

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISA DA AMAZÔNIA  
PROGRAMA EM PÓS GRADUAÇÃO EM  
CIÊNCIAS DE FLORESTAS TROPICAIS**

**ESTIMATIVA E ESPACIALIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS BIOFÍSICAS,  
UTILIZANDO DADOS DE CAMPO E DE SENSORIAMENTO REMOTO  
EM DOIS SÍTIOS DE FLORESTA TROPICAL NO ESTADO DO  
AMAZONAS, BRASIL**

**CARLOS HENRIQUE SOUZA CELES**

Manaus, Amazonas

Fevereiro, 2011

CARLOS HENRIQUE SOUZA CELES

**ESTIMATIVA E ESPACIALIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS  
BIOFÍSICAS, UTILIZANDO DADOS DE CAMPO E DE  
SENSORIAMENTO REMOTO EM DOIS SÍTIOS DE  
FLORESTA TROPICAL NO ESTADO DO AMAZONAS,  
BRASIL**

Orientador: Dr. Niro Higuchi

Dissertação apresentada ao  
Instituto Nacional de Pesquisas  
da Amazônia como parte dos  
requisitos para obtenção do título  
de Mestre em Ciências Florestais  
Tropicais - Manejo Florestal.

Manaus, Amazonas

Fevereiro, 2011

C392

Celes, Carlos Henrique Souza

Estimativa e espacialização das variáveis biofísicas, utilizando dados de campo e de sensoriamento remoto em dois sítios de floresta tropical no estado do Amazonas, Brasil / Carlos Henrique Souza Celes. --- Manaus : [s.n.], 2012.

xi, 95 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) --- INPA, Manaus, 2012

Orientador : Niro Higuchi

Área de concentração : Manejo Florestal e Silvicultura

1. Inventário florestal – Amazônia. 2. Biomassa. 3. Sensoriamento remoto. 4. Carbono. 5. Landsat (satélites). I. Título.

CDD 19. ed. 634.95

Sinopse:

Este trabalho objetiva estimar e espacializar variáveis biofísicas como densidade, área basal, volume comercial e biomassa fresca total em dois sítios florestais no estado do Amazonas. O primeiro sítio está localizado na Reserva Extrativista Rio Unini, no município de Barcelos. O outro compreende a Floresta Estadual de Maués e a Floresta Nacional de Pau Rosa, no município de Maués. Foram ajustadas equações utilizando dados de campo de inventário florestal, dados do sensor TM5 e da missão SRTM. A equação melhor ajustada foi para variável volume comercial que obteve R<sup>2</sup> de 0,29 e um erro padrão da estimativa de 22,12%.

Palavras-chave: 1. Inventário florestal – Amazônia. 2. Biomassa. 3. Sensoriamento remoto. 4. Carbono. 5. Landsat (satélites).

A minha querida família.

DEDICO

## **Agradecimentos**

Ao INPA, CNPq, ICMbio, CEUC, INPE, EMBRAPA por viabilizar do este projeto;  
Ao INCT - Madeiras da Amazônia (FAPEAM/CNPq) e CADAF pelo financiamento do projeto

Aos pesquisadores e funcionários do LMF, SIGLAB, CFT, CPST e INPA por toda ajuda.

Um agradecimento especial á toda equipe do inventário do Laboratório de Manejo Florestal do INPA;

Ao meu orientador e paraninfo Dr. Niro Higuchi que sempre ajuda na hora certo;

Ao gestor do SIGLAB Dr. Moacir Campos por nortear parte das atividades;

Aos referi do meu plano de trabalho, Dra Francisca Matos, Dra. Keylla Marra e Dr Paulo Mauricio por contribuir na construção metodológica do projeto.

A toda minha família que sinto tanta saudade;

À minha querida mamãe Maria Tereza por sempre acreditar nos seus filhos;

Ao meu pai Luiz Augusto por todo apoio na minha formação;

Aos meus irmãos Rodrigo e Leandro pelo incentivo;

À minha irmã Juliana por não saber o que seria de mim sem ela.

Um agradecimento especial aos amigos que me ajudaram na elaboração do corpo da dissertação: Niro, Mocair, Vilani, Raquel, Fernanda, Livia, Chico e Zanata.

