > 31,1 cm) e DAP > 31,8 cm (CAP > 99,9 cm).

Tipo de Floresta	CAP (cm)	t ha <sup>-1</sup>	t ha <sup>-1</sup> (>2,5 cm DAP)	t ha <sup>-1</sup> (> 10 cm DAP)	t ha <sup>-1</sup> (> 31,8cm DAP)
Fl. s/ bambu	7,8 – 29,9	15,31	216	200	128
	30 – 59,9	26,90			
	> 60	173,51			
Fl. c/ bambu	7,8 – 29,9	21,00	122	100	57
	30 – 59,9	21,08			
	> 60	79,35			

Nos caules >2,5 cm DAP, a floresta com bambu armazena 56% da biomassa da floresta sem bambu. Esta classe inclui o próprio bambu, que, em 1998, variava entre 2,8 e 7,0 cm DAP (intervalo de confiança 95%). Na classe >10 cm DAP, a floresta com bambu armazena apenas 50%, e na classe >31,8 cm DAP a floresta com bambu armazena apenas 44,5% da biomassa encontrada da floresta sem bambu.

A estimativa de biomassa é fundamental nos estudos relacionados ao seqüestro e armazenamento do carbono pela vegetação, onde o estoque de carbono é, aproximadamente, 50% do peso seco. No Acre, com base nas correções de relações alométricas apresentadas neste estudo, o estoque de carbono nos caules >2,5 cm de DAP, na floresta sem bambu é 108 t ha<sup>-1</sup>, na floresta com bambu é de 60,5 t ha<sup>-1</sup>. Presumindo uma extensão de 180.000 km<sup>2</sup> para a floresta com bambu no sudoeste da Amazônia (mapa de Kalliola e Nelson, não publicado) haveria um potencial futuro de seqüestro de carbono

de  $8,55 \times 10^9$  t, caso o bambu fosse eliminado por prática de manejo. Isto representaria uma receita de 4,28-29,9 bilhões de dólares caso fosse aceito pelo mercado de carbono ao preço de US\$5-35 por tonelada (Feamside, 2000; Kremen *et al.*, 2000; Chambers *et al.*, 2001). Este procedimento talvez não seja recomendável, porque, conforme dados não publicados do Centro de Trabalhadores da Amazônia (CTA) em Rio Branco, certas espécies madeiráveis são associadas com o bambu.

Os resultados de estimativa de biomassa, obtidos aqui -- utilizando-se a equação alométrica de Chambers *et al.* (2001) para caules acima de 5 cm de DAP e de Nelson *et al.* (1999) para caules menores -- foram similares, na floresta sem bambu, àqueles obtidos anteriormente por Nelson *et al.* (2001), enquanto a estimativa na floresta com bambu diminuiu de  $146 \text{ t ha}^{-1}$  para  $122 \text{ t ha}^{-1}$ . Nelson *et al.* (2001) aplicaram uma equação para árvores de capoeira (Nelson *et al.*, 1999), aos caules de 2,5-25 cm de DAP; uma equação de Overman *et al.* (1994) para os caules 25-45 cm de DAP; e Brown *et al.* (1989) para DAP > 45 cm; sendo que o peso seco obtido com a equação de Overman sofreu um fator multiplicativo de redução e o peso seco obtido com Brown *et al.* sofreu outro fator de redução, ambos para forçar a concordância com regressão de Nelson *et al.* aos 25 cm de DAP. Este procedimento efetivamente presumiu uma mesma densidade básica de 0,505 para todas as classes diamétricas de ambas as tipologias florestais no Acre. Aqui demonstramos que a densidade da floresta com bambu (0,52) é menor do que a floresta sem bambu (0,60), e que o fator de redução de peso em função da relação altura x diâmetro é também mais forte para a floresta com bambu.

Com a inclusão dos fatores de redução do peso seco obtido pela Equação II-2, em função da menor altura e menor densidade, houve um aumento na diferença de biomassa entre as duas formações florestais no Acre, em relação às estimativas de Nelson *et al.* (2001), passando de 60 para  $95 \text{ t ha}^{-1}$ .

#### 4.6. Árvores ocadas

A tabela 4 apresenta as 12 árvores ocadas, das 202 árvores derrubadas no Acre, correspondendo apenas 6% destas árvores, diferente da Amazônia Central. Entretanto, na obtenção da densidade básica de madeira nas duas tipologias florestais, isto não foi levado em consideração, devido às equações alométricas utilizadas neste trabalho, incluírem a porcentagem de árvores ocadas.

Tabela 4. Fração do disco ocado à altura do peito em 12 árvores, nas duas tipologias florestais.

Nº	Nome vulgar	DAP (cm)	Fração do disco ocado à altura do peito	Tipologia
1	?	7,96	0,07	Fl. c/ bambu
2	Cinzeiro	8,18	0,04	Fl. c/ bambu
3	Espinho branco	20,09	0,05	Fl. c/ bambu
4	?	24,19	0,01	Fl. c/ bambu
5	João mole	6,14	0,06	Fl. s/ bambu
6	Castanharana	12,33	0,02	Fl. s/ bambu
7	Castanharana	15,09	0,01	Fl. s/ bambu
8	Aroeira	54,59	0,40	Fl. s/ bambu
9	Acariquara roxa	59,68	0,85	Fl. s/ bambu
10	Imbiriba verdadeira	66,91	0,50	Fl. s/ bambu
11	Ingá ferro	73,21	0,40	Fl. s/ bambu
12	Manité	96,77	0,20	Fl. s/ bambu

## 5. CONCLUSÕES

- Quando se considera a altura menor, para um dado diâmetro, de árvores no Acre comparado com Amazônia Central, toma-se necessário a aplicação de um fator de redução no peso seco, quando este é estimado com base em uma equação alométrica desenvolvida na Amazônia Central (Eq.II-2). A correção multiplicativa varia em função do diâmetro da árvore no Acre, sendo 0,61 a 0,93 para a floresta com bambu e 0,85 a 0,97 para a floresta sem bambu.
- As árvores da floresta com bambu, no Acre, apresentaram uma densidade básica, com casca e à altura do peito, de  $0,517 \pm 0,034 \text{ g cm}^{-3}$  (média  $\pm 2$  erros padrões;  $n=100$ ); para as árvores de floresta sem bambu a densidade foi  $0,601 \pm 0,031 \text{ g cm}^{-3}$  ( $n=101$ ); muito menor que o valor da Amazônia Central obtido por Higuchi & Carvalho (1994) ( $0,80 \pm 0,10 \text{ g cm}^{-3}$ ;  $n = 12$ ).
- O fator multiplicativo de redução do peso seco – aplicado sobre o peso seco do modelo polinomial de Chambers *et al.*, (Eq.II-2) com base na menor densidade básica de madeira na floresta com bambu, foi  $0,64 \pm 0,088$  (razão de duas médias  $\pm 2$  erros padrões da razão). Para a floresta sem bambu o fator de redução foi  $0,75 \pm 0,098$ .

- O peso seco acima do chão para árvores em pé, para os caules  $>2,5$  cm de DAP na área estudada, obtido pelo modelo de Chambers *et al.*, estimado na floresta com bambu e sem bambu, com (sem) as correções pelos efeitos de altura e densidade, é de 122 (206)  $t ha^{-1}$  e 216 (300)  $t ha^{-1}$ , respectivamente. Para caules  $>10$  cm DAP a biomassa seca com (sem) correção é 100 (177)  $t ha^{-1}$  e 200 (280)  $t ha^{-1}$ , respectivamente.
- Embora exista boa concordância entre equações alométricas desenvolvidas em diferentes florestas densas da Amazônia, os resultados aqui apresentados sugerem que estas equações não devem ser aplicadas em florestas abertas, ou a florestas sobre solos férteis (vertissolos), comuns no Acre, sem correções como aquelas elaboradas neste trabalho.
- Seria recomendável (1) obter melhores estimativas para a densidade básica de madeira para árvores da Amazônia Central, para maior confiança nas correções e (2) elaborar novas equações alométricas nas diferentes tipologias de floresta aberta da Amazônia, tomando desnecessário o emprego de correções/adaptações.

### **CAPÍTULO III. ORDENAMENTO POLAR DE VALORES DE REFLECTÂNCIA NO ESPAÇO-BANDA, ENTRE FLORESTAS COM BAMBU E FLORESTA SEM BAMBU.**

#### **1. INTRODUÇÃO**

##### **1.1. Modelagem de biomassa florestal utilizando Landsat TM**

Nelson *et al.* (2001) desenvolveram um modelo para estimar biomassa dos pixels de uma imagem Landsat TM, entre duas fisionomias distintas de florestas -- com muito bambu e sem bambu -- em uma área de 90x90 km no quadrante inferior esquerdo da cena 002-066, localizada na borda entre os Estados do Acre e Amazonas. A área modelada por estes autores está ilustrada na figura 16, na forma de uma composição falsa-cor derivada de três medidas de brilho, em três faixas espectrais diferentes (bandas), para cada pixel. As verificações de campo executadas em uma área teste no extremo esquerdo da imagem, indicaram que a cor escura avermelhada na composição (local **a**) corresponde a floresta semi-decídua sem bambu (Oliveira, 2000). A cor amarela clara (local **b**) corresponde a floresta com alta densidade de bambu e menor biomassa por hectare.

Para estimar a biomassa de todos os pixels, o modelo projeta todos os pixels para um eixo de ordenamento entre estes dois padrões espectrais **a** e **b**, no espaço de atributos cujos eixos são as bandas ("espaço-banda"). Presume, portanto, que os pixels de cores intermediárias, como o local **c**, tenham biomassa também intermediária entre os extremos **a** e **b**. É importante ressaltar que esta é uma presunção do modelo ainda não testada. É possível que os pixels na área **c** sejam florestas com outra espécie de bambu ou com bambu imaturo, ainda confinado predominantemente ao sub-bosque. O modelo presume que nenhuma floresta dominada por bambu na área de estudo está na fase inicial de recuperação pós-mortalidade sincronizada, ou na fase de senescência. Nestas fase de vida as floresta dominadas por bambu tem padrões espectrais diferentes -- sem que haja correspondente alteração de biomassa da comunidade de árvores associadas. A grande maioria dos bambuzais, na área de estudo de 90x90 km, viriam a morrer em grandes manchas entre 1988 e 1992. Portanto, na data da imagem usada para modelagem (1987), os bambuzais estavam quase todos maduros. O exame de séries temporais indicou que, nos últimos dez anos de seu ciclo de vida, o padrão espectral das florestas dominadas por bambus é espectralmente estável.

Os brilhos nas bandas 4 e 5 do sensor TM destes três locais, são indicados na figura 17, onde fica evidente que o local **c** apresenta um valor de brilho intermediário em relação

aos extremos de ordenamento, **a** e **b**. O valor de biomassa do local **c** é estimado através da projeção dos seus pixels, no espaço-banda, para uma linha cujos extremos são **a** e **b**. A floresta do local **c**, quando projetada, cai em uma posição a 25 % da distância total entre **a** e **b**. Assim, pelo raciocínio do modelo, se a biomassa da área **a** é 200 t ha<sup>-1</sup> e a biomassa da área **b** é 100 t ha<sup>-1</sup>, a biomassa da área **c** seria 175 t ha<sup>-1</sup>. O modelo presume que a biomassa da floresta está inversamente proporcional à densidade de bambu na floresta. Também presume que a abundância de bambu tem uma relação linear com o padrão espectral. Estas presunções ainda não foram validadas através de inventários adicionais.

A projeção de todos os pixels da imagem para uma linha entre os extremos **a** e **b**, segue os mesmos procedimentos matemáticos do "ordenamento polar" utilizado na ecologia de comunidades (Bray & Curtis, 1957 *apud* Gauch, 1982). Este procedimento é utilizado para ordenar sítios inventariados (comunidades) ao longo de um único eixo, traçado no espaço-espécies, entre duas comunidades nos extremos de um gradiente ambiental, como altitude, latitude, umidade, fertilidade do substrato etc. O espaço-espécie onde são plotadas as comunidades é análogo ao espaço-banda onde são plotados os pixels.

Evidentemente, alguns pixels não devem ser modelados como florestas intermediárias entre os pontos **a** e **b** no espaço-banda. Genericamente, estes pixels não modeláveis seriam as áreas desmatadas, rios, lagos, pastos, praias e edificações. Como estas áreas não-florestais não tem uma posição intermediária, no espaço-banda, entre as duas florestas, será possível mascarar os pixels não modeláveis. Por exemplo os pixels de queimadas novas (letra **d** na Figura 18) e de uma área urbana (letra **e** na Figura 18) tem tonalidades muito distintas das florestas, no espaço RGB.



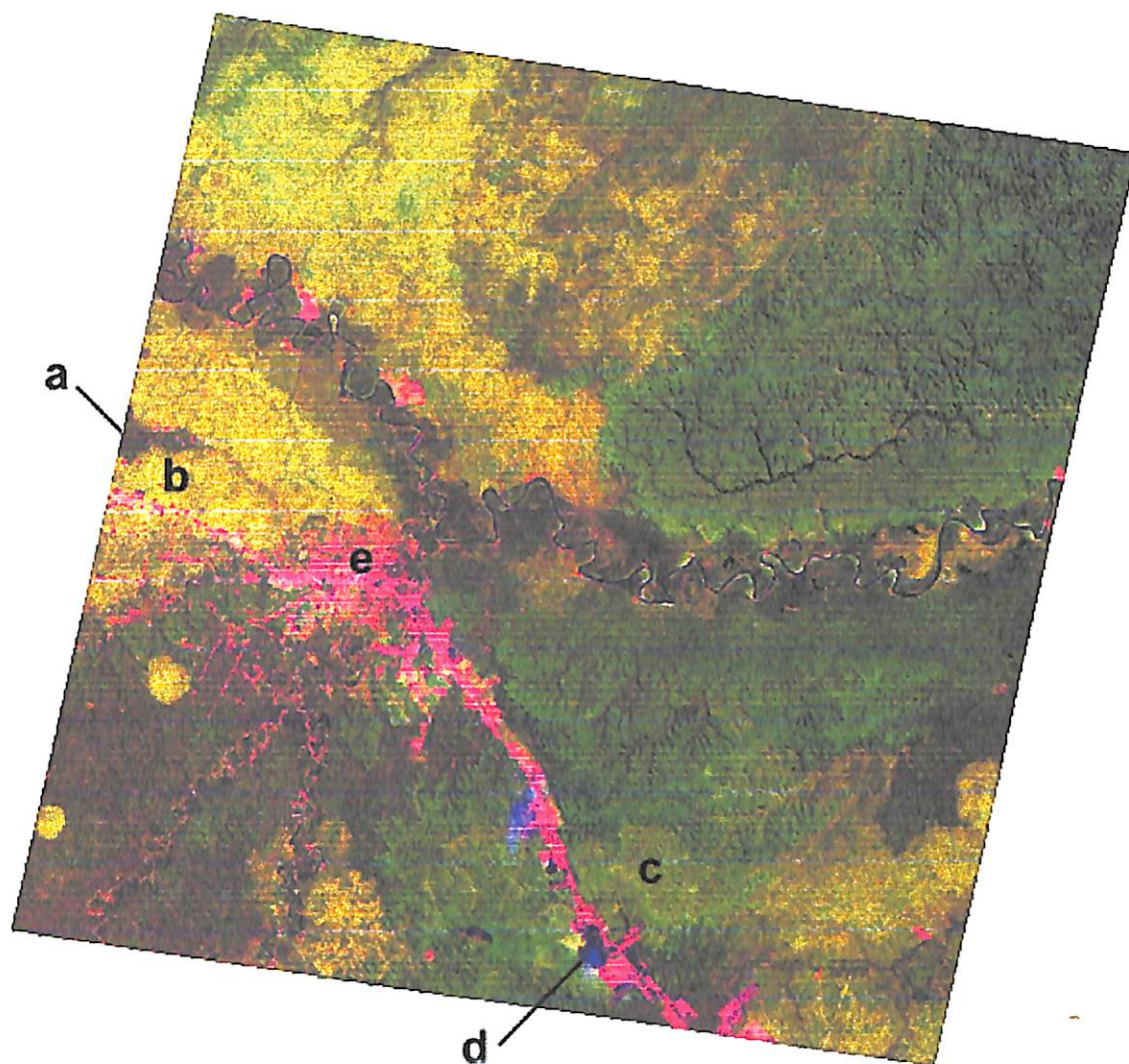


Figura 16. Composição falsa cor das bandas 3, 4 e 5 (B-G-R) do quadrante inferior esquerdo da cena 002-066 do sensor orbital Mapeador Temático do satélite. Imagem adquirida em 25/08/87.



Os dois critérios de aceitabilidade para a modelagem dos pixels, dentro do espaço-banda, são: (1) a distância Euclidiana, entre o pixel e o eixo de ordenamento, antes de sua projeção; e (2) a distância além dos pólos após a projeção. Quando qualquer uma dessas distâncias exceder um limite pré-determinado, o pixel é considerado “não florestado” e rejeitado para o efeito da modelagem. Um exemplo de distância euclidiana excessiva é a área urbana (Figura 18). O pasto queimado, embora próximo do eixo de ordenamento, foi projetado muito além de um dos pólos. O limite da distância euclidiana entre o pixel e o eixo, utilizado atualmente no modelo para considerar o pixel como “floresta”, é 60% da distância entre os pólos de ordenamento. O segundo limite (para eliminar pixels de pasto queimado, por exemplo) é dois desvios padrões dos valores, no eixo de ordenamento, de uma população de 360 pixels de floresta, onde a biomassa foi inventariada no campo e cujo centróide é um dos pólos. No plano de duas bandas este dois limites descrevem um retângulo de aceitabilidade (Figura 19) e no espaço de três bandas descrevem um cilindro.

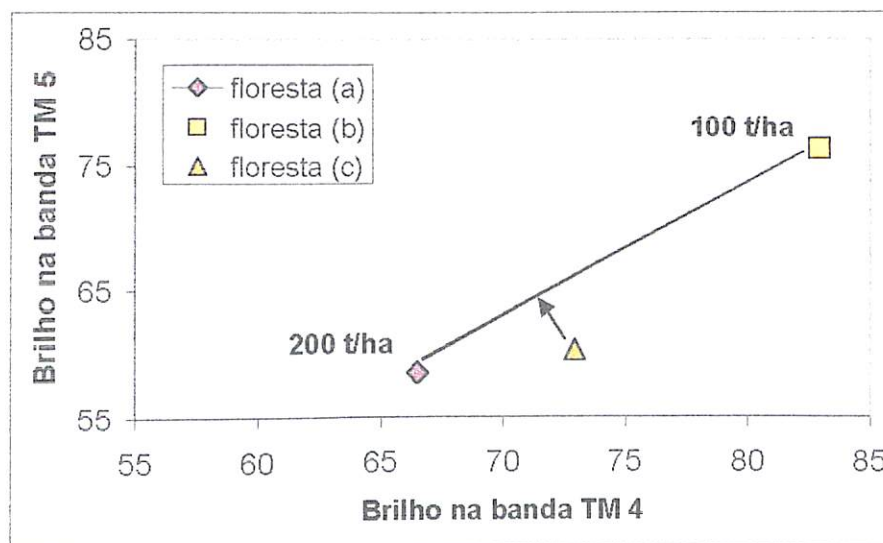


Figura 17. Valores de brilho nas bandas 4 e 5 do sensor TM dos três locais: (a) floresta semi-decídua sem bambu; (b) floresta com alta densidade de bambu e (c) floresta intermediária.

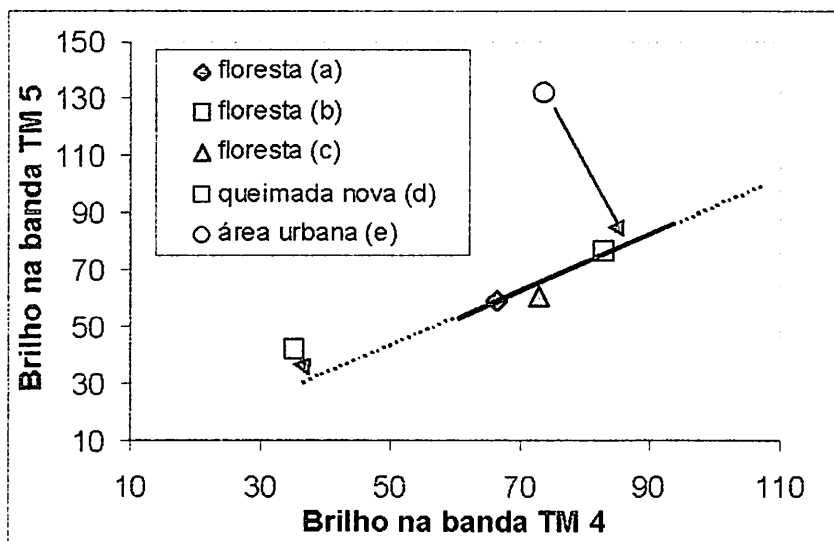


Figura 18. Dois critérios de rejeição de alvos no modelo: (d) queimadas novas, que projetam muito além de uma extremidade do eixo de ordenamento e (e) áreas urbanas, com distância Euclidiana do eixo excessiva antes da projeção.

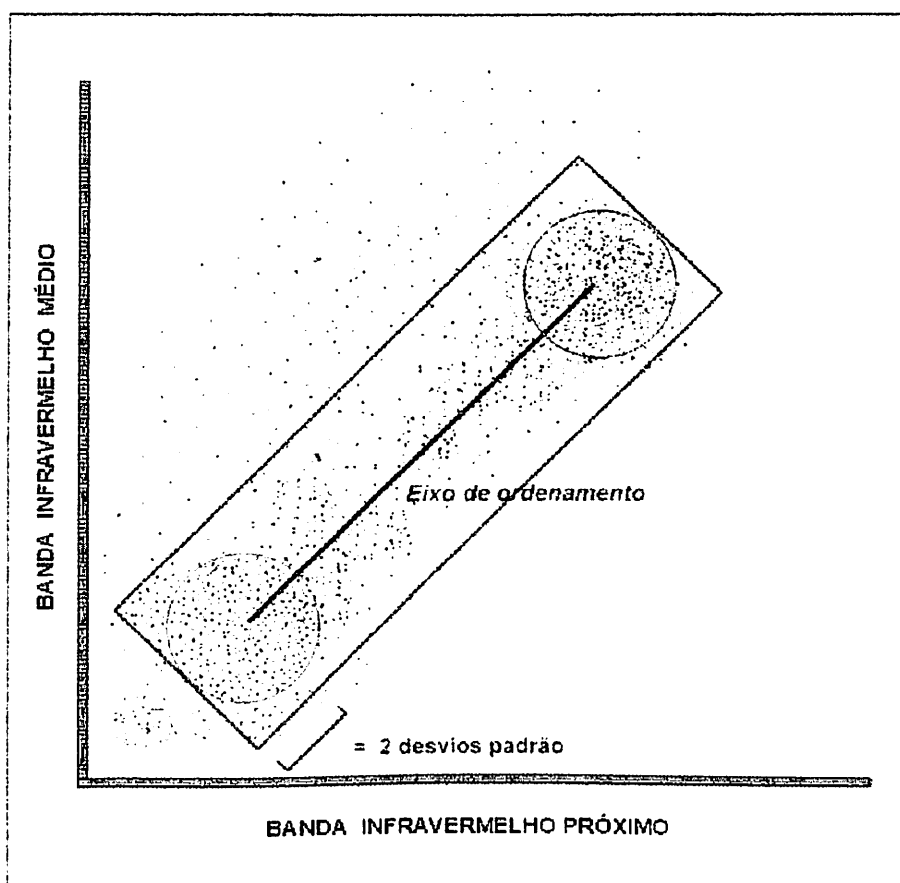


Figura 19. Retângulo de aceite, contendo os pixels modeláveis como florestas, visualizado no plano de duas bandas.

## **1.2. Fontes de erro no modelo**

O modelo apresenta fontes de erro, algumas das quais podem ser minimizados efetuando etapas de pré-processamento digital de imagens.

### **1.2.1. Geometria de iluminação**

As imagens do Landsat se tornam em geral mais claras do lado oeste e mais escuras do lado leste. Esse fenômeno, conhecido como anisotropia, está relacionada a menor área de sombras das árvores e sua influência nas condições radiométricas do pixel quando o Sol, o sensor e o alvo estão alinhados no mesmo eixo.

### **1.2.2. Sombras topográficas**

As sombras das colinas são interpretadas pelo modelo como tendo alta biomassa, enquanto o lado iluminado é modelado com baixa biomassa. A variância no brilho dos pixels ocasionada pela topografia é maior na floresta de maior reflectância, ou seja, a floresta com bambu.

### **1.2.3. Névoa/fumaça heterogênea na imagem**

Caso a fumaça ou névoa fosse homogênea na imagem, não afetaria o modelo. Entretanto, na imagem de 1987, há uma concentração espacial de fumaça em áreas próximas aos pastos ao longo da BR-364. Este fenômeno pode ser visualizado dando forte ampliação de contraste na banda 3 (faixa do visível-vermelho) e sobrepondo nesta, os polígonos de áreas desmatadas (Figura 20). A fumaça é praticamente transparente nas bandas 4, 5 e 7 devido ao maior comprimento de onda nestas faixas do infravermelho. O brilho das florestas com e sem bambu é idêntico na banda 3. Portanto, esta banda nada contribuiu ao modelo além de ruídos indesejáveis e deve ser desconsiderada no cálculo de distâncias euclidianas utilizadas para projeção ao eixo de ordenamento. Entretanto, a banda TM 3 tem utilidade para o reconhecimento de pixels que não devem ser modelados, como rios, praias, pastos e área urbana, e deve ser considerada quando se calcula distâncias euclidianas utilizadas na confecção do cilindro de aceitabilidade.

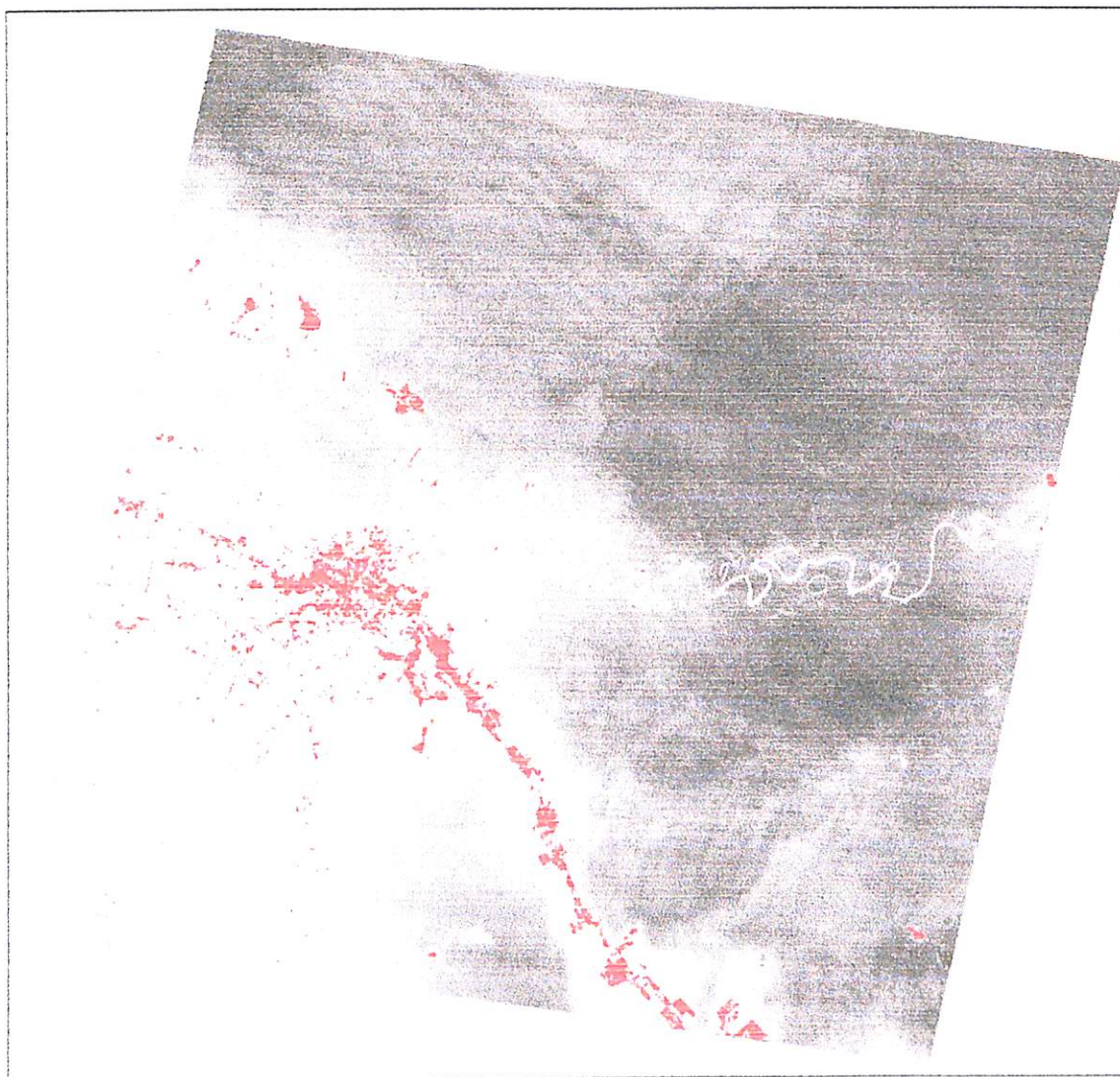


Figura 20. Efeito de névoa/fumaça heterogênea, na banda 3 (região do vermelho), com polígonos de áreas desmatadas.

#### *1.2.4. Correção geométrica*

A correção geométrica consiste em estabelecer um ajuste empírico entre duas imagens, a qual refere-se ao processo de alinhamento geométrico, sendo o ajuste do sistema de coordenadas de uma imagem (dado em pixels/linhas) ao sistema equivalente na outra imagem, cobrindo a mesma área (Crósta, 1992). O processo baseia-se na identificação de pontos de controle em uma imagem que servirá de base para o registro da outra imagem. Desta forma, a correção geométrica entre as imagens é feita registrando duas coordenadas tipo pixel/linha entre si. Após esse processo, realiza-se o equacionamento polinomial linear de terceiro grau (cúbico), pois experiências anteriores

demonstraram que funções de menor ordem não resultam em uma justaposição adequada dos pixels. O algoritmo de reamostragem utilizado neste processo é o vizinho-mais-próximo. Os pontos de controle devem ser bem distribuídos nas imagens para garantir a perfeita sobreposição da imagem corrigida com a imagem referência. Neste estudo, as imagens 1987 e 1988 foram corrigidas geometricamente com a imagem de 1999 cena completa, adquirida com a correção geométrica. Este processo é necessário para obter informações de uma mesma área em duas imagens (1987 e 1988), para que estas possam ser utilizadas na intercalibração radiométrica e na transformação de radiância codificada (DNs) para valores de reflectância padrão topo-de-atmosfera de 1988, que tem a atmosfera mais limpa entre todas as imagens obtidas do INPE.

#### **1.2.5. Intercalibração radiométrica**

A intercalibração radiométrica refere-se à remoção ou diminuição das diferenças atmosféricas e de iluminação entre alvos claros e escuros. O efeito de névoa nas imagens ocasiona um aumento de brilho nos alvos escuros e diminui o brilho dos alvos claros.

Uma imagem pode ser intercalibrada com relação a uma imagem referência (escolhida em função de sua atmosfera mais limpa) e, no final do processo, deve aparecer como se estivesse sido adquirida pelo mesmo sensor e nas mesmas condições atmosféricas e de iluminação desta imagem de referência.

#### **1.2.6. Imagem reflectância**

A transformação de radiância quantizada (DNs) em unidades de reflectância, possibilita explorar ao máximo os dados de sensoriamento remoto, os quais independem de condições atmosféricas, proporcionando desta forma, resultados mais confiáveis (Moran *et al.* 1992 *apud* Chen & Herz, 1996).

Segundo Chen & Herz (1996) é indispensável a conversão de DN's para valores físicos, quando associa informações de satélites com as propriedades biofísicas de alvos como: biomassa, concentração de clorofila etc. Os valores de reflectância apresentam-se entre 0 e 1.

### 1.2.7. Filtragem digital

O filtro mediana reduz a variação espacial nos valores de brilho ocasionadas por sombras topográficas. É um filtro de suavização que tende a preservar as bordas na imagem (Crósta, 1992, Eastman, 1998).

## 2. OBJETIVOS

O objetivo deste capítulo é melhorar a modelagem de biomassa que utiliza os padrões espectrais presentes em imagem de 1987. Apesar da névoa presente nesta imagem, é a única data que pode ser empregada no modelo, por apresentar bambuzais espectralmente estáveis e maduros.

1. Efetuar etapas de pré-processamento para melhorar/corrigir o resultado final do modelo, incorporando estas etapas na cadeia de passos automatizados.

1.1. Criar e aplicar imagem aditiva para corrigir problemas de geometria de iluminação (retirar o efeito de maiores sombras nos pixels de floresta na parte leste da varredura).

1.2. Efetuar a correção geométrica nas imagens de 1987 e 1988, usando a imagem de 1999 (já corrigida) como referência.

1.3. Efetuar a intercalibração radiométrica da imagem 1987, usando a imagem com atmosfera mais limpa como referência (imagem 1988).

1.4. Efetuar a transformação das unidades de radiância codificada (DN) em reflectância topo-de-atmosfera, padrão 1988.

1.5. Filtragem passa baixa para reduzir efeitos de topografia sobre o padrão espectral e biomassa inferida.

2. Efetuar o ordenamento polar de imagem 1987 para modelar a biomassa florestal em área de 90x90 km no sudoeste da Amazônia. Os extremos do eixo de ordenamento são florestas sem bambu e com alta densidade de bambu, já inventariadas (Oliveira, 2000). Os valores de biomassa nos extremos do eixo de ordenamento serão aqueles reportados no Capítulo II para árvores  $\geq 10$  cm de DAP.

3. Automatizar os processos de pré-processamento e ordenamento polar (criar macros) para que o modelo possa ser rodado com facilidade, com diferentes variáveis de entrada.



### 3. MÉTODOS

#### 3.1. *Imagens empregadas*

As análises para melhorar e automatizar o modelo de biomassa foram desenvolvidas utilizando uma imagem Landsat TM de órbita 002-066 bandas 3, 4, 5 e 7, captada em 23 de agosto de 1987, quando o bambu estava maduro e espectralmente estável. Foram utilizados os softwares Idrisi32 (Eastman, 1999) e AdobePhotoshop 4.0 (Adobe Systems, Inc., 1996) para Windows.

#### 3.2. *Etapas de pré-processamento*

##### 3.2.1. *Geometria de iluminação*

Para corrigir os efeitos da anisotropia no sentido leste-oeste, causada pela variação no tamanho das sombras das árvores, nas duas imagens 1987 e 1988, as quatro bandas (3, 4, 5 e 7) sofreram um offset (adição) variável no sentido leste-oeste, de modo que todos os pixels foram calibrados para o centro da linha de varredura. As correções aditivas para as bandas TM são indicadas na figura 21 (Collett *et al.*, 1999), considerando a coluna 3061 como meio da varredura. A intensidade deste efeito é de até 5 DN, entre as extremidades oeste e leste, dependendo da banda. Um exemplo de imagem aditiva para a banda 5 criada com a função DISTANCE do Idrisi32 é apresentada na figura 22.

##### 3.2.2. *Correção geométrica*

A cena 002/066 de 1999, já corrigida geometricamente, foi a imagem referência para correção espacial das imagens de 1987 e 1988. A correção geométrica consistiu na identificação de 25 pontos de controle distribuídos de maneira uniforme dentro do quadrante inferior esquerdo das imagens de 1987 e 1988 e da cena completa de 1999, com um RMS médio de 0,5 pixels de distância. A transformação polinomial utilizada foi cúbica e algoritmo de reamostragem vizinho mais próximo, para preservar ao máximo os valores DN.

### 3.2.3. Intercalibração radiométrica

Este processo consiste em normalizar os dados radiométricos da imagem 1987, através de uma imagem de referência. A imagem de 1988 é a imagem referência escolhida em função de sua atmosfera mais limpa, levando em consideração o grau de contraste entre os alvos claros e escuros.

O método necessita como dados de entrada, conjuntos de pontos de controle radiométricos de alvos claros e escuros imutáveis para cada banda da imagem 1987 a ser retificada e a de referência. Estes alvos devem ser temporalmente invariantes, presentes tanto na imagem 1988 como na imagem 1987, para que estas duas imagens possam ser radiometricamente intercalibradas através de uma simples transformação linear, a qual descreve a relação entre a imagem não corrigida e com mais névoa (1987), e a imagem de referência com atmosfera mais limpa (1988). O valor DN da imagem 1988 é plotado no eixo Y e o valor DN da imagem 1987 é plotado no eixo X para os alvos em cada banda. Deve-se obter pelo menos dois alvos para cada banda, um escuro e outro claro. Assim, a imagem de 1987 após a retificação linear em cada banda, ainda em unidades de radiância codificada (DNs com valores fracionais), terá a aparência de ter sido captada sob as mesmas condições atmosféricas, com o mesmo sensor e mesma intensidade de radiação incidente, que a imagem de 1988, podendo ser transformada em reflectância usando a distância Terra-Sol e o ângulo zenital do Sol, da data 1988.

Os alvos escolhidos foram: DN média ponderada de 1% de pixels mais claros em pequenos polígonos de praia do rio Purus = alvo claro nas bandas 3, 5, e 7 (inclui apenas areia exposta); média ponderada dos 5% de pixels mais claros nos polígonos de praia e capoeira-de-praia = alvo claro na banda 4 (inclui apenas capoeira-de-praia); DN média de todos os pixels em polígonos de floresta primária sem bambu, em platô de latossolo, quase livre de decidualidade sazonal = alvo médio nas bandas 4, 5, 7 e alvo escuro na banda 3; DN média ponderada dos 1% de pixels mais escuros em polígono de lago com pouco sedimento = alvo escuro nas bandas 4, 5, 7; o lago tem um pouco de sedimento em suspensão, impedindo seu uso como alvo invariante para a banda 3.



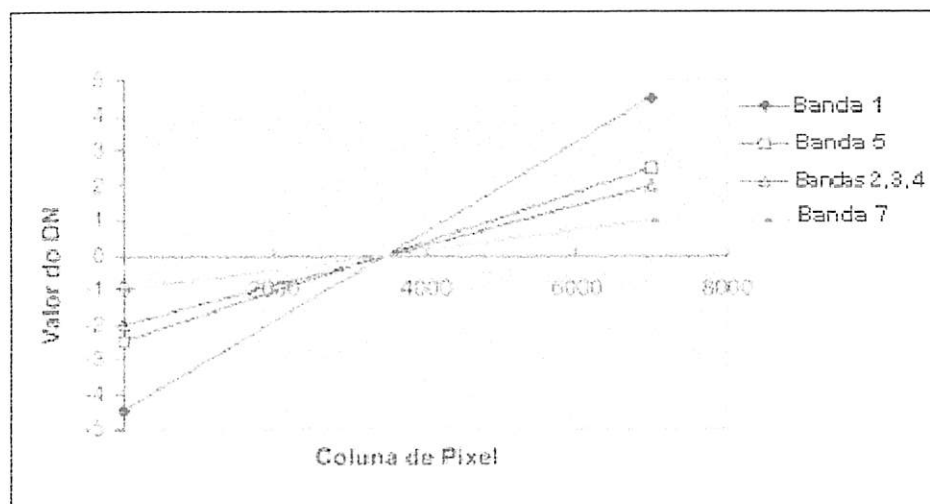


Figura 21. Correção aditiva variável (leste-oeste) em cada banda para cenas inteiras com 7000 colunas de pixels (Collett *et al.*, 1999).

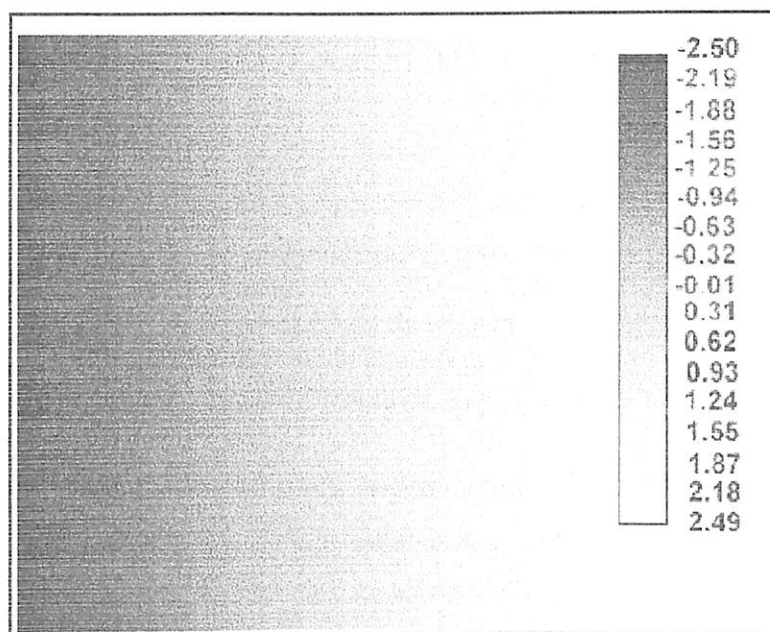


Figura 22. Imagem aditiva para corrigir o efeito de anisotropia em cada banda, no sentido leste-oeste. A escala é apropriada para a banda TM 5 em uma cena inteira.

#### 3.2.4. Transformação de números digitais (DN) em valores de reflectância

A conversão de valores digitais de brilho (radiância) em reflectância foi realizada segundo a metodologia descrita por Chen & Herz (1996). Inicialmente, os DN foram convertidos em valores de radiância utilizando a seguinte equação:

1) Conversão DN em Radiância para uma determinada banda ( $\lambda$ )

$$\text{Radiância} = \frac{DN_{\lambda} * (L_{\max_{\lambda}} - L_{\min_{\lambda}})}{255} + L_{\min_{\lambda}}$$

Onde:

$L_{\max_{\lambda}}$  = Radiância máxima no escalonamento do  $DN_{INPE}$  para valores inteiros entre 0 e 255 (tabela 5).

$L_{\min_{\lambda}}$  = Radiância mínima no escalonamento do  $DN_{INPE}$  para valores inteiros entre 0 e 255 (tabela 5)

Após a conversão dos DN para valores de radiância, estes foram transformados para valores de reflectância topo-de-atmosfera.

2) Conversão Radiância em Reflectância topo-de-atmosfera para uma determinada banda

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi * L_{\lambda} * d^2}{Esol_{\lambda} * \cos \theta_s}$$

Onde:

$\rho_{\lambda}$  = Reflectância do pixel, no topo da atmosfera, na banda  $\lambda$

$L_{\lambda}$  = Radiância, obtida anteriormente

$d$  = distância Terra – Sol no dia da aquisição da imagem

$Esol_{\lambda}$  = irradiância solar média no topo da atmosfera na banda  $\lambda$

$\theta$  = ângulo zenital do Sol na data local e hora de aquisição

Como a distância Terra –Sol e o ângulo zenital do Sol são constantes dentro de determinada imagem obtida em determinada data, a conversão dos DN em valores de reflectância foi realizada através de uma única equação, que relaciona a reflectância com DN. Foram quatro transformações lineares, uma para cada banda, da imagem de 26 de julho de 1988. Como os DN da imagem 1987 serão intercalibrados com os DN da imagem 1988, a distância Terra-Sol e o ângulo zenital do Sol em 1988 são empregados também naquela imagem de 1987. Portanto, as mesmas quatro transformações lineares para converter DN em reflectância são usadas nas duas datas, 1987 e 1988.

Substituindo a definição de radiância dentro da equação para reflectância, temos:

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi * d^2}{ESol_{\lambda} * \cos \theta} \left[ \frac{DN_{\lambda} (L \max_{\lambda} - L \min_{\lambda})}{255} + L \min_{\lambda} \right]$$

Para cada banda em 26 de julho de 1988 (ou cada banda de qualquer outra data intercalibrada com estas) temos as seguintes três constantes na equação acima:

$$\frac{\pi * d^2}{ESol_{\lambda} * \cos \theta} = K_{\lambda}$$

$$\frac{(L \max_{\lambda} - L \min_{\lambda})}{255} = C_{\lambda}$$

$$L \min_{\lambda}$$

Assim:

$$\rho_{\lambda} = K_{\lambda} * C_{\lambda} * DN_{\lambda} + K_{\lambda} * L \min_{\lambda}$$

ou

$$\rho_{\lambda} = a_{\lambda} * DN + b_{\lambda}$$

onde:

$$a_{\lambda} = \frac{\pi * d^2}{ESol_{\lambda} * \cos \theta} \left( \frac{L \max_{\lambda} - L \min_{\lambda}}{255} \right)$$

$$b_{\lambda} = \frac{(L \max_{\lambda} - L \min_{\lambda}) * L \min_{\lambda}}{255}$$

Os valores de  $L_{min\lambda}$  e  $L_{max\lambda}$  ( $mW.cm^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$ ) para as bandas do Landsat TM, e os valores de  $ESol_{\lambda}$  ( $mW.cm^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$ ) estão na tabela 5.

Tabela 5. Valores de  $L_{min\lambda}$ ,  $L_{max\lambda}$  e  $ESol_{\lambda}$  referentes às bandas do Landsat 5 TM das datas 1987 e 1988.

Banda Espectrais	$L_{min\lambda}$	$L_{max\lambda}$	$ESol_{\lambda}$
banda 3	-0,12	20,43	155,7
banda 4	-0,15	20,62	104,7
banda 5	-0,037	2,719	21,93
banda 7	-0,015	1,438	7,452

Fonte: Serra (1995) *apud* Chen & Herz (1996); Markham & Barker (1986) *apud* Thalês (2000).