E a todos da vizinhança pelo companheirismo nesses anos de mestrado.

## Resumo

Técnicas de sensoriamento remoto (SR), sistema de informação geográfica (SIG) e sistema de posicionamento global (GPS) são importantes ferramentas para as diversas etapas de inventários florestais, inclusive para as estimativas de biomassa. As dimensões e a complexidade nos levantamentos da vegetação na Amazônia torna o desenvolvimento dessas combinações decisiva para as estimativas das variáveis biofísicas. Este trabalho teve o intuito de consolidar uma metodologia para o mapeamento das variáveis biofísicas utilizando dados de campo e técnicas de sensoriamento remoto. Os dados de campo foram provenientes do sistema de inventário florestal contínuo (IFC) do laboratório de manejo florestal do Instituto Nacional de Pesquisa na Amazônia (LMF-INPA). Os dados do sensoriamento remoto foram do sensor TM, do satélite Landsat 5, e os do modelo digital de elevação da superfície (MDS) da missão SRTM. As duas áreas escolhidas para este estudo foram chamadas de sítios florestais (SF), nos municípios de Barcelos e Maués, no estado do Amazonas. Ao todo foram utilizado neste trabalho 58 parcelas e 76 parcela respectivamente para as estimativas das variáveis biofísicas da florestas. Foram ajustados equações para as estimativas e espacialização das variáveis biofísicas. As estimativas indicaram que o sitio florestal em Barcelo é de menor porte que o sítio florestal em Maués. A equação melhor ajustada foi para variável volume comercial que obteve  $R^2$  de 0,29 e um erro padrão da estimativa de 22,12% para o sítio floresta em maués. Comparando a espacialização pela equação com o a simples interpolação das variáveis biofísicas observa-se comportamento semelhante quando as equação ajustadas são significativas. As regiões com maiores diferença, neste caso, foram nos vazios amostrais, regiões distantes das parcelas dos inventários. Apesar dos baixos ajustes, a vantagem de ser utilizar as equações consiste na manifestação dos padrão espectrais da floresta para explicar a variação espacial da suas características biofísicas.

## Abstract

Remote sensing (RS), geographic information system (GIS) and global positioning system (GPS) are important tools for different steps of forest inventories, including estimates of biomass. The size and complexity in the surveys of the Amazonia vegetation makes the development of these combinations decisive for the estimation of biophysical variables. This work aimed to build a methodology for biophysical variables mapping using field data and remote sensing techniques. The field data were derived from continuous forest inventory system (IFC) of the forest management laboratory at the Amazonia Research National Institute (INPA-LMF). The remote sensing data were derived from TM sensor of the Landsat 5 satellite, and the surface digital elevation model (MDS) of the SRTM mission. The two areas chosen for this study were called forest sites (SF) in the municipalities of Barcelos and Maués in the state of Amazonas. In this work were used 58 and 76 plots respectively for estimate forests biophysical variables. Equations were fitted to estimate and distribute spatially the biophysical variables. Estimates indicated that the forest site Barcelos is smaller than the forest site in Maués. The best equation adjusted was to commercial volume at the forest site Maués. This one obtained a  $R^2$  equal 0.29 and estimate standard error of 22.12%. When equations are significant, the equation image was similar to the interpolation image. The regions with the largest difference in this case were in empty sample, that are distant regions of the plots. The advantage of the equations use is the manifestation of the forest spectral feature that explain the spatial variation of biophysical characteristics.