O valor do ângulo zenital solar, para a cena 002-066 de 26 de julho de 1988, usados para o cálculo da transformação de números digitais para reflectância topo-de-atmosfera padrão 1988 é  $47^{\circ}$  (<http://www.dgi.inpe.br>). A distância Terra-Sol em 26 de julho de 1988 era 1,0154 unidades astronômicas ([http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbook\\_htmls/](http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbook_htmls/)). Com estas constantes, os valores de ganho e offset da transformação de DN em reflectância são aqueles dados na tabela 6.

Tabela 6. Coeficientes da transformação linear de DN em reflectância, topo-de-atmosfera, padrão 1988.

$\lambda$	$a_{\lambda}$	$b_{\lambda}$
Banda 3	0,00246	-0,00366
Banda 4	0,00369	-0,00680
Banda 5	0,00234	-0,00801
Banda 7	0,00363	-0,00956

### 3.2.5. Variância ocasionada pela topografia.

Para amenizar os efeitos das sombras topográficas, foi aplicado um filtro mediana com janela móvel  $7 \times 7$ , nas bandas individuais, após sua transformação em unidades de reflectância. Este processo foi executado no Idrisi32, o qual fornece um filtro mediana de dois estágios que tende a preservar as bordas entre alvos espectralmente distintos, como

rios, área urbana, pastagens e estradas. As figuras 23a e b mostram a maior variância na floresta com bambu, ocasionada pela topografia, e as figuras 24a e b mostram a redução da variância após a filtragem. Nestes exemplos, as imagens empregadas estavam em unidades de DN (radiância quantizada).

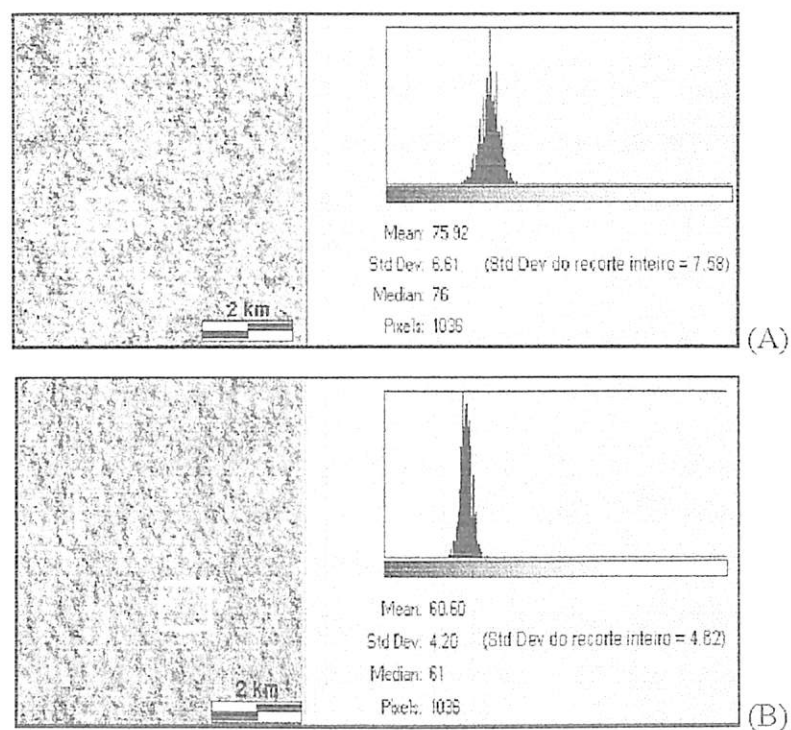


Figura 23. Histogramas e variância dos valores de brilho da banda 5, em um recorte de floresta com bambu (A) e sem bambu (B), ambas indicadas pelas caixas brancas na imagem e na legenda do histograma. A variância ocasionada pela topografia é maior na floresta com bambu, devido ao maior contraste entre o lado iluminado e o lado sombreado de colinas.

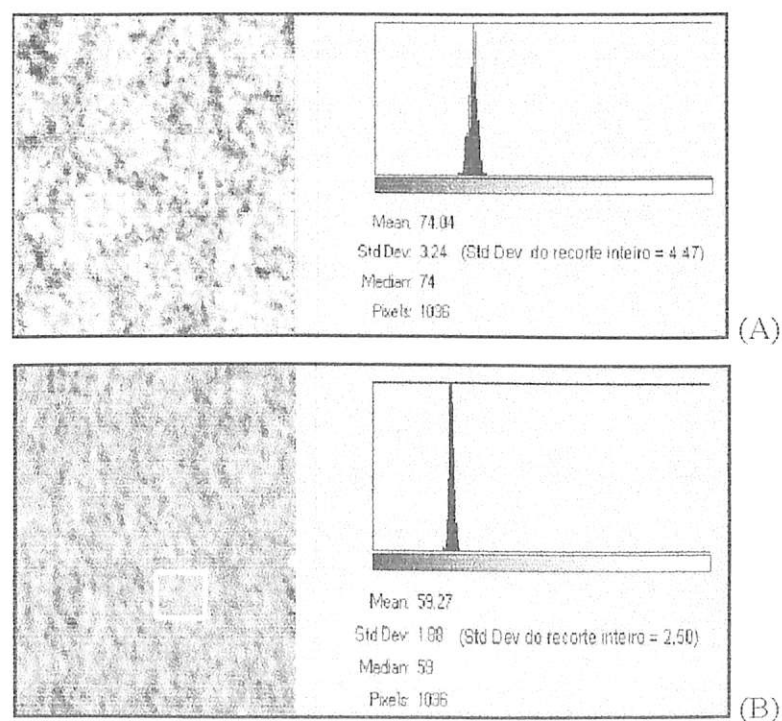


Figura 24. Reduzida variância de brilho na floresta com bambu (A) e sem bambu (B) após aplicação do filtro mediana com janela móvel de 7x7 pixels.

### 3.2.6. *Eliminação da banda 3*

A banda 3 tem valores de brilho iguais nos dois tipos de floresta, mas varia muito em função da névoa e fumaça. Ela foi eliminada como *input* do modelo. Entretanto, foi utilizada para o reconhecimento de pixels que não devem ser modelados, tais como rios, praias, pastos e área urbana.

### 3.3. *Ordenamento polar de reflectância e escalonamento para valores de biomassa viva acima do solo (> 10 cm DAP).*

A automatização, tanto do pré-processamento como do ordenamento polar e do escalonamento para biomassa, utilizou comandos de macros do software IDRISI32, e também dos softwares Word, Excel e Adobe Photoshop.

O ordenamento foi aplicado sobre os pixels de uma área de 90x90 km, no quadrante esquerdo inferior da cena 002-066, do sensor Mapeador Temático do satélite Landsat. O ordenamento emprega somente a imagem de 1987, quando o bambu estava totalmente maduro. As estimativas de biomassas foram baseadas em padrões espectrais dos pixels em duas áreas de treinamento (floresta com bambu e floresta sem bambu), cobrindo, cada uma 5 km<sup>2</sup>, localizadas à 25 km da cidade de Sena Madureira.

Cada tipologia florestal tem cinco plotes de 250 x 40 m, para estimar biomassa das árvores (Oliveira, 2000), conforme descrito no Capítulo II (figura 4). Como as posições dos pixels foram controladas no campo com GPS, foi possível delimitar os pixels na imagem de 1987 que correspondem exatamente a estes inventários, sendo 360 pixels de “treinamento” em cada tipologia. Os valores de reflectância destes pixels serão empregados para efetuar as etapas de ordenamento e criação das máscaras de aceitabilidade.

O ordenamento polar e o processo de criação da máscara requerem apenas três equações e uma expressão de lógica booleana, descritas abaixo.

*Distância euclidiana entre centróides:* São obtidas as médias dos valores de reflectância dos pixels em cada banda, nas respectivas áreas de treinamento. Estas médias são utilizadas para calcular distância euclidiana entre os centróides, pela equação III-1.

$$ED_{i,2} = \left[ \sum_{i=1}^1 (\rho_{i1} - \rho_{i2})^2 \right]^{1/2} \quad \text{Equação III-1}$$

Onde:

$ED_{1,2}$  = Distância em unidades de reflectância entre os centróides nas áreas 1 e 2;

$I$  = número de bandas;

$\rho_{i1}$  = média de reflectância, na banda  $i$ , obtida dos 360 pixels da área de treinamento 1 (floresta sem bambu);

$\rho_{i2}$  = média de reflectância, na banda  $i$ , obtida dos 360 pixels da área de treinamento 2 (floresta com bambu);

*Ordenamento polar.* Uma vez após obtida a distância entre os centróides, será criada uma imagem denominada [proj], a qual fornece o valor ordenado de cada pixel após a sua projeção, no espaço-banda, para o eixo de ordenamento entre os dois centróides. A projeção do pixel para o eixo ordenado é expresso como sua distância do centróide da floresta sem bambu, ao longo do eixo, em unidades de reflectância, dada pela equação III-2.

$$[proj] = \frac{L^2 + [d_1]^2 - [d_2]^2}{2L} \quad \text{Equação III-2}$$

Onde:

[proj] = Posição do pixel no eixo de ordenamento, após sua projeção para este eixo, a origem do eixo sendo o centróide no espaço banda dos 360 pixels inventariados da floresta sem bambu;

$L$  = Comprimento do eixo ordenado, da equação 1;

$[d_1]$  = Distância euclidiana entre qualquer pixel no espaço-banda e o centróide do inventário de floresta sem bambu; e

$[d_2]$  = Distância euclidiana de qualquer pixel no espaço-banda e o centróide da área inventariada da floresta com bambu.

*Cilindro de aceitabilidade no espaço-banda:* A identificação de um pixel como sendo um pixel de floresta é realizada, em parte, pela sua distância do eixo de ordenamento, antes de ser projetado para este eixo. A distância entre um pixel e o eixo de ordenamento é dada por [dist], da Equação III-3.

$$[dist] = \left( [d_1]^2 - [proj]^2 \right)^{1/2} \quad \text{Equação III-3}$$

Os pixels no espaço-banda são rejeitados como pixels de floresta e mascarados quando o valor de [dist] exceder um limite pré-determinado, ou quando um pixel próximo do eixo é projetado para um ponto muito além dos seus extremos (os centróides).



As condições que devem ser satisfeitas para considerar um pixel como floresta são dadas pela expressão booleana III-4. A primeira parte da expressão lógica entre parênteses identifica os pixels no espaço-banda que são próximos ao eixo de ordenamento, ou seja sua distância euclidiana até o eixo é menor que 60% do comprimento do próprio eixo. A segunda parte da expressão lógica em parênteses identifica todos os pixels cujos valores no eixo de ordenamento são maiores que um valor localizado dois desvios padrões abaixo do centróide da floresta sem bambu. O desvio padrão é calculado usando os valores no [proj] dos 360 pixels inventariados nesta floresta. A última parte da expressão lógica identifica pixels cujos valores projetados não excedem dois desvios padrões acima do centróide da floresta com bambu. A interseção destas três condições identifica uma população de pixels no espaço-banda que está dentro de um cilindro. O eixo central do “cilindro de aceitabilidade” coincide com o eixo de ordenamento, mas seu comprimento é maior que o eixo de ordenamento.

$$\left( \frac{[dist]}{L} < 0.6 \right) \cap ([proj] > -2S_{sb}) \cap ([proj] < (L + 2S_{cb})) \quad \text{Equação III-4}$$

onde:

$S_{sb}$  = desvio padrão dos valores, na imagem [proj], dos 360 pixels no inventário da floresta sem bambu; e

$S_{cb}$  = desvio padrão dos valores, na imagem [proj], dos 360 pixels no inventário da floresta com bambu.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

São apresentados como resultados, os passos de automatização, pois a elaboração destes é um dos objetivos deste capítulo.

##### *4.1. Etapas de automatização do pré-processamento, da criação da máscara de aceite e do ordenamento polar*

O detalhamento dos passos automatizados como comandos de macro do IDRIS32 são apresentados no ANEXO II. Segue abaixo uma breve descrição de cinco etapas dentro das quais estão organizadas todos os passos de macro.

**4.1.1. Etapa I.** Passos de pré-processamento não incorporados no modelo descrito por Nelson *et al.* (2001): (1) retirada de efeitos anisotrópicos causada pela geométrica de iluminação, que forma sombras menores na parte oeste de cada varredura do sensor orbital, (2) registro geométrico com uma imagem previamente geo-retificada, (3) registro radiométrico com uma imagem de atmosfera muito limpa (data 26 de julho de 1988) e (4) transformação dos valores DN em unidades de reflectância topo-de-atmosfera-limpa.

**4.1.2. Etapa II.** Cria uma máscara de aceitabilidade para identificar quais pixels devem ser considerados pixels de floresta, rejeitando pixels de pasto, água, praia, rio, cidade etc. Utiliza as quatro bandas TM 3, 4, 5 e 7 sem aplicação do filtro mediana.

**4.1.3. Etapa III.** É confeccionada outra máscara de aceitabilidade, também com as bandas 3, 4, 5 e 7, mas com um filtro mediana aplicado sobre as bandas de reflectância topo-de-atmosfera-limpa.

**4.1.4 Etapa IV.** Efetua-se a modelagem propriamente dita, inferindo o valor de biomassa de cada pixel na imagem. O ordenamento agora emprega apenas as três banda 4, 5 e 7, em unidades de reflectância topo-de-atmosfera-limpa, sem filtro mediana e aplica-se a máscara de aceitabilidade criada na Etapa II.

**4.1.5. Etapa V.** O ordenamento é efetuado uma segunda vez, empregando imagens de reflectância também das bandas 4,5 e 7, mas que passaram por um filtro mediana com janela móvel de 7x7 pixels para diminuir efeitos topográficos. Aplica-se a máscara criada na Etapa III.

A banda 3 é usada na confecção das máscaras, apenas para o reconhecimento dos pixels que não devem ser modelados (rios, pastos, praias, lagos e área urbana). A banda 3 é útil para reconhecer estes alvos, mas esta banda é desprezada durante a modelagem em si, por ser altamente afetada por variações espaciais de névoa e por apresentar valores de reflectância iguais nas duas florestas que constituem os extremos do eixo do ordenamento, não contribuindo nenhuma informação útil para estimar diferenças de biomassa.

#### 4.2. Estimativas de biomassa média para a área de 90x90 km

A tabela 7 apresenta, para toda a área de 90x90 km, e para o modelo com filtro mediana e sem filtro mediana, a porcentagem de pixels identificadas como floresta e a biomassa média por hectare destes pixels modelados. Observa-se que esta cena inclui grandes extensões de floresta sem bambu, de modo que a média de biomassa por hectare ( $167 \text{ t ha}^{-1}$ ) é maior de uma média simples das duas florestas inventariadas ( $150 \text{ t ha}^{-1}$ ).

Tabela 7. Resultados da modelagem de biomassa em área de 90x90 km.

	Sem filtro	Com filtro
Biomassa média ( $\text{t ha}^{-1}$ para árvores >10 cm de DAP)	167,0	167,8
Total de $\text{km}^2$ modelados como floresta na área	8274	8429
Porcentagem de pixels modelados como florestados	71,2	72,5
(Compr. do cilindro de aceite)/(compr. do eixo de ordenamento)	2,16	1,81

#### 4.3 Imagens-Biomassa

A figura 25 reproduz uma composição falsa cor da área de 90x90 km, para melhor identificar os tipos de vegetação nas imagens-biomassa (Figuras 26 e 27). Estas imagens-biomassa constituem o resultado visual do modelo, com e sem aplicação do filtro mediana. Observe que as florestas sem bambu (verde escuras na composição falsa-cor) tem biomassa maior, enquanto as florestas com bambu (amarelo-claras na composição falsa-cor) são modeladas como tendo baixa biomassa. Pixels identificados como “não-floresta” são mascarados automaticamente, aparecendo pretos nas duas imagens-biomassa.

Para melhor visualizar o efeito da aplicação de filtro mediana, as figuras 28 e 29 reproduzem histogramas de frequência dos pixels em cada classe de biomassa ( $\text{t ha}^{-1}$ ). Observa-se que a aplicação do filtro mediana diminui a variância ocasionada pela topografia na imagem como um todo, mas não reduziu a distorção (*skew*) para esquerda. Ou seja, ainda permanece um maior contraste, na floresta com bambu, entre o lado iluminado e o lado sombreado das colinas.

Como a máscara de aceitabilidade, aplicada na imagem com bandas filtradas, utilizou três desvios padrões dos valores ordenados dos pixels nas florestas inventariadas, para determinar as extremidades do cilindro de aceite, apenas 1% dos pixels de floresta típicos das áreas inventariadas foram mascarados na imagem-biomassa como um todo. Na

imagem biomassa confeccionada com bandas não filtradas, foi necessário aplicar um corte mais conservador, de apenas dois desvios padrões, para não criar um cilindro de aceite muito mais comprido que o próprio eixo de ordenamento. Neste caso, são rejeitados, aproximadamente, 5% dos pixels que reconhecidamente são pixels de floresta dentro das áreas de inventário, bem como no resto da imagem-biomassa. O menor número de pixels rejeitados com a aplicação do filtro mediana pode ser visualizado examinando um pedaço da imagem ampliada na área dos inventários (Figuras 30 e 31).

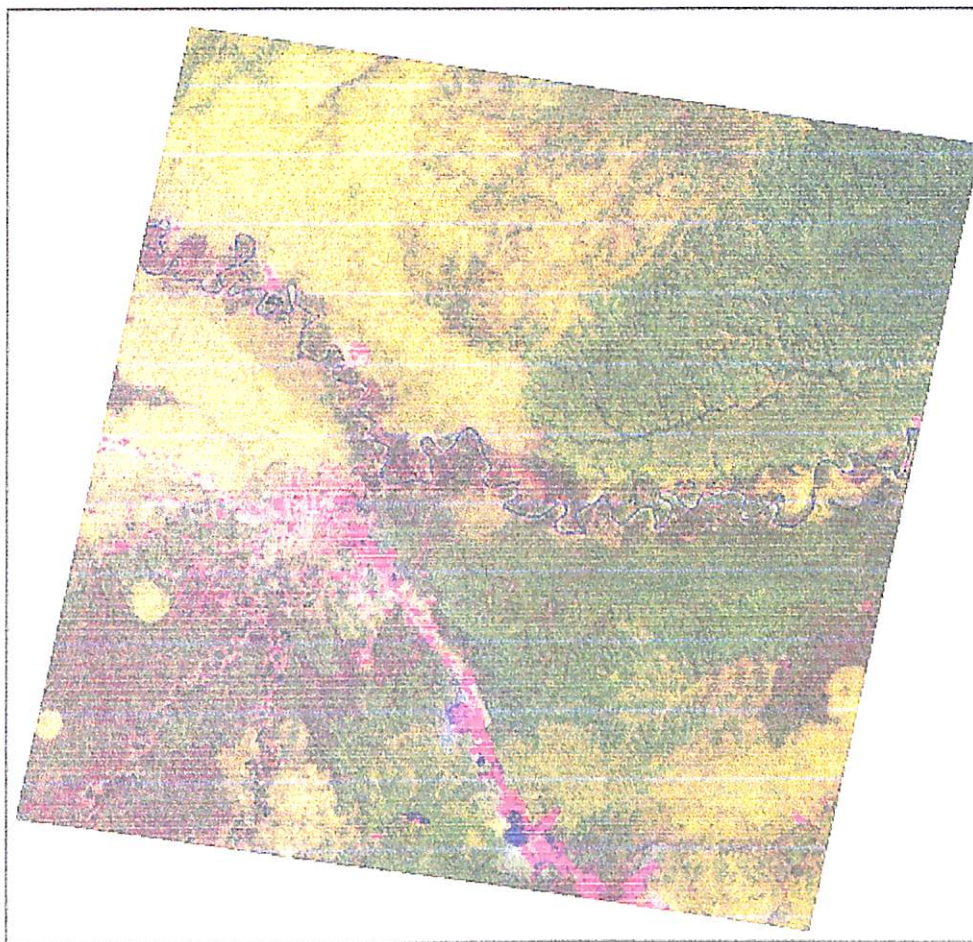


Figura 25. Imagem Landsat TM com composição de falsa cor das bandas 3-4-5, do quadrante inferior esquerdo da cena 002/066. A cor escura avermelhada corresponde a floresta semi-decídua sem bambu. A cor amarela clara corresponde a floresta com alta densidade de bambu. Pasto queimado, área urbana e estradas são indicados pela cor magenta.



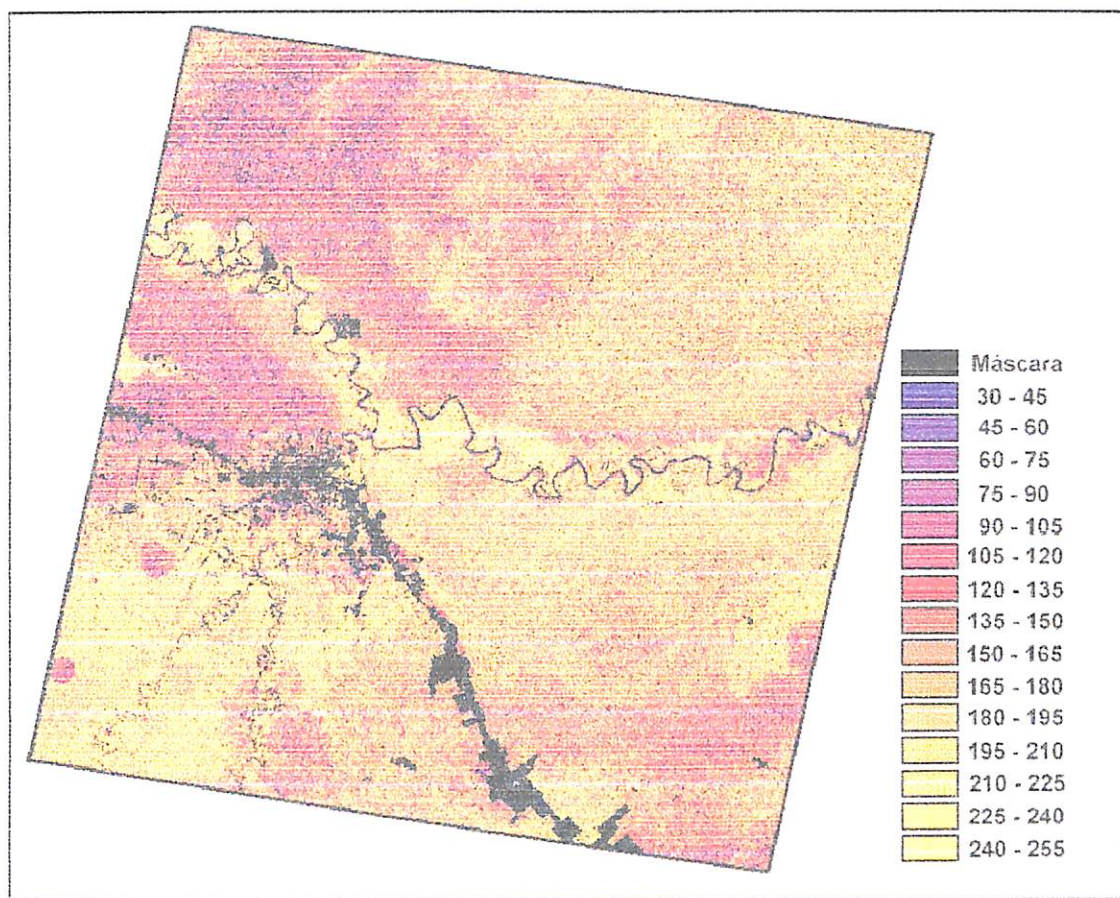


Figura 26. Imagem biomassa ( $t\ ha^{-1}$  para árvores  $>10\ cm$  de DAP) derivada de três bandas (4, 5 e 7) do Landsat - 5 TM, sem aplicação do filtro mediana. A cor azul corresponde a baixa biomassa na floresta dominada por bambu e a cor amarela clara corresponde a alta biomassa na floresta sem bambu. Os pixels pretos são aqueles externos ao cilindro de aceite e portanto, considerados não florestados: rio Purus, lagos, praias, estradas, pastos e área urbana. Entretanto, aproximadamente, 5% dos pixels de florestas são incorporados nesta máscara.