# Sumário

<b>1. Introdução.....</b>	<b>12</b>
<b>2. Revisão de Literatura.....</b>	<b>15</b>
<b>2.1. Estimativa da biomassa vegetal na Amazônia .....</b>	<b>15</b>
<b>2.2. Sensoriamento Remoto .....</b>	<b>17</b>
2.2.1. Características da radiação eletromagnética .....	17
2.2.2. Comportamento espectral da vegetação.....	17
2.2.3. Sistema Landsat TM 5.....	18
2.2.3.1. Pré-processamento: Registro, Correção radiométrica e atmosférica .....	19
2.2.4. Índice de vegetação .....	20
<b>2.3. Estimativas de biomassa com dados orbitais ópticos .....</b>	<b>21</b>
<b>3. Objetivo.....</b>	<b>24</b>
<b>3.1. Objetivo Geral .....</b>	<b>24</b>
<b>3.2. Objetivos específicos .....</b>	<b>24</b>
<b>4. Materiais e métodos.....</b>	<b>25</b>
<b>4.1. Área de estudo .....</b>	<b>25</b>
4.1.1. Reserva Extrativista Rio Unini - Sítio Florestal 1 (SF-1) Unini .....	25
4.1.2. Floresta Nacional de Nau rosa e Floresta Estadual de Maués - Sítio Florestal 2 (SF-2)-Maués.....	26
<b>4.2. Coleta dos dados .....</b>	<b>27</b>
4.2.1. Dados de campo - Inventário Florestal (IF).....	27
4.2.2. Dados espectrais - Imagens empregadas .....	30
<b>4.3. Trabalho laboratorial .....</b>	<b>30</b>
4.3.1. Processamento dos dados de campo .....	31
4.3.1.1. Tabela de dados por Sítio Florestal .....	31
4.3.1.2. Georreferenciamento das parcelas do inventário .....	32
4.3.2. Pré e processamento das imagens .....	34
4.3.2.1. Registro das imagens .....	34
4.3.2.2. Coleta dos números digitais (ND) .....	35
4.3.2.3. Correção atmosférica e radiométrica.....	36
4.3.2.4. Cálculos dos índices de vegetação .....	37
<b>4.4. Análises estatísticas .....</b>	<b>39</b>
4.4.1. Comparação das variáveis biofísicas entre os sítios florestais .....	39
4.4.2. Análise do tamanho das parcelas .....	39
4.4.3. Comparação dos dados espectrais .....	39
4.4.4. Ajuste das equações .....	40
4.4.5. Delimitação da superfície de interesse.....	40
4.4.6. Espacialização das variáveis biofísicas.....	41
4.4.7. Extrapolação das variáveis biofísicas.....	42
<b>5. Resultado.....</b>	<b>43</b>
<b>5.1. Análises estatísticas .....</b>	<b>43</b>
5.1.1. Comparação das variáveis biofísicas entre sítios .....	43
5.1.2. Composição dos indivíduos.....	44
5.1.3. Análise do tamanho das parcelas .....	45
5.1.4. Comparação das variáveis espectrais.....	47
5.1.4.1. Reflectância .....	47
5.1.4.2. Índices de vegetação .....	49
5.1.5. Análises das regressões .....	51
5.1.5.1. Regressões para o Sítio Florestal 1.....	51
5.1.5.2. Regressões para o Sítio Florestal 2.....	53



5.1.5.3. Considerações geral .....	55
<b>5.2. Espacialização .....</b>	<b>57</b>
5.2.1. Delimitação da área de interesse .....	57
5.2.2. Análise da espacialização. ....	58
5.2.2.1. Sítio Florestal 1 – Unini.....	58
5.2.2.2. Sítio Florestal – 2 Maués .....	64
5.2.3. Análise da extrapolação .....	69
<b>6. Conclusão.....</b>	<b>71</b>
<b>7. Perspectivas .....</b>	<b>72</b>
<b>8. Bibliografia .....</b>	<b>73</b>
<b>APÊNDICE - A: Tabelas das análises estatísticas.....</b>	<b>78</b>
<b>APÊNDICE - B: Mapas temáticos (IBGE) do Sítio Florestal 1 Unini.....</b>	<b>90</b>
<b>APÊNDICE - C: Mapas temáticos do Sítio Florestal 2 Maués.....</b>	<b>93</b>