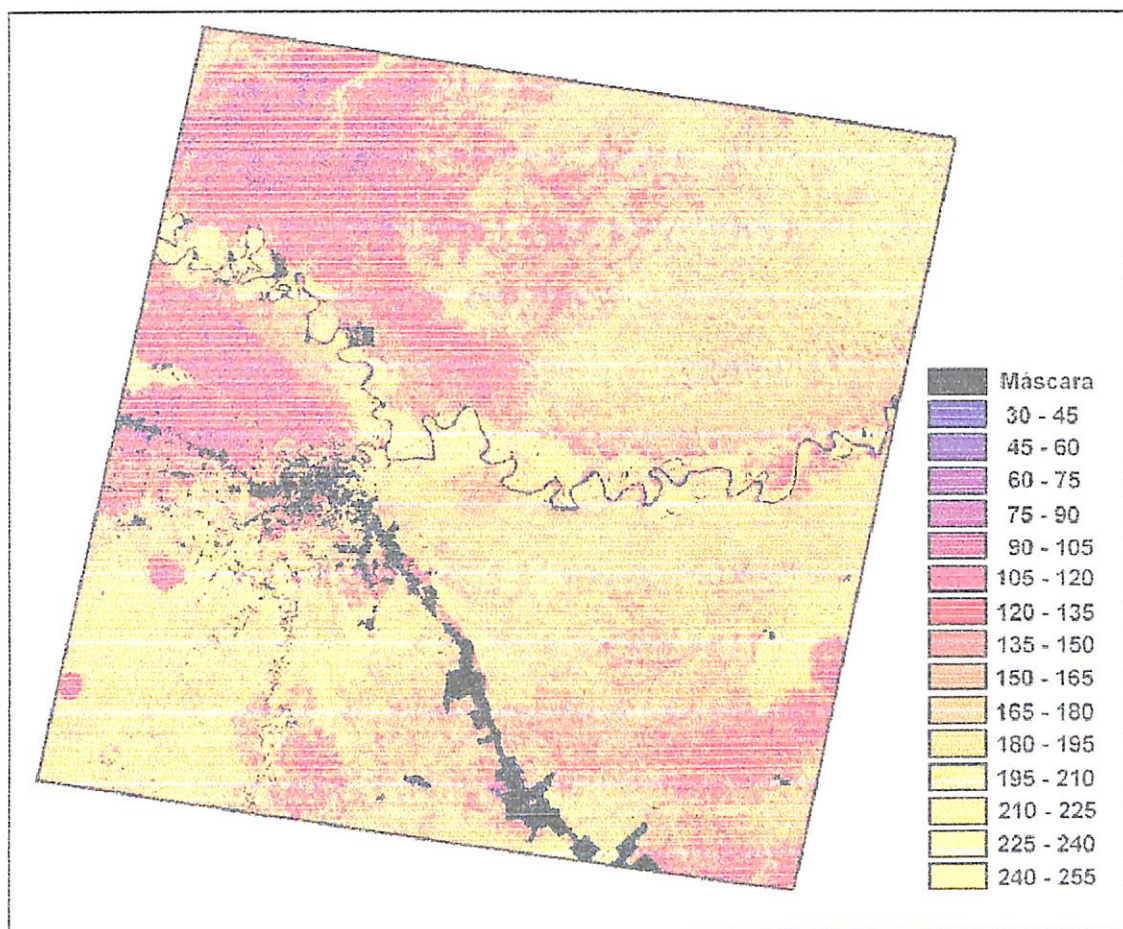


Figura 27. Imagem biomassa ( $t\ ha^{-1}$  para árvores  $>10$  cm de DAP) derivada de três bandas (4, 5 e 7) do Landsat - 5 TM, com aplicação do filtro mediana  $7 \times 7$ . Neste caso a máscara de rejeição inclui apenas 1% dos pixels de floresta, aproximadamente.



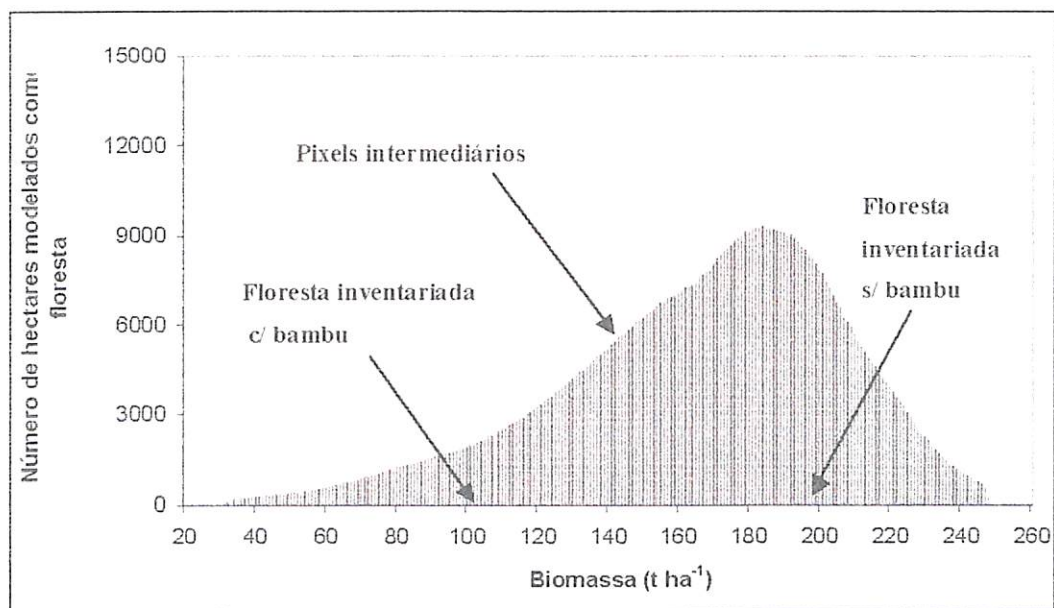


Figura 28. Histograma de imagem biomassa para árvores maiores que 10 cm de DAP sem o filtro mediana. A máscara de aceitabilidade descarta pixels abaixo de  $32 \text{ t ha}^{-1}$  e acima de  $248 \text{ t ha}^{-1}$ , como sendo pixels não florestais, bem como pixels distantes do eixo de ordenamento. A distorção tendendo para a esquerda é devido a maior variância de valores de brilho na floresta com bambu.

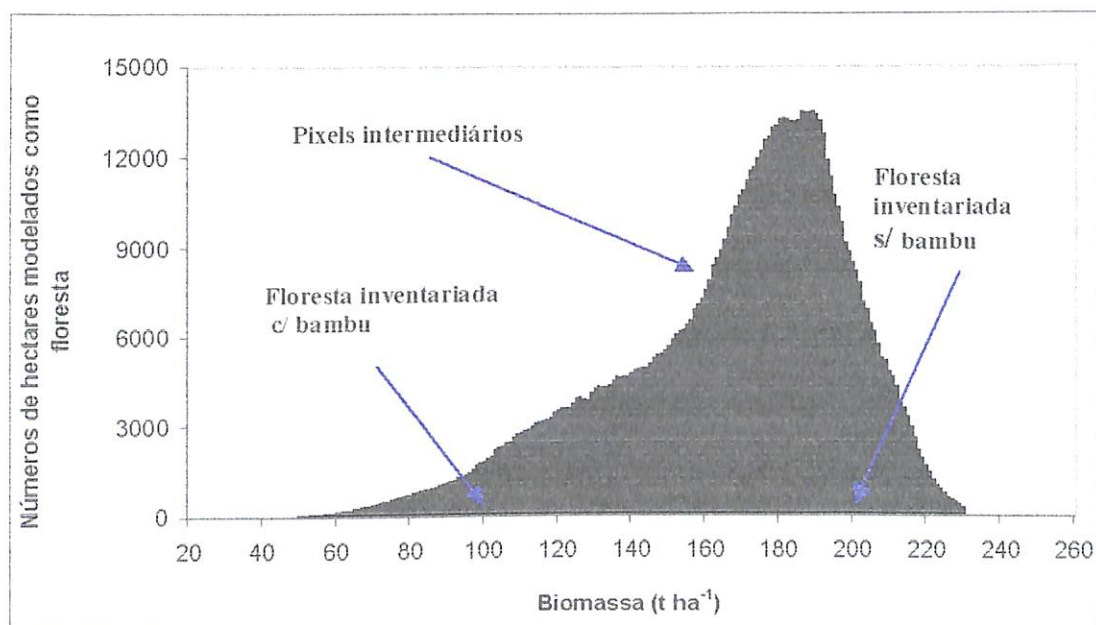


Figura 29. Histograma de imagem biomassa para árvores maiores que 10 cm de DAP com o filtro mediana  $7 \times 7$ . A máscara de aceitabilidade descarta pixels abaixo de  $50 \text{ t ha}^{-1}$  e acima de  $231 \text{ t ha}^{-1}$ , como sendo pixels não florestais, e também rejeita pixels distantes do eixo de ordenamento.

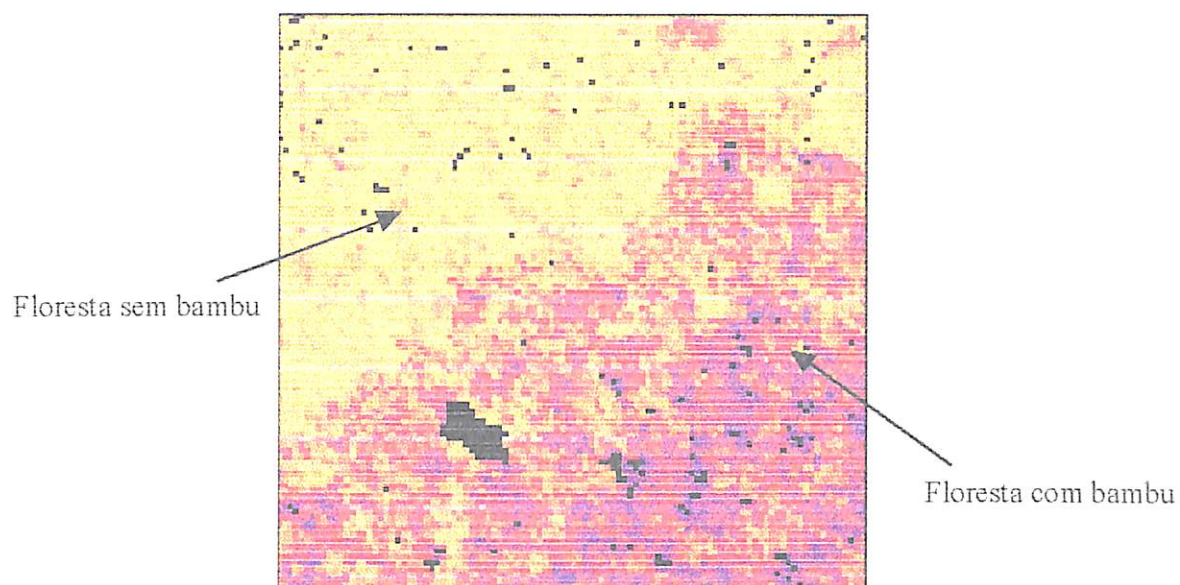


Figura 30. Ampliação de recorte da figura 27, mostrando com detalhes as duas áreas inventariadas, sem aplicação do filtro mediana, onde 5% ( $\pm 2$  desvios padrões) dos pixels de floresta foram rejeitados (pretos). A grande mancha preta é um pasto, corretamente rejeitado pelo modelo. A escala de biomassa é a mesma das figuras 27 e 28.

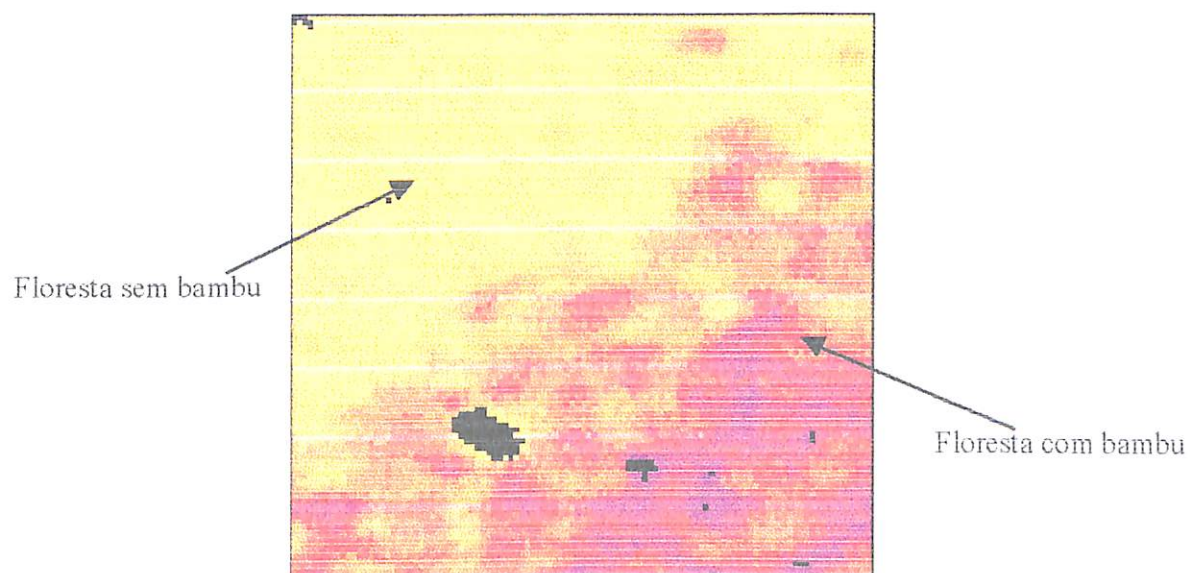


Figura 31. Ampliação da mesma área, com aplicação do filtro mediana; apenas 1% ( $\pm 3$  desvios padrões) dos pixels de floresta foram rejeitados pelo modelo.



## 5. CONCLUSÕES

- Melhoramentos incluídos no modelo atual incluem: (1) correção da variação em tamanho de sombras sub-pixel causada pela geometria de iluminação; (2) transformação dos valores de DN em valores de reflectância, topo-de-atmosfera limpa; e (3) aplicação de filtro mediana para diminuir a variância ocasionada pela topografia e aumentar o número de pixels identificados como floresta, passíveis de modelagem.
- Todas as etapas do pré-processamento e do ordenamento, foram semi-automatizadas pelos comandos de macros do software Idrisi32. Não é possível uma automatização completa, pelo fato do Idrisi não executar operações matemáticas entre números, somente entre número e imagens ou entre imagens.
- A aplicação do filtro mediana com janela móvel 7x7, permitiu uma modelagem mais completa dos pixels de floresta e retirou grande parte dos artefatos causados por diferenças de iluminação relacionadas com a topografia. Sem o emprego de bandas filtradas o comprimento do cilindro de aceite foi 215% do comprimento do eixo de ordenamento e 71,2% da área de 90x90 km foi modelada como floresta. Com a aplicação do filtro, foi possível reduzir o comprimento do cilindro de aceite para apenas 180% do comprimento do próprio eixo de ordenamento no espaço-banda, e mesmo assim modelar 72,5% dos pixels na imagem. Com a aplicação do filtro mediana, os pixels não modelados são quase todos corretamente identificados como pixels não florestais, pois o critério de três desvios padrões elimina apenas 1% dos pixels de floresta, aproximadamente.
- A biomassa média em toda a área de 90x90 km, para os pixels considerados como florestados, foi 167,0 e 167,8 t ha<sup>-1</sup>, sem e com aplicação prévia de filtro mediana nas bandas, respectivamente. Portanto, a filtragem quase não afeta o resultado, mas tem o benefício de permitir a inclusão de mais pixels floresta no cilindro de aceite.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, J.B.; Sabos, D.E.; Kapos, V.; Smith, M.O.; Almeida Filho, R.; Roberts, D. A.; Smith, M.O.; Gillespie, A.R.; 1995. Classification of multispectral images based on fractions of endmembers: application to land-cover change in the Brazilian Amazon. *Remote Sensing of Environment* 52(1): 67-74.
- AdobePhotoshop. 1996. Software Adobe Systems, Inc. Versão 4.0
- Ahern, F.J.; Leckie, D.G.; Werle, D. 1993. Applications of radarsat SAR data in forested environments. *Canadian Journal of Remote Sensing* 19: 330-337.
- Barker, J.L.; Abrams, R.B.; Ball, D.L.; Leung, K.C. 1984a. Radiometric calibration and processing procedure for reflective bands on Landsat-4 protoflight thematic mapper, *Nasa Technical Report* N84-31731, 40 pp.
- Bray, J.R.; Curtis, J.T. 1957. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological Monographs* 27: 325-49.
- Brown, S.; Gillespie, A. J.R.; Lugo, A.E. 1989. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forestry inventory data. *For. Sci.* 35: 881-902.
- Brown, F.L.; Martinelli, L.A.; Wayt Thomas, W.; Moreira, M.Z.; Ferreira, C. A.; Victoria, R.A. 1995. Uncertainty in the biomass of amazonian forest: an example from Rondônia, Brazil. *Forest Ecology Management*. 75:175-189.
- Chambers, J.Q.; Higuchi, N., Tribuzy, E.S., Trumbore, S.E. 2001. Carbon sink for a century. *Nature*. vol: 410. 429 pp.
- Chambers, J.Q.; dos Santos, J.; Ribeiro, R.J.; Higuchi, N. 2001. Tree damage, allometric equations, and above-ground net primary production in central Amazon forest. *Forest Ecology and Management*. 152: 73-84.
- Chavez, P.C. JR. 1989. Radiometric calibration of Landsat Thematic Mapper Multispectral image, *Photogram. Eng. & Remote Sens.*, 55(9): 1285-1294.
- Chen, S.C.; Herz, R. 1996. Estudos quantitativos e calibração radiométrica de dados digitais do Landsat-5. In: *Anais do VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Salvador. CD-ROM. São Paulo: INPE/Imagem Multimídia.
- Clark, L.G., Judziewicz, E.J. 1999. The bamboo plant In: E.J. Judziewicz, L.G. Clark, X. Londoño, & M. Stern. *American Bamboos*. Smithsonian Institution Press - Washington e Londres. 5-54 pp
- Collett, L. J.; Goulevitch, B. M.; Danaher, T. J. 1999. *SLATS Radiometric Correction: a Semi-automated, Multi-stage Process for the Standardisation of Temporal and Spatial Radiometric Differences*. URL: <http://www.dnr.qld.gov.au/slats/> Disponível em 28/08/2001
- Crósta, A. P. 1992. *Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto*. Campinas: Unicamp.
- DGI-INPE. 2001. Catálogo de imagens Landsat - 5 TM. URL: <http://www.dgi.inpe.br/html/cat-tm.htm>. Disponível em 28/08/2001.
- Eastman, J.R. 1998. *IDRISI for Windows - Manual do Usuário/Introdução e Exercícios Introdutórios*. H. Hanseck & E. Weber (eds.). 146 pp.
- Eastman, J.R. 1999. *Software IDRISI32*. Clark Labs. Clark University. USA.
- Eros Data Center (<http://edcwww.cr.usgs.gov/>).
- Fearnside, P.M.; Filho, L.N.; Fernandes, F.M. 1993. Rainforest burning and global budgets: biomass, combustion efficiency, and charcoal formation in the Brazilian Amazon. *J. of Geophysical Research*, 98 (D9): 16733-16743.

- Fearnside, P.M. 1996. Amazonian deforestation and global warming: carbon stocks in vegetation replacing Brazil's Amazon forest. *Forest Ecology and Management* 80: 21-34.
- Fearnside, P.M. 2000a. Greenhouse gas emissions from land use change in Brazil's Amazon region. pp. 231-249 In: R. Lal, J.M Kimble and B.A Stewart (eds.) *Global Climate Change and Tropical Ecosystems. Advances in Soil Science*. CRC Press. Boca Raton, Florida. 483 pp.
- Fearnside, P.M. 2000b. Uncertainty in land-use change and forestry sector mitigation options for global warming: plantation silviculture versus avoided deforestation. *Biomass and Bioenergy*. 18: 457-468.
- Fonseca, W. N.; Koury Jr. O.; Ribeiro, A. G. & Barros-Silva, S. 1976. Vegetação. In: *Folha SC. 19 Rio Branco – Projeto Radam Brasil*, volume 12. Ministério da Minas e Energia, Departamento Nacional da Produção Mineral, Brasil. pp.315-392.
- Gauch, H. G. Jr. 1982. *Multivariate Analysis in Community Ecology*. Cambridge University. 298 pp.
- Hall, F.G.; Strebel, D.E.; Nickeson, J.E.; Goetz, S.J. 1991. Radiometric rectification: toward a common radiometric response among multitemporal, multisensor images. *Remote Sensing Environment*. 35: 11-27.
- Hart, T. B. 1990. Monospecific dominance in tropical rain forests. *Trends in Ecology and Evolution* 5(1): 6-11.
- Higuchi, N.; Carvalho Jr., J.A. 1994. Fitomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia: In: *Anais do Seminário "Emissão x Sequestro de CO<sub>2</sub> - Uma Nova Oportunidade para o Brasil"* Companhia Vale do Rio Doce, Rio de Janeiro; pp. 127-153.
- Higuchi, N.; Santos, J.; Ribeiro, R. J.; Minette, L.; Biot, Y. 1998. Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia brasileira. *Acta Amazonica* 28 (2): 153-166.
- Honzák, M.; Lucas, R.M.; Amaral, I.; Curran, P.J.; Foody, G.M.; Amaral, S. 1996. Estimation of the leaf area index and total biomass of tropical regenerating forests: comparison of methodologies. In: J.H. Gash, C.A Nobre, J.M. Roberts, R.L. Victoria, (eds.). *Amazonian Deforestation and Climate*. Institute of Hydrology, Reino Unido, pp. 365-381.
- Jensen, J.R. 1986. *Introductory Digital Image Processing – A Remote Sensing Perspective*. Prentice-Hall, USA.
- Kremen, C., Niles, J.O., Dalton, M.G., Daily, G.C., Ehrlich, P.R., Fay, J.P., Grewal, D., Guillery, R.P. 2000. Economic incentives for rain forest conservation across scales. *Science* 288: 1828-1832.
- Markham, B. L.; Barker, J.L. 1986. Landsat MSS and TM post-calibration dynamic ranges, exoatmospheric reflectances and at-satellite temperatures. *EOSAT Landsat Technical Notes* 1: 3-8.
- Mather, P.M. 1987. *Computer Processing of Remotely-sensed Images: an Introduction*. Chichester: John Wiley & Sons, 352 pp.
- Mather, P.M. 1999. *Computer Processing of Remotely-sensed Images: an Introduction*. 2.ed. Chichester: John Wiley & Sons, 292 pp.
- Moran, M.S.; Jackson, R.D.; Slater, P.N.; Teillet, P.M. 1992. Evaluation of simplified procedure for retrieval of land surface reflectance factor from satellite sensor output. *Remote Sens. Environ.* 1:169-184.
- Nasa. 2001. *Landsat 7 Science Data Users Handbook*. Chapter 11 - Data Products. URL: <http://ftpwww.gsfc.nasa.gov/LAS/handbook/handbook.html> Disponível em 28/08/01.

- Nelson, B. W., 1994. Natural forest disturbance and change in the Brazilian Amazon. *Remote Sensing Reviews* 10: 105-125.
- Nelson, B. W. 1994. *Inventário Florístico e Fisionômico da Amazônia: Tendência de Amostragem nos Herbários e Potencial do Sensoriamento Remoto*. Manaus: INPA/UFAM. (Dissertação de Doutorado). 126 pp.
- Nelson, B. W., Irmão, M. N., 1998. Fire penetration in standing Amazon forest. In: *Anais, IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Santos, SP, Brasil, 11-18 setembro, 1998. INPE, São José dos Campos, SP. CD-ROM 12 pp.
- Nelson, B.W.; Mesquita, R.; Pereira, J.L.G.; de Souza, S.G.A.; Batista, G.T.; Couto, L.B. 1999. Allometric regressions for improved estimate of secondary forest biomass in the central Amazon. *Forest Ecology and Management* 114: 149-167.
- Nelson, B.W.; Oliveira, A.C.A.; Batista, G.T.; Vidalenc, D.; Silveira, M. 2001. Modeling biomass of forest in the southwest Amazon by polar ordination of Landsat. In: *X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Foz do Iguaçu, Paraná. CD-ROM. 08 pp.
- Nishida, W. 1998. *Uma Rede Neural Artificial para Classificação de Imagens Multiespectrais de Sensoriamento Remoto*. Dissertação de Mestrado. Florianópolis:UFSC. 14p. URL: <http://www.eps.ufsc.br/disserta98/waleska/cap2.html> Disponível em 28/11/00.
- Novo, E.M.L.M. 1992. *Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações*. 2.ed. São Paulo. 308 pp.
- Oliveira, A.C.A. 2000. *Efeitos do Bambu Guadua weberbaueri Pilger sobre a Fisionomia e Estrutura de uma Floresta no Sudoeste da Amazônia*. Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Fundação Universidade do Amazonas. Manaus, Amazonas. 71 pp.
- Overman, J.P.M.; Witte, H.J.L.; Saldarriaga, J. G. 1994. Evaluation of regression models for above-ground biomass determination in Amazon rainforest. *Journal of Tropical Ecology* 10. 207-218.
- Pereira, J.L. G. 1996. *Estudos de Áreas de Florestas em Regeneração Através de Imagens Landsat TM*. São José dos Campos: INPE. 156 pp. (Dissertação de Mestrado).
- Pereira, J.L.G.; Batista, G.T.; Roberts, D. 1996. Reflectância de coberturas vegetais na Amazônia.. In : *Anais, VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Salvador. São Paulo. INPE/Imagem Multimídia (CD-ROM.)
- Posey, D., Ballée, W (Eds.) 1989. *Resource Management in Amazonia: Indigenous and Folk Strategies*. New York Botanical Garden, New York, 287 pp.
- Prince, J.C. 1987b. Calibration of satellite radiometry and the comparison of vegetation indices, *Remote Sensing of Environment* 21: 15-27.
- Richards, J.A. 1986. *Remote Sensing Digital Image Analysis: an Introduction*. Berlin. Springer-Verlag. 281pp.
- Richards, J.A. 1993. *Remote Sensing Digital Image Analysis*. New York: Springer-Verlag. 340 pp.
- Roberts, D.A.; Smith, M.O.; Adams, J.B. 1993. Green vegetation, nonphotosynthetic vegetation and soils in AVIRIS data. *Remote Sensing of Environment* 44: 255-269.
- Robinove, C.J. 1982. Computation with physical values from landsat digital data, *Photogram. Eng. & Remote Sensing*. 48(5): 781-784.
- Rodin, L.E.; Bazilevich, N.I. 1967. *Production and Mineral Cycling in Terrestrial Ecosystems*. In: G.E. Fogg Oliver and Boyd Ltd (Eds.) Edinbwing.
- Saldarriaga, J.G.; West, D.C.; Tharp, M.L.; Uhl, C. 1988. Long-term chronosequence of forest succession in the upper rio Negro of Colombia and Venezuela. *Journal of Ecology* 76: 938-958.

- Santos, J. dos. 1996. *Análise de Modelos de Regressão para Estimar a Fitomassa da Floresta Tropical Úmida de Terra-firme da Amazônia Brasileira*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, 121 pp.
- Sassagawa, H.S.Y. 1999. *Técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistema de Informações Geográficas (SIG) para o Estudo da Ocupação do Espaço Físico e dos Tipos Florestais da Reserva Extrativista Chico Mendes, Estado do Acre*. (Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto). São José do Campos: INPE. 185 pp.
- Serra, P.R.M. 1995. *Comunicação pessoal*. citada em Chen & Herz (1996).
- Shimabukuro, Y.E. 1995. Fraction images derived from landsat TM and MSS data for monitoring reforested areas. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 21 (1):67-74.
- Shimabukuro, Y.E.; Novo, E.M.L.; Ponzoni, F.J. 1998. Índice de vegetação e imagens fração derivadas do modelo linear de mistura espectral para o monitoramento da região do pantanal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 33:1729-1737
- Silveira, M. 1999. Ecological aspects of bamboo-dominated forest in southwestern Amazonian: an ethnoscience perspective. *Ecotropica* 5 (2).
- Slater, P.N. 1980. *Remote Sensing: Optics and Optical Systems*. Reading, Massachusetts, Addison-Wesley.
- Smith, M. 2000. *Efeito de Perturbações sobre a Abundância, Biomassa e Arquitetura de Guadua weberbaueri Pilger s.l., Bambusoideae, em uma Floresta dominada por Bambu no Sudoeste da Amazônia*. Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Fundação Universidade do Amazonas. Manaus, Amazonas. 83 pp.
- Steffen, C.A. 1996. Fundamentos de radiometria. [CD-Rom]. In : *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 8, Salvador. Anais São Paulo. Imagem Multimídia. Tutorial: Radiometria Óptica Espectral. São José dos Campos, INPE. 1-17 pp.
- Thalês, M.C. 2000. *Imagem Fração Sombra na Caracterização e Mapeamento de Babaçu (Attalea speciosa Mart. ex Spreng.) em Áreas de Floresta*. Dissertação de Mestrado. São José dos Campos: INPE. 136 pp.
- Veloso, H. P.; Rangel Filho, A. L. R. & Lima, J. C. A. 1991. *Classificação da Vegetação Brasileira, Adaptada a um Sistema Universal*. IBGE, Rio de Janeiro. 123 pp.
- Vidalenc, D. 2000. *Distribuição das Florestas Dominadas pelo Bambu Guadua weberbaueri em Escala de Paisagem no Sudoeste da Amazônia e Fatores Edáficos que Afetam sua Densidade*. Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Fundação Universidade do Amazonas. Manaus, Amazonas. 95 pp.
- Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Amazonas (1999). *Relatório do Inventário Florestal (volume e biomassa) da Região Sudeste do Estado do Amazonas (Parte Norte)*.

ANEXO I. Dados das árvores derrubadas nas duas tipologias florestais no Estado do Acre.

Nº da amostra	Nome vulgar	DAP (cm)	Alt (m)	Densidade básica	Tipo de Floresta	
					c/ bambu	s/ bambu
1	[Rubi]	7,96	5,3	0,757	X	
2	Pama	15,02	13,0	0,828	X	
3	[Flac]	8,44	12,9	0,681	X	
4	Jaracatiá	30,24	16,6	0,189	X	
5	Seringueira	5,89	8,5	0,658	X	
6	Uricuri	23,40	15,5	0,905	X	
7	Murici	18,68	16,0	0,836	X	
8	Maraximbé	12,73	12,4	0,829	X	
9	Castanha	10,79	13,2	0,785	X	
10	Pau sangue	39,79	28,5	0,547	X	
11	Sumaúma branca	26,10	16,1	0,374	X	
12	Caneleira	6,68	4,5	0,739	X	
13	Angelca	19,89	17,1	0,95	X	
14	Caneleira	3,82	4,8	0,822	X	
15	Trichilla?	4,74	5,4	0,749	X	
16	Carapanauba branca	3,15	4,2	0,964	X	
17	Maxixeiro	2,86	4,8	0,931	X	
18	Caneleiro	2,83	3,0	0,953	X	
19	Sucupira amarela	10,98	10,2	0,805	X	
20	Xapoletinha	7,86	8,6	0,717	X	
21	Angelca	24,51	15,0	0,813	X	
22	Sapotinha	7,58	5,5	0,572	X	
23	Ingá	4,71	5,0	0,743	X	
24	Maxixeiro	5,25	5,8	0,838	X	
25	João mole	5,89	4,9	0,557	X	
26	Copaíba	79,90	35,0	0,654	X	
27	?	24,19	13,1	0,709	X	
28	Pamacaucho	17,83	16,0	0,797	X	
29	Sumaúma preta	24,19	15,3	0,539	X	
30	Abiurana amarela	13,35	10,9	0,673	X	
31	Cacauí	16,93	11,5	0,804	X	
32	?	69,55	32,5	0,651	X	
33	Espinheiro branco	22,06	19,5	0,750	X	
34	Ingá rabo de macaco	30,11	22,0	0,596	X	
35	Espinheiro branco	20,09	21,2	0,656	X	
36	Pamacaucho da folha lisa	25,78	18,4	0,815	X	
37	Angelca	11,06	9,1	0,787	X	
38	Balso	7,94	9,3	0,929	X	
39	Burra leiteira da f. pequena	59,36	33,6	0,598	X	
40	Tatajuba	38,75	25,6	0,885	X	
41	Sorva	79,26	36,4	0,706	X	
42	Aroeiro	70,66	39,0	0,925	X	

Nº da amostra	Nome vulgar	DAP (cm)	Alt (m)	Densidade básica	Tipo de Floresta	
					c/ bambu	s/ bambu
43	Aguano querosene	82,28	33,6	0,413	X	
44	Sumaúma branca	41,86	19,9	0,425	X	
45	Uricuri	31,99	10,4	0,420	X	
46	[Legu. Trifoliolada]	20,61	18,8	0,707	X	
47	Pama verdadeira	17,48	17,3	0,848	X	
48	Pupunha braba	14,24	10,8	0,365	X	
49	Embauba	33,26	27,0	0,377	X	
50	Burra leiteira da f. grande	69,87	33,0	0,520	X	
51	Maxixeiro	57,61	30,6	0,828	X	
52	Jaracatiá	45,44	20,4	0,169	X	
53	Cinzeiro	47,75	31,3	0,792	X	
54	Murmuru	17,03	9,6	0,669	X	
55	Sumaúma preta	36,84	21,8	0,591	X	
56	Jaracatiá	61,59	26,0	0,168	X	
57	Sumaúma branca	85,31	33,1	0,484	X	
58	Pama verdadeira	7,35	8,6	0,798		X
59	Pama verdadeira	5,79	6,0	0,878		X
60	Envira Ferro	7,89	8,5	0,898		X
61	?	25,66	18,5	0,898		X
62	Murmuru	15,12	11,0	0,481		X
63	Uricuri	28,85	19,5	0,673		X
64	Açaí	14,01	19,8	0,778		X
65	Envira Iodo	3,84	6,6	0,926		X
66	Ingá	5,01	6,9	0,847		X
67	Louro abacate	5,98	8,9	0,663		X
68	Jaci	30,96	18,6	0,532		X
69	Pente de macaco	49,97	24,9	0,503		X
70	Castanharana	12,33	15,2	0,817		X
71	Pau sangue	43,53	30,5	0,783		X
72	Maxixeiro	35,49	22,6	0,826		X
73	Sumaúma preta	64,14	32,0	0,564		X
74	Pama	35,65	27,0	0,877		X
75	Envira conduru	28,97	29,0	0,876		X
76	Gema de ovo	3,98	5,9	0,983		X
77	Burra leiteira da f. grande	39,63	29,5	0,397		X
78	Seringueira	23,63	22,0	0,709		X
79	Acariquara amarela	20,45	14,6	1,072		X
80	?	28,63	26,9	0,830		X
81	Jaci	36,73	16,7	0,374		X
82	Jaracatiá	24,43	21,3	0,168		X
84	Castanha	13,02	15,6	0,807		X
85	Angelca	16,71	23,4	0,846		X
86	Frei jorge	24,75	29,3	0,443		X
87	?	32,55	22,1	0,791		X
88	Inharé mole	40,43	25,4	0,702		X

Nº da amostra	Nome vulgar	DAP (cm)	Alt (m)	Densidade básica	Tipo de Floresta	
					c/ bambu	s/ bambu
89	Pente de macaco	79.90	29.3	0.466		X
90	Açaí	18.06	22.8	0.606		X
91	Marajá redondo grande	3.06	9.1	0.863		X
92	Apuí	103.29	36.5	0.430		X
93	Louro abacate	42.81	31.0	0.748		X
94	Louro da folha miúda	55.39	34.0	0.664		X
95	Manité branca	136.87	31.5	0.699		X
96	Cinzeiro	67.16	32.5	0.787		X
97	?	101.70	35.3	0.800		X
98	Maparajuba	55.39	31.8	0.780		X
99	Envira conduru	11.63	13.4	0.728		X
100	Bacuri liso	16.27	16.5	0.809		X
101	Pau podre (=merda)	35.73	24.2	0.648		X
102	Envira Ferro	18.18	20.3	0.930		X
103	Sernambi de índio	45.47	35.3	0.810		X
104	Botijão	14.69	7.5	0.254	X	
105	Cinzeiro	81.01	39.5	0.826	X	
106	Jaracatiá	58.73	28.3	0.189	X	
107	Piaca	23.03	27.4	0.844	X	
108	Pau sangue	9.39	6.8	0.889	X	
109	Ingá	31.83	24.2	0.683	X	
110	Espinheiro preto	15.84	19.6	0.641	X	
111	Uricuri	32.39	18.0	0.753	X	
112	Seringueira	77.51	34.2	0.583	X	
113	Louro	26.42	16.8	0.657	X	
114	Ingá	17.83	13.8	0.587	X	
115	Ingá	16.95	16.1	0.463	X	
116	Abiurana	11.01	8.9	0.685	X	
117	Murmuru	12.41	9.2	0.421	X	
118	Ingá	10.82	11.0	0.530	X	
119	Cajá verdadeiro	12.41	7.0	0.441	X	
120	Burra leiteira da f. grande	37.32	25.6	0.497	X	
121	?	41.22	25.2	0.654	X	
122	Embaúba torem	21.49	20.5	0.534	X	
123	Piaca branca	23.75	22.3	0.623	X	
124	Mulungú	17.48	8.9	0.367	X	
125	Burra leiteira f. grande	47.99	26.8	0.437	X	
126	Sapotinha	12.06	7.2	0.624	X	
128	Ingá	4.74	5.2	0.605	X	
129	Caja verdadeiro	43.05	22.1	0.493	X	
130	Louro	3.60	6.3	0.675	X	
131	Sapotinha	5.84	6.4	0.559	X	
132	Ingá	7.96	13.6	0.666		X
133	?	5.83	10.3	0.778		X
134	Caneleira	8.82	5.7	0.832		X



Nº da amostra	Nome vulgar	DAP (cm)	Alt (m)	Densidade básica	Tipo de Floresta	
					c/ bambu	s/ bambu
135	João mole	6.14	4.5	0.635		X
136	Xixuaxa	6.46	4.8	0.772		X
137	Cafezinho	5.75	8.2	0.661		X
138	Sapotinha	13.37	9.6	0.631		X
139	Gitó da várzea	11.92	12.5	0.723		X
140	Sapotinha	11.81	10.2	0.607		X
141	Gitó da folha grande	9.10	11.2	0.745		X
142	Envira conduru	9.96	15.5	0.894		X
143	Piaca branca	3.04	4.9	0.821		X
144	?	3.53	4.7	0.736		X
145	Burra leiteira da f. grande	38.60	27.2	0.436	X	
146	Embaúba toren	10.35	13.3	0.557	X	
147	Pau d'arco roxo	55.07	31.7	0.924	X	
148	Cinzeiro	8.18	9.0	0.834	X	
149	Pente de macaco	51.41	22.0	0.344	X	
150	Tamarina	65.00	36.0	0.891	X	
151	Jerimunzinho	55.23	28.5	0.707	X	
153	Maraximbé	7.10	7.4	0.855	X	
154	Canafistula	52.04	31.5	0.519	X	
155	Pau d'arco roxo	51.65	28.2	0.886	X	
156	? Sapindaceae Trifoliolada	7.48	7.0	0.823	X	
157	Amarelão	56.18	31.8	0.758	X	
158	Botijão	66.05	22.4	0.283	X	
159	Sapotinha	6.56	4.0	0.556	X	
160	Murici	4.79	6.0	0.933	X	
161	Manité	6.78	8.0	0.780	X	
162	Caripé	40.19	27.7	0.863		X
163	Sapotinha	14.59	14.5	0.662		X
164	Caripé	33.82	26.2	0.843		X
165	Envira ferro	15.12	16.6	0.929		X
166	Pamacaucho	18.94	17.8	0.813		X
167	Castanharana	15.09	24.2	0.768		X
168	Imbirba preta	77.99	36.5	0.908		X
169	Pama verdadeira	25.66	26.0	0.845		X
170	Pama verdadeira	31.91	29.9	0.863		X
171	Angelca	25.39	24.8	0.921		X
172	Pau mentira	46.15	21.6	0.961		X
173	Botijão	68.28	32.4	0.253		X
174	Jaci	33.90	21.4	0.428	X	
175	Cumaru ferro	90.40	48.0	1.025	X	
176	Castainha	21.53	22.7	0.766	X	
177	?	19.24	21.0	0.802	X	
178	Embaúba branca	23.11	25.1	0.381	X	
179	Ingá	29.28	28.4	0.615	X	
180	Jaci	33.74	18.2	0.400	X	

Nº da amostra	Nome vulgar	DAP (cm)	Alt (m)	Densidade básica	Tipo de Floresta	
					<i>c/ bambu</i>	<i>s/ bambu</i>
181	Jaci	35.49	29.6	0.844	X	
182	Cinzeiro	74.17	33.0	0.755	X	
183	Pamacaucho	23.78	17.9	0.819	X	
184	Maraximbé	20.15	25.2	0.904	X	
185	Imbiriba verdadeira	66.91	35.2	0.935	X	
186	Ingá ferro	73.21	35.5	0.801	X	
187	Tachi preto	47.89	32.3	0.602	X	
188	Caripé	27.18	20.0	0.841	X	
189	Manité	69.07	42.6	0.780	X	
190	Castainha	28.66	21.2	0.780		X
191	Sernambí de índio	41.22	28.3	0.842		X
192	Apui branco	48.54	28.7	0.578		X
193	Sernambí de índio	47.91	32.6	0.879		X
194	Caripé	48.22	24.7	0.822		X
195	Aroeira	54.59	37.1	0.906		X
196	Pama verdadeira	50.77	29.5	0.822		X
197	Castainha	30.00	28.5	0.798		X
198	Maparajuba	51.33	27.5	0.820		X
199	Pama verdadeira	32.55	23.3	0.905		X
200	Maçaranduba	50.61	31.7	0.886		X
201	Acariquara roxa	59.68	23.6	0.781		X
202	Manité	96.77	41.8	0.770	X	
203	Pama verdadeira	40.90	18.9	0.862	X	
204	Jaci	38.04	30.3	0.697	X	
205	Botijão	47.75	25.3	0.275	X	

## *ANEXO II. Detalhamento dos comandos de macro organizados em cinco etapas*

As cinco etapas abaixo são aquelas descritas sucintamente nos Resultados do Capítulo III

**ETAPA I** – Passos de pré-processamento necessários para criar a máscara de aceitabilidade com as bandas 3, 4, 5 e 7 sem aplicação do filtro mediana.

*Passo 1.1.* importação de todas as imagens necessárias para criar a imagem de biomassa.

A descrição de cada importação é detalhada a seguir:

Importar as quatro bandas (3, 4, 5 e 7) da imagem 1987 (1/4 da cena 002-066) com formato TIFF para o Idrisi. Cada banda tem Xmin = 0 e Xmax = 3584, Ymin = 0 e Ymax = 3088. O recorte da cena 002-066 foi adquirido sem correção geométrica do INPE. O tamanho da imagem não é afetado neste momento.

REM 1.1.

TIFIDRIS x 1\*87b3.tif\*87b3\*0\*3584\*0\*3088\*plane\*m\*1

TIFIDRIS x 1\*87b4.tif\*87b4\*0\*3584\*0\*3088\*plane\*m\*1

TIFIDRIS x 1\*87b5.tif\*87b5\*0\*3584\*0\*3088\*plane\*m\*1

TIFIDRIS x 1\*87b7.tif\*87b7\*0\*3584\*0\*3088\*plane\*m\*1

*Passo 1.2.* importar a imagem [87aniso] para o Idrisi. Esta imagem foi feita no Adobe Photoshop com tamanho 3585Cx3088L. Nesta imagem, a coluna 0 foi acrescentada no lado esquerdo da [87b3.tif] e foi pintada de branco (DN=255) e o restante da imagem de preto (DN=0). Isto foi feito para que cada linha de varredura comece na coluna 1. Esta imagem será utilizada posteriormente para criar outra imagem onde o valor de z de cada pixel é sua distância da primeira coluna, em unidades onde 1 pixel = 1 unidade de distância.