## Lista de tabelas

Tabela 1: Equações de volume e Altura dominante (Hdom) e fator de correção para RESEX do Rio Unini, FLONA de Pau Rosa e FLOREST de Maués.....	29
Tabela 2: Valores de Radiância mínimo e máximo em W/(m <sup>2</sup> .sr.µm), para cada banda do Landsat TM-5 depois de Março de 2003 (Chander e Markham., 2003) .....	37
Tabela 3: Índices de vegetação utilizados neste trabalho. Tabela modificado de (Jensen, 2009). * Maioria das siglas estão em inglês. ....	38
Tabela 4: Estatística descritiva das árvores ≥ 10 cm de DAP, das variáveis número indivíduo (DENS), Área basal (AB), Volume Comercial (VOL) e Biomassa total (BIO) extrapolados para um hectare. Valores por parcela (0,25 ha) e por pixel (0,09 ha) são demonstrado no Apêndice-A, Tabela A.1. ....	44
Tabela 5: Estatística descritiva da área e comprimento das parcelas dos sítios .....	46
Tabela 6: Valores da média e incerteza das refletância de cada banda do sensor TM-5 para as imagem estudadas e valores de correlação de Pearson (R) e valor da probabilidade entre as imagens do mesmo sítio. ....	49
Tabela 7: Valores das médias e incertezas (I.C.(%)) dos índices de vegetação de cada imagem e valor de correlação de Pearson (R) e valor da probabilidade do teste t para amostras repetidas entre as imagens de mesmo sítio.....	50
Tabela 8: Equações e estimadores das regressões para a imagem de 27/07/2007 do SF – 1 Unini.....	51
Tabela 9: Equações e estimadores das regressões para a imagem de 30/09/2008 do SF - 1 Unini.....	52
Tabela 10: Equações e estimadores das regressões para a imagem de 07/07/2008 do SF - 2 Maués. ....	54
Tabela 11: Equações e estimadores das regressões para a imagem de 29/07/2010 do SF-2 Maués. ....	55
Tabela 12: Quantidade de pixel de cada mascara para as diferentes imagens.....	69
Tabela 13: Comparação do somatório dos valores dos pixels estimados pelas equações com o valor médio extrapolado e a diferença percentual entre elas para as 4 imagens dos dois sítios. ....	70

## Lista de Figuras

Figura 1: Localização dos Sítios Florestais estudados. (A) - Sítio Florestal 1 (SF-1), na RESEX Rio Unini. (B) - Sítio Florestal 2 (SF-2), na FLONA de Pau Rosa e na FLOREST de Maués. ....	27
Figura 2: Arranjo especial das parcelas em conglomerado (A) e parcelas em transectos (B) sobre a imagem do sensor TM Falsa cor RGB bandas 543, respectivamente de 07/07/2008 do SF-2, Maués.....	28
Figura 3: Fluxograma do processamento de dados. Caixas verdes representam os dado de entrada, caixas dentro de linha vermelha são os processos em <i>modelbuilder</i> , de azul produto final.....	31
Figura 5: Gráfico demonstrando o comportamento espectral médio da florestas das respectivas bandas do sensor TM, nas diferentes imagens e sítios. ....	48
Figura 6: A – Espacialização da densidade da imagem de 26/07/2007; B – Espacialização da densidade da imagem de 30/09/2008; C – Espacialização por interpolação da densidade das parcelas. ....	60
Figura 7: A – Espacialização da Área Basal (m <sup>2</sup> ) da imagem de 26/07/2007; B – Espacialização da Área Basal (m <sup>2</sup> ) da imagem de 30/09/2008; C – Espacialização por interpolação da Área Basal (m <sup>2</sup> ) das parcelas.....	61
Figura 8: A – Espacialização da Volume comercial (m <sup>3</sup> ) da imagem de 26/07/2007; B – Espacialização da Volume comercial (m <sup>3</sup> ) da imagem de 30/09/2008; C – Espacialização por interpolação da Volume comercial (m <sup>3</sup> ) das parcelas. ....	62
Figura 9: A – Espacialização da Biomassa (t) da imagem de 26/07/2007; B – Espacialização da Biomassa (t) da imagem de 30/09/2008; C – Espacialização por interpolação da Biomassa (t) das parcelas. ....	63
Figura 10: A – Espacialização da densidade da imagem de 07/07/2008; B – Espacialização da densidade da imagem de 29/07/2010; C – Espacialização por interpolação da densidade das parcelas. ....	65
Figura 11: A – Espacialização da área basal da imagem de 07/07/2008; B – Espacialização da área basal da imagem de 29/07/2010; C – Espacialização por interpolação da área basal das parcelas.....	66
Figura 12: A – Espacialização do Volume comercial da imagem de 07/07/2008; B – A cor cinza representa a falta de equação para o Volume comercial da imagem de 29/07/2010; C – Espacialização por interpolação da Volume comercial das parcelas. ....	67
Figura 13: A – Espacialização da biomassa fresca da imagem de 07/07/2008; B – Espacialização da biomassa fresca da imagem de 29/07/2010; C – Espacialização por interpolação da biomassa fresca das parcelas. ....	68