REM 1.2

TIFIDRIS x 1\*87aniso\*87aniso\*0\*3585\*0\*3088\*plane\*m\*1

*Passo 2.* rodar a rotina DISTANCE a partir da coluna zero de [87aniso] (imagem de entrada) cujo DN = 255, para obter a imagem [dte] (imagem de saída), na qual o valor z de cada pixel é sua distância, em pixels, da coluna 0. [dte] tem valor mínimo de 0 e o máximo de 3584. Para criar imagens de offset aditiva, para compensar o efeito de geometria de iluminação em cada banda da imagem 1987, é necessário apenas reescalonar [dte]. Observe que a correção de geometria de iluminação é efetuada antes da correção geométrica.

REM 2  
DISTANCE x 87aniso\*dte

*Passo 3.1.* a linha abaixo faz referência a rotina WINDOW, onde esta rotina faz um corte de modo a eliminar a primeira coluna da imagem [dte], criando uma nova imagem [wdist], para que esta imagem case perfeitamente com as bandas 3, 4, 5 e 7 de 1987, ainda sem correção geométrica.

REM 3.1  
WINDOW x dte\*w87dist\*2\*1\*3088\*3585\*0

*Passo 3.2.* o Xmin e Xmax da imagem [w87dist] devem ser reajustados para 0 e 3584 respectivamente. Como não existe rotina automática para alterar os valores de X, é necessário pausar o macro e alterar os valores manualmente no arquivo de metadados <w87dist.rdc>

*Passo 4.1.* ver “primeiro passo” do tópico pré-processamento da imagem de 1988 (processo para corrigir o efeito de geometria de iluminação da cada banda da imagem 1987). As linhas abaixo reescalona[m] [w87dist] quatro vezes, para formar as quatro imagens que, quando adicionada às respectivas bandas brutas, corrigem a variação leste-oeste nos DN, causada pela variação no tamanho das sombras das árvores.

**Tabela 8.** Coeficientes de transformação linear (reescalonamento) da Imagem [dte] baseado em Collett *et al.* (1999), considerando coluna 3061 como meio de varredura.

<i>Banda</i>	<i>Offset aditivo na coluna 1; extremidade oeste da varredura (=offset da transformação)</i>	<i>Ganho da transformação</i>
3	-2	0.0006534
4	-2	0.0006534
5	-2.5	0.0008167
7	-1	0.0003267

REM 4.1  
SCALAR x w87dist\*temp87\_b7\*3\*0.0003267  
SCALAR x temp87\_b7\*d87\_b7\*2\*1  
DELETE x c:\c\temp87\_b7.rst  
DELETE x c:\c\temp87\_b7.rdc

[Rem 4.2]  
onde:  
0.0003267 é o ganho da transformação

-1 é o offset da transformação  
[d87\_b7] é a imagem reescalada

```
REM 4.2
SCALAR x w87dist*temp87_b5*3*0.0008167
SCALAR x temp87_b5*d87_b5*2*2.5
DELETE x c:\c\temp87_b5.rst
DELETE x c:\c\temp87_b5.rdc
SCALAR x w87dist*temp87_b3*3*0.0006534
SCALAR x temp87_b3*d87_b3*2*2
DELETE x c:\c\temp87_b3.rst
DELETE x c:\c\temp87_b3.rdc
SCALAR x w87dist*temp87_b4*3*0.0006534
SCALAR x temp87_b4*d87_b4*2*2
DELETE x c:\c\temp87_b4.rst
DELETE x c:\c\temp87_b4.rdc
```

[REM 4.3]

Processo de adição(offset) nas quatro bandas, para remoção dos efeitos anisotrópicos de iluminação, no sentido leste-oeste.

```
REM 4.3
OVERLAY x 1*d87_b3*87b3*a87_b3
OVERLAY x 1*d87_b4*87b4*a87_b4
OVERLAY x 1*d87_b5*87b5*a87_b5
OVERLAY x 1*d87_b7*87b7*a87_b7
DELETE x c:\c\d87_b3.rst
DELETE x c:\c\d87_b3.rdc
DELETE x c:\c\d87_b4.rst
DELETE x c:\c\d87_b4.rdc
REM DELETE x c:\c\d87_b5.rst
REM DELETE x c:\c\d87_b5.rdc
DELETE x c:\c\d87_b7.rst
DELETE x c:\c\d87_b7.rdc
```

*Passo 5.* As quatro bandas já sofreram correção de geometria de iluminação e permanecem com tamanho 3584Cx3088L. Agora serão geometricamente registradas com uma base cartográfica, que é a imagem de 1999 cena completa, adquirida com correção geométrica. Foram obtidos 25 pontos de controle presentes nas duas imagens e dentro do quadrante inferior esquerdo da cena completa, com um RMS médio de 0,5 pixels de distância. As linhas abaixo rodam a correção geométrica RESAMPLE com função de mapeamento cúbico e algoritmo de reamostragem vizinho mais próximo, para não alterar os valores DN. O tamanho da imagem 1987 de saída foi alterado para 4230Cx4000L, através da escolha dos valores de Xmin = -200, Xmax = 4030 (4230C); Ymin = 0 Ymax = 4000 (4000L), no

sistema de coordenadas da imagem 1999. Isto é necessário porque as varreduras da imagem 1987 iniciam 200 pixels a oeste do início da varredura em 1999.

REM 5

```
RESAMPLE x I*a87_b3*87b3rs*87-99*plane*m*1.0*0*-
200*4030*0*4000*4230*4000*3*1
```

[REM 5.1.]

onde:

87-99.cor é o arquivo texto com os pontos de controle

[a87\_b3] é a imagem de entrada

[87\_b3rs] é a imagem geometricamente corrigida

REM 5.1.

```
RESAMPLE x I*a87_b4*87b4rs*87-99*plane*m*1.0*0*-
200*4030*0*4000*4230*4000*3*1
```

```
RESAMPLE x I*a87_b5*87b5rs*87-99*plane*m*1.0*0*-
200*4030*0*4000*4230*4000*3*1
```

```
RESAMPLE x I*a87_b7*87b7rs*87-99*plane*m*1.0*0*-
200*4030*0*4000*4230*4000*3*1
```

```
DELETE x c:\c\87_b3.rst
```

```
DELETE x c:\c\87_b3.rdc
```

```
DELETE x c:\c\87_b4.rst
```

```
DELETE x c:\c\87_b4.rdc
```

```
REM DELETE x c:\c\87_b5.rst
```

```
REM DELETE x c:\c\87_b5.rdc
```

```
DELETE x c:\c\87_b7.rst
```

```
DELETE x c:\c\87_b7.rdc
```

*Passo 6.* A imagem [87\_trein\_tab-rest\_4230x-4000y] foi criada manualmente no Adobe, sendo uma imagem identificadora de áreas de interesse, para obter as médias dos valores de reflectância nas áreas de treinamento. Estas médias serão empregadas para localizar os centróides das duas florestas inventariadas, no espaço-banda. A imagem [87\_trein\_tab-rest\_4230x-4000y] tem apenas três valores de DN: 0, 1 e 2. Estes correspondem às duas tipologias florestais levantadas por Oliveira (2000), onde a biomassa acima do solo é portanto conhecida (veja capítulo II). Os pixels com valor 0 estão fora das áreas de treinamento. Os pixels com valor 1 estão dentro da área de treinamento (inventários de Oliveira, 2000) da floresta sem bambu (cinco retângulos de 18x4 pixels) e os pixels com valor 2 estão na área de treinamento da floresta com bambu (outros cinco retângulos de 18x4 pixels). O número de colunas e linhas da imagem e o valor Xmin e Xmax são baseados em imagem 1999 que servirá como padrão de retificação geométrica da imagem 1987 e 1988.

REM 6

TIFIDRIS x 1\*87\_trein\_tab-rest\_4230x-4000y\*87\_trein\_tab-rest\_4230x-4000y\*-  
200\*4030\*0\*4000\*plane\*m\*1

*Passo 7.1.* Intercalibrar radiometricamente uma imagem captada em 1987 (imagem com alguma névoa) com a imagem de 1988, onde a atmosfera é a mais limpa de todas as cinco datas compradas do INPE. Assim, a imagem de 1987 pode ser transformada em reflectância topo-de-atmosfera, com uma atmosfera padrão 1988. Isto não retira todo o efeito atmosférico da imagem reflectância, mas "usa" a atmosfera mais limpa, entre o alvo e o sensor, disponível nas diversas imagens adquiridas do INPE.

Primeiramente uma correção de efeito de geometria-de-iluminação e correção geométrica foi rodada nas bandas 3, 4, 5 e 7 das imagens 1987 e 1988 usando como base cartográfica a imagem de 1999. Após a correção geométrica das duas imagens, 1987 e 1988, que agora devem casar perfeitamente, foi feita uma composição colorida em Adobe Photoshop das bandas 3-4-5 da imagem 1988, e também da imagem 1987, para localizar alvos claros e escuros em cada banda. Estes materiais devem ser temporalmente invariantes, presentes tanto na imagem 1988 como na imagem 1987, para que estas duas imagens possam ser radiometricamente intercalibradas através de uma simples transformação linear, onde o valor DN88 é plotado no eixo Y e o valor DN87 é plotado no eixo X para os alvos em cada banda. Deve-se obter pelo menos dois alvos para cada banda, um escuro e outro claro. Assim, a imagem de 1987, ainda em DN, terá a aparência de ter sido captada sob as mesmas condições atmosféricas, com o mesmo sensor e a mesma intensidade de radiação incidente, que a imagem de 1988, podendo ser transformada em reflectância usando a distância Terra-Sol e o ângulo zenital do Sol, da data 1988. Os alvos escolhidos foram: DN média ponderada de 1% de pixels mais claros em pequenos polígonos de praia e capoeira = alvo claro nas bandas 3, 5, e 7 (inclui apenas areia exposta); média ponderada dos 5% de pixels mais claros nos polígonos de praia e capoeira-de-praia = alvo claro na banda 4 (inclui apenas capoeira-de-praia); DN média de todos os pixels em polígonos de floresta primária sem bambu, em platô de latossolo, quase livre de deciduidade sazonal = alvo médio nas bandas 4, 5, 7 e alvo escuro na banda 3; DN média ponderada dos 1% de pixels mais escuros em polígono de lago com pouco sedimento = alvo escuro nas bandas 4, 5, 7; o lago tem um pouco de sedimento em suspensão impedindo seu uso como alvo invariante para banda 3.

Os polígonos acima foram demarcados em layer de Adobe Photoshop sobre qualquer banda da imagem 1987 geometricamente corrigida, 4230Cx4000L, importada do IDRISI. Pintou-se com ton DN=40 os polígonos de praia+capoeira-de-praia; DN=80 para lago; DN=120 para floresta primária. Estes tons muito diferentes são necessários, pois Adobe não tem paleta qualitativa. O layer foi salvo como [features\_l-f-pc.tif], tamanho 4230Cx4000L. As linhas abaixo importam este arquivo, definindo o Xmin= -200 Xmax=4030 e Ymin=0 Ymax= 4000, que são as coordenadas de X e Y dos quatros cantos da imagem de 1988, também geometricamente corrigida.

REM Passo 7.1

```
TIFIDRIS x 1*features_l-f-pc*features_l-f-pc*-200*4030*0*4000*plane*m*1
```

[REM 7.2.]

Com a importação da imagem [features\_l-f-pc] no IDRISI, os DN 40, 80 e 120 foram reclassificados em três imagens de saída (usando ASSIGN três vezes) recebendo sempre o novo valor DN = 1. Assim a imagem [features\_p-c] tem o valor 1 nos polígonos de praia+capoeira, e valor zero no resto da imagem, sendo, portanto, uma imagem booleana.

REM 7.2

```
ASSIGN x features_l-f-pc*features_p-c*praias_capoeiras.avl
```

```
ASSIGN x features_l-f-pc*features_l*lago.avl
```

```
ASSIGN x features_l-f-pc*features_f*floresta.avl
```

[REM após 7.2.]

Onde arquivo texto praias\_capoeiras.avl informa que o valor DN = 40 deve ser transformado em DN = 1, o lago.avl informa que DN = 80 será DN = 1, e floresta.avl informa que DN = 120 será DN = 1.

**Passo 8.** As imagens booleanas acima, [features\_p-c], [features\_l] e [features\_f], serão multiplicadas por cada uma das bandas de 1987 para obter em cada banda, três novas imagens (3 x 4 bandas = 12 imagens) onde aparecem apenas os valores DN da área de interesse para intercalibrar radiometricamente, o restante de cada imagem em cada banda tendo o valor 0. O mesmo procedimento é feito com as 4 bandas da imagem 1988, criando outras 12 imagens. Entretanto, devido à correção de geometria de iluminação alguns pixels terão valores negativos, significando que o valor zero cai dentro de um intervalo de dados e não pode ser considerado como uma máscara. Para considerar o valor zero como máscara, é necessário aplicar um offset positivo de 5 DN, temporário, em todas as bandas das duas datas.



As linhas abaixo fazem o offset de +5 DN e depois fazem a multiplicação pelas três máscaras booleanas, para cada banda da data 1987.

```
REM 8
SCALAR x 87b5rs*tmp-1*1*5
OVERLAY x 3*tmp-1*features_p-c*87b5rs_off5_p-c
OVERLAY x 3*tmp-1*features_l*87b5rs_off5_l
OVERLAY x 3*tmp-1*features_f*87b5rs_off5_f
```

[REM 8.1.]

onde:

[87b5rs] é a imagem de entrada, banda 5

[tmp-1] é a imagem com offset de + 5 DN

[feature\_p-c] é a máscara booleana

[87b5rs\_off5\_p-c] é a imagem da banda 5 com valor zero em todas as partes que não são praias ou capoeira de praia, e com offset + 5 DN dentro destas áreas de praia e capoeira de praia.

REM 8.1.

```
SCALAR x 87b4rs*tmp-2*1*5
OVERLAY x 3*tmp-2*features_p-c*87b4rs_off5_p-c
OVERLAY x 3*tmp-2*features_l*87b4rs_off5_l
OVERLAY x 3*tmp-2*features_f*87b4rs_off5_f
```

```
SCALAR x 87b3rs*tmp-3*1*5
OVERLAY x 3*tmp-3*features_p-c*87b3rs_off5_p-c
OVERLAY x 3*tmp-3*features_l*87b3rs_off5_l
OVERLAY x 3*tmp-3*features_f*87b3rs_off5_f
```

```
SCALAR x 87b7rs*tmp-4*1*5
OVERLAY x 3*tmp-4*features_p-c*87b7rs_off5_p-c
OVERLAY x 3*tmp-4*features_l*87b7rs_off5_l
OVERLAY x 3*tmp-4*features_f*87b7rs_off5_f
```

*Passo 9.* Obter os valores das médias, ou média ponderada, de cada alvo em cada banda, lembrando que estes valores incluem um offset de +5 DN. É necessário rodar a rotina HISTO, com as opções: largura da classe desejada = 1; saída numérica; output device = arquivo; display mínimo = 1 display máximo = 255 (a claridade dos alvos é sempre menor que 255, mesmo em locais de alta reflectância).

REM 9

```
HISTO x 87b4rs_off5_p-c*1*2*3*1*255*hist87b4rs_off5_p-c
HISTO x 87b4rs_off5_l*1*2*3*1*255*hist87b4rs_off5_l
HISTO x 87b4rs_off5_f*1*2*3*1*255*hist87b4rs_off5_f
```

```
HISTO x 87b5rs_off5_p-c*1*2*3*1*255*hist87b5rs_off5_p-c
HISTO x 87b5rs_off5_l*1*2*3*1*255*hist87b5rs_off5_l
HISTO x 87b5rs_off5_f*1*2*3*1*255*hist87b5rs_off5_f
```

HISTO x 87b3rs\_off5\_p-c\*1\*2\*3\*1\*255\*hist87b3rs\_off5\_p-c  
 HISTO x 87b3rs\_off5\_l\*1\*2\*3\*1\*255\*hist87b3rs\_off5\_l  
 HISTO x 87b3rs\_off5\_f\*1\*2\*3\*1\*255\*hist87b3rs\_off5\_f

HISTO x 87b7rs\_off5\_p-c\*1\*2\*3\*1\*255\*hist87b7rs\_off5\_p-c  
 HISTO x 87b7rs\_off5\_l\*1\*2\*3\*1\*255\*hist87b7rs\_off5\_l  
 HISTO x 87b7rs\_off5\_f\*1\*2\*3\*1\*255\*hist87b7rs\_off5\_f

Como a correção anisotrópica não deve ser aplicada a superfícies lisas como lago, o valor DN mínimo no lago para as bandas 4, 5 e 7 foi obtido das imagens brutas sem correção anisotrópica.

*Passo 10.1.* Após obter os valores das médias nos histogramas, estes foram levados para o Excel para obter as médias dos pixels que compõem 1% mais claro na praia e 5% mais claro na capoeira, etc, lembrando de inserir uma coluna no Excel para tirar o offset +5, em todas as bandas antes de plotar o gráfico e obter as equações de regressão, utilizadas na retificação radiométrica. Com a obtenção das equações das retas, estas foram aplicadas em cada banda, para intercalibrar a imagem 1987 com a imagem 1988 (atmosfera mais limpa). As linhas abaixo fazem primeiramente a multiplicação com o valor do coeficiente de ganho (a) das equações, em cada banda, e depois subtrai do valor do coeficiente de offset (b).

Como a correção anisotrópica não deve ser aplicada a superfície lisas como lago, o valor DN-mínimo no lago para as bandas 4, 5 e 7 foi obtido das imagens 1987 e 1988 brutas, tal como compradas do INPE.

Os valores que alimentam as regressões e os ganhos e offset da transformação  $[1988] = a * [1987] + b$ , são apresentados abaixo.

**Tabela 9. Valores de radiância codificada nos alvos radiometricamente invariantes após a correção anisotrópica de iluminação e subtraído o offset de +5 DN.**

Alvos	Banda 3		Banda 4		Banda 5		Banda 7	
	1987	1988	1987	1988	1987	1988	1987	1988
Lago sem sedimento	-	-	22.0	4.0	3.0	0.0	0.0	0.0
Areia de praia	88.8	107.64	-	-	175.1	167.97	92.2	91.66
Capoeira de praia	-	-	94.87	101.72	-	-	-	-
Floresta de platô em latossolo, sem bambu	29.51	17.06	71.0	61.35	54.9	47.29	10.06	9.32
Ganho da regressão (a)	1.5277		1.3156		0.9809		0.9973	
Offset da regressão (b)	-28.024		-26.70		-4.4312		-0.336	

REM 10.1

SCALAR x 87B3rs\*87b3\_rd\*3\*1.5277

SCALAR x 87b3\_rd\*87b3rad\*2\*28.024

DELETE x c:\c\87b3\_rd.rst

DELETE x c:\c\87b3\_rd.rdc

[REM 10.2]

onde:

[87B3rs] é a imagem de entrada

[87b3\_rd] é a imagem com ganho de 1.5277

[87b3rad] é a imagem radiometricamente intercalibrada com a banda 3 de 1988.

REM 10.2

SCALAR x 87B4rs\*87b4\_rd\*3\*1.3156

SCALAR x 87b4\_rd\*87b4rad\*2\*26.70

DELETE x c:\c\87b4\_rd.rst

DELETE x c:\c\87b4\_rd.rdc

SCALAR x 87B5rs\*87b5\_rd\*3\*0.9809

SCALAR x 87b5\_rd\*87b5rad\*2\*4.4312

DELETE x c:\c\87b5\_rd.rst

DELETE x c:\c\87b5\_rd.rdc

SCALAR x 87B7rs\*87b7\_rd\*3\*0.9973

SCALAR x 87b7\_rd\*87b7rad\*2\*0.336

DELETE x c:\c\87b7\_rd.rst

DELETE x c:\c\87b7\_rd.rdc

Observe que há muita névoa na imagem 1987, pois o termo de ganho é 1.5 na banda 3. Como a névoa tem pouco efeito nas ondas de maior comprimento o termo de ganho nas bandas 5 e 7 é próximo de 1.

**Passo 11.1.** Nesta etapa, as bandas com valores de radiância quantizada (DN), serão transformados em valores de reflectância, topo-de-atmosfera, padrão 1988. A transformação de números digitais (DN) para valores de reflectância utiliza os coeficientes  $a_\lambda$  e  $b_\lambda$  da tabela 10. (Veja derivação no texto do Capítulo III).

**Tabela 10.** Coeficientes da transformação de DN (1987) em reflectância topo-de-atmosfera, padrão 26 de julho de 1988.

$\lambda$	$a_\lambda$	$b_\lambda$
Banda 3	0.00246	-0.00366
Banda 4	0.00369	-0.00680
Banda 5	0.00234	-0.00801
Banda 7	0.00363	-0.00956

REM 11.1.

SCALAR x 87b3rad\*87b3\_re\*3\*0.00246

SCALAR x 87b3\_re\*87b3rf\*2\*0.00366

DELETE x c:\c\87b3\_re.rst

DELETE x c:\c\87b3\_re.rdc

[REM 11.2.]

onde:

[87b3rad] é a imagem de 1987 banda 3, em DN, intercalibrada com a banda 3 da imagem de 1988

[87b3\_re] é o resultante da aplicação de ganho de 0.00246

[87b3rf] é a imagem após aplicação de ganho mais o offset de -0.00366, sendo, portanto reflectância topo de atmosfera, padrão 1988.

REM 11.2.

SCALAR x 87b4rad\*87b4\_re\*3\*0.00369

SCALAR x 87b4\_re\*87b4rf\*2\*0.00680

DELETE x c:\c\87b4\_re.rst

DELETE x c:\c\87b4\_re.rdc

SCALAR x 87b5rad\*87b5\_re\*3\*0.00234

SCALAR x 87b5\_re\*87b5rf\*2\*0.00801

REM DELETE x c:\c\87b5\_re.rst

REM DELETE x c:\c\87b5\_re.rdc

SCALAR x 87b7rad\*87b7\_re\*3\*0.00363

SCALAR x 87b7\_re\*87b7rf\*2\*0.00956

DELETE x c:\c\87b7\_re.rst

DELETE x c:\c\87b7\_re.rdc

## ETAPA II

Findado o pré-processamento acima, e obtidas as bandas da imagem 1987 em unidades de reflectância topo-de-atmosfera padrão 1988 (mais limpa), segue-se com a confecção da máscara de aceitabilidade baseada em bandas sem filtro mediana.

*Passo 12.* As 8 linhas abaixo, rodam a rotina EXTRACT, a qual fornece as médias dos valores de reflectância, em duas florestas distintas -- sem e com bambu -- inventariadas por Oliveira (2000). A posição dos inventários é identificada na imagem identificadora de feições [87\_trein\_tab-rest\_4230x-4000y]. Para funcionar corretamente, a imagem [87\_trein\_tab-rest\_4230x-4000y] deve casar perfeitamente com as bandas (3, 4, 5 e 7) de 1987 geometricamente corrigida. As médias são adquiridas nas quatro bandas, em cada uma de três populações de pixels, identificadas pelos rótulos de 0, 1 e 2 na imagem [87\_trein\_tab-rest\_4230x-4000y].

Onde:

- 0 = áreas não inventariadas (quase toda a imagem);
- 1 = 360 pixels inventariados na floresta sem bambu;
- 2 = 360 pixels inventariados na floresta com bambu

Os valores de média obtidos dentro das duas áreas de treinamento (floresta inventariada sem e com bambu), são transferidos para Excel para o cálculo da distância euclidiana entre os centróides no espaço-banda. A tabela 11 mostra as médias nas duas tipologias florestais, sem aplicação do filtro mediana.

REM 12

```
EXTRACT x 87_trein_tab-rest_4230x-4000y*87b3rf*1*4*87b3_stat_ave
EXTRACT x 87_trein_tab-rest_4230x-4000y*87b4rf*1*4*87b4_stat_ave
EXTRACT x 87_trein_tab-rest_4230x-4000y*87b5rf*1*4*87b5_stat_ave
EXTRACT x 87_trein_tab-rest_4230x-4000y*87b7rf*1*4*87b7_stat_ave
```

Tabela 11. Médias de reflectância "topo de atmosfera-limpa" de cada banda da imagem 1987, obtidas nas áreas inventariadas por Oliveira (2000) sem aplicação do filtro mediana.

Banda	Floresta sem bambu	Floresta com bambu
3	0.0535591	0.0536412
4	0.2118950	0.2844015
5	0.1099169	0.1508807
7	0.0297914	0.0441810

Observe que a floresta com bambu tem maiores reflectâncias nas bandas 4,5, e 7, mas a banda 3 não apresenta diferença entre as duas florestas, sendo portanto, inútil para inferir biomassa de pixels pelo ordenamento polar. Entretanto, será empregado neste momento para confecção da máscara que identifica pixels considerados florestados. As oito médias acima são empregadas para determinar L, a distância euclidiana entre os dois centróides. O valor é calculado no Excel e inserido no macro, uma vez que o Idrisi não faz operações matemáticas entre números, somente entre número e imagens ou entre imagens.

*Passo 13.1.* Obtenção dos valores ordenados de cada pixel: imagem [proj]. A imagem é derivada pela equação III-2, a qual requer o constante L, e duas imagens [d<sub>1</sub>] e [d<sub>2</sub>], onde [d<sub>1</sub>] é a distância no espaço-banda entre cada pixel até o centróide da floresta sem bambu, [d<sub>2</sub>] é a distância entre cada pixel e o centróide da floresta com bambu.

A distância euclidiana L entre os dois centróides, bem como as três imagens [d<sub>1</sub>], [d<sub>2</sub>] e [proj], serão calculadas quatro vezes (nas Etapas II, III e IV e V): a primeira vez com quatro bandas não filtradas, a segunda vez com as quatro bandas que sofreram filtro mediana 7x7 para diminuir variância causada pela topografia. Estas duas primeiras versões resultarão na confecção de duas máscaras booleanas de aceitabilidade, ou seja, máscaras que determinam quais pixels são considerados como floresta e, portanto, podem ter suas biomassas estimadas pelo modelo. As outras duas vezes que se calcula L, [d<sub>1</sub>], [d<sub>2</sub>] e [proj] é na modelagem propriamente dita, que despreza a banda 3. Serão calculadas com as bandas 4, 5 e 7 sem filtro mediana e outra vez com filtro.

No primeiro cálculo de L, [d<sub>1</sub>], [d<sub>2</sub>] e [proj], denominamos L = L<sub>3457</sub>, [d<sub>1</sub>]<sup>2</sup> = [87b\_3457], [d<sub>2</sub>]<sup>2</sup> = [87c\_3457] e [proj] = [proj\_3457]. O valor do L<sub>3457</sub> obtido do Excel é **0.08451** usando as quatro coordenadas (médias) no espaço-banda da floresta sem bambu e as quatro coordenadas da floresta com bambu. As duas imagens [87b\_3457] e [87c\_3457], correspondem a (distância euclidiana)<sup>2</sup>, dos pixels no espaço-banda, para o centro de cada área de treinamento, floresta sem bambu e floresta com bambu, respectivamente. A fórmula para estas duas imagens é similar:

$$[d_1]^2 = [87b\_3457] = \sum_{\lambda=1}^4 ([\rho_{\lambda}] - \bar{X}_{\lambda b})^2$$

$$[d_2]^2 = [87c\_3457] = \sum_{\lambda=1}^4 ([\rho_{\lambda}] - \bar{X}_{\lambda cb})^2$$

onde:

$\bar{X}_{\lambda}$  = média de reflectância da banda  $\lambda$  em área inventariada (360 pixels) sem bambu (sb) ou com bambu (cb)

$[\rho_{\lambda}]$  = imagem reflectância da banda  $\lambda$  (1/4 da cena, ano 1987)

A criação da imagem  $[d_1]$  na sua versão  $[87b\_3457]$ , requer os todos os passos no REM 13.1 e REM 13.2.

REM 13.1

SCALAR x 87b3rf\*b3\*2\*0.0535591

SCALAR x b3\*b3b\*5\*2

DELETE x c:\c\b3.rst

DELETE x c:\c\b3.rdc

[REM 13.2.]

onde:

$[87b3rf]$  é a imagem da banda 3, em unidades de reflectância topo-de-atmosfera, padrão 1988.

0.0535591 é a reflectância média dos 360 pixels de floresta sem bambu no local dos inventários de Oliveira (2000), um constante que é subtraído da imagem  $[87b3rf]$ .

$[b3]$  é a "imagem diferença" resultante da subtração.

$[b3B]$  é a "imagem diferença" elevada ao expoente 2, ou seja,  $[b3]^2$ .

REM 13.2.

SCALAR x 87b4rf\*b4\*2\*0.2118950

SCALAR x b4\*b4b\*5\*2

DELETE x c:\c\b4.rst

DELETE x c:\c\b4.rdc

SCALAR x 87b5rf\*b5\*2\*0.1099169

SCALAR x b5\*b5b\*5\*2

DELETE x c:\c\b5.rst

DELETE x c:\c\b5.rdc

SCALAR x 87b7rf\*b7\*2\*0.0297914

SCALAR x b7\*b7b\*5\*2

DELETE x c:\c\b7.rst

DELETE x c:\c\b7.rdc

OVERLAY x 1\*b3b\*b4b\*b34b

DELETE x c:\c\b3b.rst

DELETE x c:\c\b3b.rdc

DELETE x c:\c\b4b.rst

DELETE x c:\c\b4b.rdc

OVERLAY x 1\*b34b\*b5b\*b345b

DELETE x c:\c\b34b.rst

DELETE x c:\c\b34b.rdc

DELETE x c:\c\b5b.rst

DELETE x c:\c\b5b.rdc

L\_3457 (cujo valor calculado no Excel é 0.08451), o próximo passo é criar a imagem [proj\_3457], a qual fornece o valor ordenado de cada pixel após a sua projeção para o eixo de ordenamento entre as duas áreas inventariadas. O valor é expresso como distância ao longo do eixo de ordenamento, onde zero = centro da floresta sem bambu.

$$[\text{proj\_3457}] = \frac{(L\_3457)^2 + [87b\_3457] - [87c\_3457]}{2(L\_3457)}$$

```
REM 14
SCALAR x 87b_3457*87b*1*0.007142
OVERLAY x 2*87b*87c_3457*87bc_3457
DELETE x c:\c\87b.rst
DELETE x c:\c\87b.rdc
SCALAR x 87bc_3457*proj_3457*4*0.1690
DELETE x c:\c\87bc_3457.rst
DELETE x c:\c\87bc_3457.rdc
```

*Passo 15.* A imagem [proj\_3457] foi criada nas linhas acima. Para fixar os limiares do cilindro de aceitabilidade é necessário calcular os desvios padrões de duas pequenas áreas nesta imagem. A linha abaixo roda a rotina EXTRACT, a qual fornece em arquivo texto o desvio padrão dos valores na imagem [proj\_3457] dos pixels nas duas áreas inventariadas por Oliveira (2000) identificadas na imagem identificadora de feições [87\_trein\_tab-rest\_4230x-4000y]. Para funcionar corretamente, a imagem [87\_trein\_tab-rest\_4230x-4000y] deve casar perfeitamente com imagem [proj\_3457]. O desvio padrão é adquirido em cada população da imagem [proj\_3457] e identificado pelos rótulos de 0, 1 e 2 determinados pela imagem [87\_trein\_tab-rest\_4230x-4000y].

```
REM 15
EXTRACT x 87_trein_tab-rest_4230x-4000y*proj_3457*1*7*PROJ_3457_stat_sd
```

Os valores de dois desvios padrões obtidos do [proj\_3457] são dados na tabela abaixo. Observe que o grande contraste entre sombras topográficas e floresta de bambu iluminado pelo Sol cria maior variância na floresta com bambu

L_3457	2S <sub>sb</sub> (Floresta sem bambu)	2S <sub>cb</sub> (Floresta com bambu)	L_3457 + 2S <sub>cb</sub>
0.0845	0.041115	0.056632	0.1411



média = L). Neste macro são usadas três rotinas: RECLASS, OVERLAY e CONVERT.

REM 18.1

```
RECLASS x I*proj_3457*tmp-1-3457*2*0*-999999*-0.041115*1*-0.041115*999999*-9999
```

```
RECLASS x I*proj_3457*tmp-2-3457*2*1*-999999*0.1411*0*0.1411*999999*-9999
```

```
OVERLAY x 3*tmp-1-3457*tmp-2-3457*tmp-3-3457
```

```
CONVERT x tmp-3-3457*devok_3457*I*3*2*2
```

[REM 18.2]

Onde

[tmp-1-3457] é uma imagem booleana que atribui valor 1 a todos os pixels acima do plano do "fundo" do cilindro:

[tmp-2-3457] é uma imagem booleana que atribui valor 1 a todos os pixels abaixo do plano do "topo" do cilindro:

[tmp-3-3457] é uma imagem booleana que atribui valor 1 a todos os pixels entre os dois planos.

[devok\_3457] é a versão byte binário de [tmp-3-3457]

[REM 18.2]

```
DELETE x c:\c\tmp-1-3457.rst
```

```
DELETE x c:\c\tmp-1-3457.rdc
```

```
DELETE x c:\c\tmp-2-3457.rst
```

```
DELETE x c:\c\tmp-2-3457.rdc
```

```
DELETE x c:\c\tmp-3-3457.rst
```

```
DELETE x c:\c\tmp-3-3457.rdc
```

*Passo 19.* Criar a imagem [acptmask], ou seja, uma imagem booleana, na qual utiliza os critérios de aceitabilidade das imagens [peqdist\_3457] e [devok\_3457] para criar uma máscara de aceitabilidade, dando valor 1 para todos os pixels considerados pixels de floresta e valor 0 para os pixels inaceitáveis para modelagem de sua biomassa (pastos, praias, água, etc). São utilizadas as rotinas OVERLAY e CONVERT

REM 19

```
OVERLAY x 3*peqdist_3457*devok_3457*tmp-1-3457
```

```
CONVERT x tmp-1-3457*acptmask_3457*I*3*2*2
```

### ETAPA III

Criação de uma segunda máscara de aceitabilidade, para uso no modelo que emprega bandas filtradas com filtro mediana em janela movel de 7x7 pixels. Como anteriormente, a máscara utiliza informações das quatro bandas, embora a banda 3 será desprezada na modelagem propriamente dita. Não é necessário repetir os passos 01 a 11 de pré-processamento.

**Passo 20.** Aplicar o filtro mediana sobre as bandas reflectância topo-de-atmosfera-limpa, criadas no passo 11. O filtro mediana 7x7 do Idrisi é de dois estágios, tende a diminuir a variância causada por topografia e ao mesmo tempo preserva as bordas entre alvos espectralmente distintos, como rios, área urbana, pastagens e estradas.

```
REM 20
FILTER x 87b3rf*87b3rf_f*2*7
FILTER x 87b4rf*87b4rf_f*2*7
FILTER x 87b5rf*87b5rf_f*2*7
FILTER x 87b7rf*87b7rf_f*2*7
```

[REM 20.1]

Onde:

[87b3rf] é a imagem reflectância.

[87b3rf\_f] é a imagem filtrada e

os valores 2 e 7 indicam filtro mediana e tamanho 7x7, respectivamente.

**Passo 21.** Extração das oito médias nos locais dos inventários, igual ao passo 12.

```
REM 21
```

```
EXTRACT x 87_trein_tab-rest_4230x-4000y*87b3rf_f*1*4*87b3_f_stat_ave
```

```
EXTRACT x 87_trein_tab-rest_4230x-4000y*87b4rf_f*1*4*87b4_f_stat_ave
```

```
EXTRACT x 87_trein_tab-rest_4230x-4000y*87b5rf_f*1*4*87b5_f_stat_ave
```

```
EXTRACT x 87_trein_tab-rest_4230x-4000y*87b7rf_f*1*4*87b7_f_stat_ave
```

Tabela 12. Médias de cada banda filtrada da imagem 1987, obtidas na floresta com bambu.

Bandas	Floresta sem bambu	Floresta com bambu
3	0.0517949	0.0521168
4	0.2045451	0.2760808
5	0.1070283	0.1461623
7	0.0274983	0.0413551

Agora passamos para o segundo cálculo de L.  $[d_1]$ ,  $[d_2]$  e  $[proj]$ , onde denominamos L =  $L_{3457-f}$ ,  $[d_1]^2 = [87b_{3457-f}]$ ,  $[d_2]^2 = [87c_{3457-f}]$  e  $[proj] = [proj_{3457-f}]$ . O valor de  $L_{3457-f}$  obtido do Excel é **0.08271**, usando as quatro coordenadas (médias) no espaço-banda da floresta sem bambu e as quatro coordenadas da floresta com bambu. Observe que o valor de L muda muito pouco com a aplicação do filtro mediana, ou seja a distância euclidiana entre os dois centroides é pouco afetada, conforme esperado. Entretanto, a variância será fortemente diminuída nas duas populações de 360 pixels inventariados. Isto permitirá mudar os limiares da imagem  $[devok_{3457-f}]$ , usando limites de três desvios

padrão além dos centróides no eixo do [proj\_3457-f], e não apenas dois desvios padrões, como feito no modelo com imagens não filtradas. O resultado da filtragem e do uso de três desvios padrões será a inclusão de muito mais pixels de floresta dentro do cilindro de aceitabilidade, sem tomar o cilindro de aceitabilidade muito comprido em relação ao eixo de ordenamento.

As duas imagens [87b\_3457-f] e [87c\_3457-f], mais uma vez, correspondem a (distância euclidiana)<sup>2</sup>, dos pixels no espaço-banda, para o centro de cada área de treinamento, floresta sem bambu e floresta com bambu, respectivamente.

*Passo 22.1.* Confecção da imagem [87b\_3457-f]. Ver descrição dos passos 13.1, 13.2 e 13.3 acima.

```
REM 22.1
SCALAR x 87b3rf_f*b3*2*0.0517949
SCALAR x b3*b3b*5*2
DELETE x c:\c\b3.rst
DELETE x c:\c\b3.rdc
SCALAR x 87b4rf_f*b4*2*0.2045451
SCALAR x b4*b4b*5*2
DELETE x c:\c\b4.rst
DELETE x c:\c\b4.rdc
SCALAR x 87b5rf_f*b5*2*0.1070283
SCALAR x b5*b5b*5*2
DELETE x c:\c\b5.rst
DELETE x c:\c\b5.rdc
SCALAR x 87b7rf_f*b7*2*0.0274983
SCALAR x b7*b7b*5*2
DELETE x c:\c\b7.rst
DELETE x c:\c\b7.rdc
OVERLAY x 1*b3b*b4b*b34b
DELETE x c:\c\b3b.rst
DELETE x c:\c\b3b.rdc
DELETE x c:\c\b4b.rst
DELETE x c:\c\b4b.rdc
OVERLAY x 1*b34b*b5b*b345b
DELETE x c:\c\b34b.rst
DELETE x c:\c\b34b.rdc
DELETE x c:\c\b5b.rst
DELETE x c:\c\b5b.rdc
OVERLAY x 1*b345b*b7b*87b_3457-f
DELETE x c:\c\b345b.rst
DELETE x c:\c\b345b.rdc
DELETE x c:\c\b7b.rst
DELETE x c:\c\b7b.rdc
```

*Passo 23:* Confeção da imagem [87c\_3457-f]. Ver descrição dos passos 13.4 e 13.5

```

REM 23
SCALAR x 87b3rf_f*b3*2*0.0521168
SCALAR x b3*b3c*5*2
DELETE x c:\c\b3.rst
DELETE x c:\c\b3.rdc
SCALAR x 87b4rf_f*b4*2*0.2760808
SCALAR x b4*b4c*5*2
DELETE x c:\c\b4.rst
DELETE x c:\c\b4.rdc
SCALAR x 87b5rf_f*b5*2*0.1461623
SCALAR x b5*b5c*5*2
DELETE x c:\c\b5.rst
DELETE x c:\c\b5.rdc
SCALAR x 87b7rf_f*b7*2*0.0413551
SCALAR x b7*b7c*5*2
DELETE x c:\c\b7.rst
DELETE x c:\c\b7.rdc
OVERLAY x 1*b3c*b4c*b34c
DELETE x c:\c\b3c.rst
DELETE x c:\c\b3c.rdc
DELETE x c:\c\b4c.rst
DELETE x c:\c\b4c.rdc
OVERLAY x 1*b34c*b5c*b345c
DELETE x c:\c\b34c.rst
DELETE x c:\c\b34c.rdc
DELETE x c:\c\b5c.rst
DELETE x c:\c\b5c.rdc
OVERLAY x 1*b345c*b7c*87c_3457-f
DELETE x c:\c\b345c.rst
DELETE x c:\c\b345c.rdc
DELETE x c:\c\b7c.rst
DELETE x c:\c\b7c.rdc

```

*Passo 24.* Com a obtenção das duas imagens [87b\_3457-f] e [87c\_3457-f] e o constante  $L_{3457-f}$  (cujo valor é 0.08271), o próximo passo é criar a imagem [proj\_3457-f], a qual fornece o valor ordenado de cada pixel após a sua projeção para o eixo de ordenamento entre as duas áreas inventariadas. O valor é expresso como distância ao longo do eixo de ordenamento, onde zero = centro da floresta sem bambu, filtrado.

$$[\text{proj}_{3457-f}] = \frac{(L_{3457-f}) \cdot ([87b_{3457-f}] - [87c_{3457-f}])}{2 \cdot L_{3457-f}}$$

Ver descrição do passo 14.

```

REM 24
SCALAR x 87b_3457-f*87b*1*0.006841
OVERLAY x 2*87b*87c_3457-f*87bc_3457-f
DELETE x c:\c\87b.rst
DELETE x c:\c\87b.rdc
SCALAR x 87bc_3457-f*proj_3457-f*4*0.1654
DELETE x c:\c\87bc_3457-f.rst
DELETE x c:\c\87bc_3457-f.rdc

```

*Passo 25.* Com a criação do [proj\_3457-f], acima, passamos agora ao cálculo dos desvios padrões de duas pequenas populações de pixels nesta imagem, que são as duas áreas levantadas por Oliveira (2000). Ver descrição do passo 15.

```

REM 25
EXTRACT x 87_trein_tab-rest_4230x-4000y*proj_3457-f*1*7* PROJ-3457_f_stat_sd

```

[REM 25.1]

Os valores de três desvios padrões obtidos das áreas de inventário na imagem [proj\_3457-f] são dados na tabela abaixo. Observe que o comprimento do cilindro de aceitabilidade será 0.15 unidades, mesmo usando uma tolerância de três desvios padrões, rejeitando apenas 01% dos pixels de floresta. O comprimento do cilindro de aceitabilidade na máscara criada a partir de imagens não filtradas, era mais comprido (0.18 unidades) e a máscara ainda rejeitava 5% dos pixels de floresta. Este é o principal motivo do emprego do filtro mediana no modelo.

L_3457-f	3S <sub>sb</sub> (Floresta sem bambu)	3S <sub>cb</sub> (Floresta com bambu)	L_3457-f + 3S <sub>cb</sub>
0.08271	0.0256767	0.0410562	0.1238

*Passo 26.* Criação do cilindro de aceitabilidade no espaço de bandas filtradas. Veja passo 16 e Equação III-3.

```

REM 26
SCALAR x proj_3457-f*proje_3457-f*5*2
OVERLAY x 2*87b_3457-f*proje_3457-f*proje_b-f
SCALAR x proje_b-f*dist_3457-f*5*0.5
DELETE x c:\c\proje_3457-f.rst
DELETE x c:\c\proje_3457-f.rdc
DELETE x c:\c\proje_b-f.rst
DELETE x c:\c\proje_b-f.rdc

```

*Passo 27.* Criação da imagem booleana [peqdist\_3457-f], que define o raio do cilindro de aceitabilidade. Ver descrição do passo 17.

REM 27

```
RECLASS x I*dist_3457-f*tmp_3457-f*2*1*-999999*0.0496*0*0.0496*999999*-9999
CONVERT x tmp_3457-f*peqdist_3457-f*I*3*2*2
```

*Passo 28.* As linhas abaixo criam duas imagens booleanas, que são multiplicadas para criar [devok\_3457-f]. Ver descrição do passo 18.

REM 28

```
RECLASS x I*proj_3457-f*tmp_1-3457-f*2*0*-999999*-0.0256767*1*-
0.0256767*999999*-9999
RECLASS x I*proj_3457-f*tmp_2-3457-f*2*1*-999999*0.1238*0*0.1238*999999*-
9999
OVERLAY x 3*tmp_1-3457-f*tmp_2-3457-f*tmp_3-3457-f
CONVERT x tmp_3-3457-f*devok_3457-f*I*3*2*2
DELETE x c:\tmp_1-3457-f.rst
DELETE x c:\tmp_1-3457-f.rdc
DELETE x c:\tmp_2-3457-f.rst
DELETE x c:\tmp_2-3457-f.rdc
DELETE x c:\tmp_3-3457-f.rst
DELETE x c:\tmp_3-3457-f.rdc
```

*Passo 29.* Veja descrição do passo 19

REM 29

```
OVERLAY x 8*peqdist_3457-f*devok_3457-f*tmp_1-3457-f
CONVERT x tmp_1-3457-f*acptmask_3457-f*I*3*2*2
```

#### ETAPA IV

Nesta etapa, efetua-se a modelagem de biomassa de cada pixel, utilizando no modelo apenas as bandas 4, 5 e 7 sem aplicação do filtro mediana. A banda 3 é eliminada nesta etapa por apresentar muita névoa e fumaça, portanto, não é usada para determinar os valores de biomassa dos pixels, embora é utilizado para criar o cilindro de pixels considerados floresta (máscara de aceitabilidade: [acptmask\_3457]).

O objetivo é a criação da imagem [proj\_457] e seu reescalonamento para valores de biomassa. O intervalo do eixo de ordenamento entre os dois centróides de floresta inventariada, expresso em unidades de reflectância na imagem [proj\_457], será reescalonado para unidades de "toneladas de biomassa seca em pé por hectare (árvores > 10 cm DAP)". O produto do reescalonamento é uma imagem denominada:

[biomassa\_457].

*Passo 30.1.* Criação da imagem [d<sub>1</sub>], na sua terceira versão [87b\_457]. Veja descrição dos passos 13.1 e 13.2

```
REM 30.1
SCALAR x 87b4rf*b4*2*0.2118950
SCALAR x b4*b4b*5*2
DELETE x c:\c\b4.rst
DELETE x c:\c\b4.rdc
SCALAR x 87b5rf*b5*2*0.1099169
SCALAR x b5*b5b*5*2
DELETE x c:\c\b5.rst
DELETE x c:\c\b5.rdc
SCALAR x 87b7rf*b7*2*0.0297914
SCALAR x b7*b7b*5*2
DELETE x c:\c\b7.rst
DELETE x c:\c\b7.rdc
OVERLAY x 1*b4b*b5b*b45b
DELETE x c:\c\b4b.rst
DELETE x c:\c\b4b.rdc
DELETE x c:\c\b5b.rst
DELETE x c:\c\b5b.rdc
OVERLAY x 1*b45b*b7b*87b_457
DELETE x c:\c\b45b.rst
DELETE x c:\c\b45b.rdc
DELETE x c:\c\b7b.rst
DELETE x c:\c\b7b.rdc
```

*Passo 30.2.* Criação da imagem [d<sub>2</sub>] nas sua terceira versão: [87c\_457]. Veja descrição do passo 13.3.

```
REM 30.2
SCALAR x 87b4rf*b4*2*0.2844015
SCALAR x b4*b4c*5*2
DELETE x c:\c\b4.rst
DELETE x c:\c\b4.rdc
SCALAR x 87b5rf*b5*2*0.1508807
SCALAR x b5*b5c*5*2
DELETE x c:\c\b5.rst
DELETE x c:\c\b5.rdc
SCALAR x 87b7rf*b7*2*0.0441810
SCALAR x b7*b7c*5*2
DELETE x c:\c\b7.rst
DELETE x c:\c\b7.rdc
OVERLAY x 1*b4c*b5c*b45c
DELETE x c:\c\b4c.rst
DELETE x c:\c\b4c.rdc
DELETE x c:\c\b5c.rst
```

```

DELETE x c:\c\b5c.rdc
OVERLAY x 1*b45c*b7c*87c_457
DELETE x c:\c\b45c.rst
DELETE x c:\c\b45c.rdc
DELETE x c:\c\b7c.rst
DELETE x c:\c\b7c.rdc

```

*Passo 31.* Criar a imagem [proj\_457] somente com 3 bandas (4, 5 e 7). Veja descrição do passo 14.

```

REM 31
SCALAR x 87b_457*87b*1*0.007142
OVERLAY x 2*87b*87c_457*87bc_457
DELETE x c:\c\87b.rst
DELETE x c:\c\87b.rdc
SCALAR x 87bc_457*proj_457*4*0.1690
DELETE x c:\c\87bc_457.rst
DELETE x c:\c\87bc_457.rdc

```

*Passo 32.* Criação da imagem biomassa: A imagem [proj\_457] tem valor zero na extremidade que corresponde a floresta sem bambu e valor L (= 0.0845) na extremidade que corresponde à floresta com bambu. Este intervalo será reescalado para um intervalo de 199,7 a 99,6 t ha<sup>-1</sup>, a biomassa das árvores em pé >10 cm DAP, conforme calculada no capítulo II. Os coeficientes da transformação linear são aqueles da relação abaixo:

$$[\text{biomassa\_457}] = -1184.4 * [\text{proj\_457}] + 199.7$$

```

REM 32
SCALAR x proj_457.rst*tmp_1.rst*3*-1184.4
SCALAR x tmp_1.rst*biomassa_457.rst*1*199.7

```

*Passo 33.* Imagem [biomassa\_457\_aceit] expressa a imagem biomassa, com máscara de aceitabilidade. Esta imagem é obtida pela multiplicação das imagens [biomassa\_457] e [acptmask\_3457].

```

REM 33
OVERLAY x 3*biomassa_457*acptmask_3457*biomassa_457_aceit

```

#### ETAPA V.

Agora, a modelagem de biomassa emprega imagens reflectância, com as bandas 4, 5 e 7 com aplicação prévia do filtro mediana com janela movel 7x7. A criação das imagens [d<sub>1</sub>] e [d<sub>2</sub>] nas suas versões [87b\_457-f] e [87c\_457-f] usa somente as bandas 4, 5 e 7 com a aplicação prévia do filtro. A banda 3 também é eliminada nesta etapa por apresentar muita



névoa e fumaça, embora a máscara de aceitabilidade [acptmask\_3457-f] tenha considerado esta banda.

*Passo 34.* Criação das imagens [87b\_457-f] e [87c\_457-f]. Ver descrição do passo 13 da Etapa II e passos 22 e 23 da Etapa III.

```
REM 34.1
SCALAR x 87b4rf_f*b4*2*0.2045451
SCALAR x b4*b4b*5*2
DELETE x c:\c\b4.rst
DELETE x c:\c\b4.rdc
SCALAR x 87b5rf_f*b5*2*0.1070283
SCALAR x b5*b5b*5*2
DELETE x c:\c\b5.rst
DELETE x c:\c\b5.rdc
SCALAR x 87b7rf_f*b7*2*0.0274983
SCALAR x b7*b7b*5*2
DELETE x c:\c\b7.rst
DELETE x c:\c\b7.rdc
OVERLAY x 1*b4b*b5b*b45b
DELETE x c:\c\b4b.rst
DELETE x c:\c\b4b.rdc
DELETE x c:\c\b5b.rst
DELETE x c:\c\b5b.rdc
OVERLAY x 1*b45b*b7b*87b_457-f
DELETE x c:\c\b45b.rst
DELETE x c:\c\b45b.rdc
DELETE x c:\c\b7b.rst
DELETE x c:\c\b7b.rdc
```

*Passo 34.2.* Criação da imagem [87c\_457-f]

```
REM 34.2
SCALAR x 87b4rf_f*b4*2*0.2760808
SCALAR x b4*b4c*5*2
DELETE x c:\c\b4.rst
DELETE x c:\c\b4.rdc
SCALAR x 87b5rf_f*b5*2*0.1461623
SCALAR x b5*b5c*5*2
DELETE x c:\c\b5.rst
DELETE x c:\c\b5.rdc
SCALAR x 87b7rf_f*b7*2*0.0413551
SCALAR x b7*b7c*5*2
DELETE x c:\c\b7.rst
DELETE x c:\c\b7.rdc
OVERLAY x 1*b4c*b5c*b45c
DELETE x c:\c\b4c.rst
DELETE x c:\c\b4c.rdc
DELETE x c:\c\b5c.rst
```

```

DELETE x c:\c\b5c.rdc
OVERLAY x 1*b45c*b7c*87c_457-f
DELETE x c:\c\b45c.rst
DELETE x c:\c\b45c.rdc
DELETE x c:\c\b7c.rst
DELETE x c:\c\b7c.rdc

```

*Passo 35.* O constante L\_457-f (distância no espaço-banda entre centróides filtrados) é 0.08271. Segue a criação da imagem [proj\_457-f] com filtro. Ver descrição do passo 24.

```

REM 35
SCALAR x 87b_457-f*87b_f*1*0.006841
OVERLAY x 2*87b_f*87c_457-f*87bc_457-f
DELETE x c:\c\87b_f.rst
DELETE x c:\c\87b_f.rdc
SCALAR x 87bc_457-f*proj_457-f*4*0.1654
DELETE x c:\c\87bc_457-f.rst
DELETE x c:\c\87bc_457-f.rdc

```

*Passo 36.* Criação da imagem biomassa s com filtro, onde biomassa é peso seco em pé para árvores >10 cm de DAP. A transformação linear de reescalonamento é:

$$[\text{biomassa\_457-f}] = -1210.3 * [\text{proj\_457-f}] + 199.7$$

```

REM 35
SCALAR x proj_457-f.rst*tmp_1-f.rst*3*-1210.3
SCALAR x tmp_1-f.rst*biomassa_457-f.rst*1*199.7

```

*Passo 36.* Criação da imagem [biomassa\_457-f\_aceit] com as bandas 4, 5 e 7 com filtro. Imagem [biomassa\_457-f\_aceit] expressa a imagem biomassa, com máscara de aceitabilidade. Esta imagem é obtida pela multiplicação das imagens [biomassa\_457-f] e [acptmask\_3457-f].

```

REM 37
OVERLAY x 3*biomassa_457-f.rst*acptmask_3457-f*biomassa_457-f_aceit

```

*Passo 38.* Criação da imagem [biomassa\_457\_aceit\_rc] sem o filtro mediana, reclassificada em 15 classes de biomassa.

```

REM 38
RECLASS x
I*biomassa_457_aceit*biomassa_457_aceit_rc*2*0*0*30*1*30*45*2*45*60*3*60*75*4

```

\*75\*90\*5\*90\*105\*120\*7\*120\*135\*8\*135\*150\*9\*150\*165\*180\*11\*180  
\*195\*12\*195\*210\*13\*210\*225\*14\*225\*240\*15\*240\*255\*9999

*Passo 39.* Criação da imagem [biomassa\_457-f\_acet\_rc] com aplicação do filtro mediana,

reclassificada em 14 classes de biomassa.

REM 39

RECLASS x I\*biomassa\_457-f\_acet\*biomassa\_457-

f\_acet\_rc\*2\*0\*0\*30\*1\*30\*45\*2\*45\*60\*3\*60\*75\*4\*75\*90\*5\*90\*105\*6\*105\*120\*7\*120\*135\*8\*135\*150\*9\*150\*165\*10\*165\*180\*11\*180\*195\*12\*195\*210\*13\*210\*225\*14\*225\*240\*15\*240\*255\*9999

Pré-processamento automatizado da imagem 1988

*Descrição geral:* corrigir o efeito de geometria de iluminação na imagem de 26/07:88 e

depois fazer a correção geométrica com base na imagem 1999, geometricamente corrigida.

Em seguida, intercalibrar radiometricamente a imagem 1987, como a imagem 1988

servindo como base, por ter uma atmosfera mais limpa em toda a série de imagens

compradas (seis datas). Uma vez intercalibrada (em DN) com a imagem 1988, a imagem

1987 será transformada em imagem "refletância topo-de-atmosfera", usando parâmetros

de iluminação da data de 1988 (distância Terra-Sol e ângulo zenital do Sol em 1988).

Finalmente, as quatro bandas 3,4,5, e 7 da imagem 1987 (em valores de refletância), serão

usadas em um modelo para estimar biomassa de cada pixel, através de ordenamento polar

entre duas florestas espectralmente distintas -- floresta com bambu maduro e floresta sem

bambu -- com biomassas distintas e conhecidas.

*Passo 1:* retirar pequenos efeitos de variação de iluminação nas duas imagens (1988 e

1987) de modo que todos os pixels sejam calibrados para o centro da linha de varredura. A

correção de geometria de iluminação é necessária em superfícies como florestas, pois há

maiores sombras dentro de cada pixel no lado leste de cada linha de varredura. A

intensidade deste efeito é de até 5 DN, entre as extremidades oeste e leste, dependendo da

banda

[DIST88] é uma imagem de 4100C por 4100L. Ela foi criada utilizando a rotina

DISTANCE na imagem de entrada [88anso], também de 4100C por 4100L. [88anso] é

um template feito de uma copia de qualquer banda de um recorte de 14 de cena da

imagem 1988, tal como comprada do INPE, sem correção geométrica, de modo que cada

linha de varredura começa na mesma coluna onde coluna=31. No [88aniso], a coluna 30 foi pintada de branco (DN=255) e o resto da imagem pintada de preto (DN=0). A unidade de medida é pixels, de modo que x=4100 na última coluna. Rodando o DISTANCE a partir do feature cujo DN=255, com [88aniso] como imagem de entrada, obteve-se [DIST88], na qual o valor z de cada pixel é sua distância, em pixels, da coluna 30. [DIST88] tem valor z mínimo de 0 e máximo de (4100-30).

A transformação linear requer duas operações: multiplicação e adição; portanto, uma imagem temporária é criada e pode ser deletada.

```

SCALAR x dist88*temp88_b7*3*0.0003267
SCALAR x temp88_b7*d88_b7*2*1
DELETE x c:b temp88_b7.rst
DELETE x c:b temp88_b7.rdc
SCALAR x dist88*temp88_b5*3*0.0008167
SCALAR x temp88_b5*d88_b5*2*2.5
DELETE x c:b temp88_b5.rst
DELETE x c:b temp88_b5.rdc
SCALAR x dist88*temp88_b3*3*0.0006534
SCALAR x temp88_b3*d88_b3*2*2
DELETE x c:b temp88_b3.rst
DELETE x c:b temp88_b3.rdc
SCALAR x dist88*temp88_b4*3*0.0006534
SCALAR x temp88_b4*d88_b4*2*2
DELETE x c:b temp88_b4.rst
DELETE x c:b temp88_b4.rdc

```

As quatro imagens de offset criadas acima são adicionadas às imagens originais das quatro bandas em DN, resultando na remoção dos efeitos anisotrópicos de iluminação em dossel de floresta, no sentido leste-oeste.

```

OVERLAY x 1*d88_b3*88_b3*a88_b3
OVERLAY x 1*d88_b4*88_b4*a88_b4
OVERLAY x 1*d88_b5*88_b5*a88_b5
OVERLAY x 1*d88_b7*88_b7*a88_b7

```

onde:

[d88\_b3] = imagem de correção aditiva para esta banda

[88\_b3] = banda original sem correção geométrica, recortada manualmente da cena completa começando no canto inferior esquerdo e cortando 4100 colunas e 4100 linhas

[a88\_b3] = imagem com correção anisotrópica.

**Passo 2:** neste passo, as quatro bandas da imagem 1988 serão geometricamente registradas com uma base cartográfica, que é a imagem de 1999 cena completa, adquirida com correção geométrica. Foram obtidos 25 pontos de controle dentro do 1/4 de cena recortado da imagem 1988, com um RMS médio de 0,5 pixels de distância. As linhas abaixo rodam a correção geométrica RESAMPLE com função de mapeamento cúbico e algoritmo de reamostragem vizinho mais próximo, para não alterar os valores DN. O tamanho da imagem 1988 de saída foi alterado para 4230C x 4000L, através da escolha dos valores de Xmin e Xmax, Ymin e Ymax, no sistema de coordenadas da imagem 1999. Este procedimento é necessário para garantir o mesmo recorte e perfeita sobreposição com outras datas que serão comparadas com 1988 no futuro. Assim o Xmin= -200, Xmax = 4030 (4230C); Ymin=0 Ymax=4000 (4000L).

```
RESAMPLE x I*a88_b3*88b3rs*88_99*plane*m*1.0*0*-
200*4030*0*4000*4230*4000*3*1
RESAMPLE x I*a88_b4*88b4rs*88_99*plane*m*1.0*0*-
200*4030*0*4000*4230*4000*3*1
RESAMPLE x I*a88_b5*88b5rs*88_99*plane*m*1.0*0*-
200*4030*0*4000*4230*4000*3*1
RESAMPLE x I*a88_b7*88b7rs*88_99*plane*m*1.0*0*-
200*4030*0*4000*4230*4000*3*1
```

onde:

[a88\_b3] = imagem de entrada

[88b3rs] = imagem que sofreu correção geométrica

88\_99 = arquivo texto com as coordenadas dos 25 pontos de controle.

**Passo 3:** o objetivo dos próximos passos é intercalibrar radiometricamente uma imagem captada em 1987 (imagem com alguma névoa) com a imagem de 1988, onde a atmosfera é a mais limpa de todas as cinco datas compradas do INPE. Assim, a imagem de 1987 pode ser transformada em reflectância topo-de-atmosfera, com uma atmosfera padrão 1988. Isto não retira todo o efeito atmosférico da imagem reflectância, mas "usa" a atmosfera mais limpa disponível entre o alvo e o sensor.

Uma correção de efeito de geometria de iluminação e posterior correção geométrica também foi rodada nas bandas 3,4,5 e 7 da imagem 1987 (veja outras etapas de macro), usando também como base cartográfica a imagem de 1999. Após a correção geométrica das duas imagens, 1987 e 1988, que agora devem casar perfeitamente, foi feita uma composição colorida em Adobe Photoshop das bandas 3-4-5 da imagem 1988, e também

da imagem 1987, para localizar alvos claros e escuros em cada banda. Estes materiais devem ser temporalmente invariantes, presentes tanto na imagem 1988 como na imagem 1987, para que estas duas imagens possam ser radiometricamente intercalibradas através de uma simples transformação linear, onde o valor DN88 é plotado no eixo Y e o valor DN87 é plotado no eixo X para os alvos em cada banda. Deve-se obter pelo menos dois alvos para cada banda, um escuro e outro claro. Assim, a imagem de 1987, ainda em DN, terá a aparência de ter sido captada sob as mesmas condições atmosféricas, com o mesmo sensor e a mesma intensidade de radiação incidente, que a imagem de 1988, podendo ser transformada em reflectância usando a distância Terra-Sol e o ângulo zenital do Sol, da data 1988. Os alvos escolhidos foram: DN média ponderada de 1% de pixels mais claros em pequenos polígonos de praia e capoeira = alvo claro nas bandas 3, 5, e 7 (inclui apenas areia exposta); média ponderada dos 5% de pixels mais claros nos polígonos de praia e capoeira-de-praia = alvo claro na banda 4 (inclui apenas capoeira-de-praia); DN média de todos os pixels em polígonos de floresta primária sem bambu, em platô de latossolo, quase livre de deciduidade sazonal = alvo médio nas bandas 4, 5, 7 e alvo escuro na banda 3; DN média ponderada dos 5% de pixels mais escuros em polígono de lago com pouco sedimento = alvo escuro nas bandas 4, 5, 7; o lago tem um pouco de sedimento em suspensão impedindo seu uso como alvo invariante para banda 3.

Os polígonos acima foram demarcados em layer de Adobe Photoshop, cada qual pintado com tons DN=40 para praia-capoeira-de-praia; DN=80 para lago; DN=120 para floresta primária. Estes tons muito diferentes são necessários pois Adobe não tem paleta qualitativa. O layer foi salvo como TIFF, tamanho 4230Cx4000L com o nome [features\_1-f-pc]. As linhas abaixo importam este arquivo, definindo o Xmin=-200 Xmax=4030 e Ymin=0 Ymax= 4000, que são as coordenadas de X e Y dos quatros cantos da imagem de 1988 geometricamente corrigida.

```
TIFIDRIS x 1*features_1-f-pc*features_1-f-pc*-200*4030*0*4000*plane*m*1
```

Com a importação da imagem [features\_1-f-pc] no IDRISI, os DN 40, 80 e 120 foram reclassificados em três imagens de saída (usando ASSIGN três vezes) recebendo sempre o novo valor DN=1. Assim a imagem [features\_p-c] tem o valor 1 nos polígonos de praia-capoeira, e valor zero no resto da imagem, sendo, portanto, uma imagem booleana.

```

ASSIGN x features_1-f-pc*features_p-c*praias_capoeiras
ASSIGN x features_1-f-pc*features_1*lago
ASSIGN x features_1-f-pc*features_f*floresta

```

*Passo 4:* as imagens booleanas acima, [features\_p-c], [features\_l] e [features\_f], serão multiplicadas por cada uma das bandas de 1988 para obter em cada banda, três novas imagem (3 x 4 bandas = 12 imagens) onde aparecem apenas os valores DN da área de interesse, o restante de cada imagem em cada banda tendo o valor 0. Entretanto, devido à correção de geometria de iluminação alguns pixels de água escura nas bandas da imagem 1988 e 1987 terão valores negativos, significando que o valor zero cai dentro de um intervalo de dados e não pode ser considerado como uma máscara. Para considerar o valor zero como máscara, é necessário aplicar um offset positivo de 5 DN, temporário, em todas as bandas das duas datas.

As linhas abaixo fazem o offset de +5 DN e depois fazem a multiplicação pelas três máscaras booleanas, para as bandas 5, 4, 3 e 7 da data 1988.

```

SCALAR x 88b5rs*tmp-1*1*5
OVERLAY x 3*tmp-1*features_p-c*88b5rs_off5_p-c
OVERLAY x 3*tmp-1*features_l*88b5rs_off5_l
OVERLAY x 3*tmp-1*features_f*88b5rs_off5_f

```

```

SCALAR x 88b4rs*tmp-2*1*5
OVERLAY x 3*tmp-2*features_p-c*88b4rs_off5_p-c
OVERLAY x 3*tmp-2*features_l*88b4rs_off5_l
OVERLAY x 3*tmp-2*features_f*88b4rs_off5_f

```

```

SCALAR x 88b3rs*tmp-3*1*5
OVERLAY x 3*tmp-3*features_p-c*88b3rs_off5_p-c
OVERLAY x 3*tmp-3*features_l*88b3rs_off5_l
OVERLAY x 3*tmp-3*features_f*88b3rs_off5_f

```

```

SCALAR x 88b7rs*tmp-4*1*5
OVERLAY x 3*tmp-4*features_p-c*88b7rs_off5_p-c
OVERLAY x 3*tmp-4*features_l*88b7rs_off5_l
OVERLAY x 3*tmp-4*features_f*88b7rs_off5_f

```

*Passo 5:* obter os valores das médias, ou média ponderada, de cada alvo em cada banda, lembrando que estes valores incluem um offset de -5 DN. A rotina EXTRACT no IDRISI infelizmente fornece somente médias. É necessário rodar a rotina HISTO, com as opções largura da classe desejada = 1; saída numérica; output device = arquivo; display mínimo =

1 display máximo = 255 (a claridade dos alvos é sempre menor que 255, mesmo com o offset de +5DN).

```
HISTO x 88b4rs_off5_p-c*1*2*3*1*255*hist88b4rs_off5_p-c  
HISTO x 88b4rs_off5_l*1*2*3*1*255*hist88b4rs_off5_l  
HISTO x 88b4rs_off5_f*1*2*3*1*255*hist88b4rs_off5_f
```

```
HISTO x 88b5rs_off5_p-c*1*2*3*1*255*hist88b5rs_off5_p-c  
HISTO x 88b5rs_off5_l*1*2*3*1*255*hist88b5rs_off5_l  
HISTO x 88b5rs_off5_f*1*2*3*1*255*hist88b5rs_off5_f
```

```
HISTO x 88b3rs_off5_p-c*1*2*3*1*255*hist88b3rs_off5_p-c  
HISTO x 88b3rs_off5_l*1*2*3*1*255*hist88b3rs_off5_l  
HISTO x 88b3rs_off5_f*1*2*3*1*255*hist88b3rs_off5_f
```

```
HISTO x 88b7rs_off5_p-c*1*2*3*1*255*hist88b7rs_off5_p-c  
HISTO x 88b7rs_off5_l*1*2*3*1*255*hist88b7rs_off5_l  
HISTO x 88b7rs_off5_f*1*2*3*1*255*hist88b7rs_off5_f
```

**Obs.:** após obter os valores das médias nos histogramas, estes foram levados para o Excel, lembrando de inserir uma coluna para tirar o offset +5, em todas as bandas antes de plotar o gráfico e obter as equações de regressão, utilizadas na retificação radiométrica.