## 1. Introdução

O dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) é o gás de efeito estufa com maior abundância na atmosfera. Nos últimos anos a taxa de crescimento deste gás se tornou preocupante. Este fato tem movimentado encontros anuais de líderes políticos e científicos, como o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (sigla em inglês IPCC). Esta preocupação leva a valorização do carbono nas suas diversas formas na biosfera. A quantificação do carbono armazenado em uma floresta é importante para compreensão dos fluxos de carbono principalmente devido ao desmatamento e distúrbio (Saatchi *et al.*, 2007). Para a sua quantificação demanda a elaboração de métodos (Myneni *et al.*, 2001; Foody *et al.*, 2003; Janssens *et al.*, 2003) que sejam confiáveis, replicáveis e auditáveis para estarem de acordo com as prescrições do IPCC (2007).

O carbono estocado em um ecossistema é quantificado pelas estimativas de biomassa. Nas florestas tropicais 93% da biomassa viva acima do solo encontra-se nos indivíduos arbóreos (Silva, 2007). A biomassa pode ser estimada pelos métodos direto e indireto. O método direto é destrutivo e consiste na pesagem de todas as partes da árvore em uma determinada área, exigindo um grande esforço para sua obtenção. Os métodos indiretos são variados, entre tanto o mais consistente dos métodos é realizando por meio do inventário florestal clássico que utiliza equações de biomassa específicas para cada região e habitat. As dimensões e a complexidade nos levantamentos da vegetação na Amazônia, levam os autores que trabalham com biomassa a concordar que os métodos indiretos devem evoluir (Higuchi *et al.*, 2004), pois é impraticável pesar árvores o suficiente para se ter uma boa estimativa da biomassa por unidade de área pelo método direto.

Novas tecnologias devem ser agregadas no intuito de potencializar as atividades de inventários florestais, criando metodologias e melhorando as estimativas de biomassa e carbono. Neste contexto, o Sensoriamento Remoto (SR) combinado com Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e Sistema de Posicionamento Global (GPS) são tecnologias importantes, inclusive para as estimativas de biomassa. O desenvolvimento de uma metodologia combinando

essas tecnologias poderá também, trazer uma redução nos custos e no tempo necessário para realização de diversas etapas do inventário florestal na Amazônia.

O sensoriamento remoto na Amazônia tem utilizado principalmente sensores ópticos e as estimativas das propriedades biofísicas da floresta tem sido realizadas principalmente por meio dos índices de vegetação (Foody, 2003). Zerbine (1992), Bernardes (1998), Araújo (1999), Matos (2006) e Maciel (2009) são exemplos de trabalhos para estimar a biomassa na floresta Amazônica utilizando dados de sensores ópticos, entre os quais esta o sensor TM do satélite Landsat-5.

Zerbine (1992) tentou correlacionar a biomassa obtida pelo método direto com dados espectrais do sensor TM (Thematic Mapper) do Landsat-5, em área de floresta primária. Utilizando um número de amostra efetivo de apenas 4 unidades que é insuficiente para chegar a uma conclusão confiável. Neste caso o mais indicado é utilizar o método indireto por meio das equações alométricas para as estimativas de biomassa. Estudo de Keller (2001) demonstrou que 21 amostras de 0,25 ha são mais adequadas que parcelas maiores para uma mesma área amostrada. Recentemente, Oliveira (2010) simulou 30 vezes com diferentes tamanhos e formas de parcelas, encontrando um erro médio para a variável área basal de  $\pm 5,35\%$ , para parcelas de 0,25 ha.

Bernardes (1998) e Araujo (1999), trabalhando com o sensor TM do Landsat-5, incluíram floresta primária e secundária nas suas análises. Como estas duas fitofisionomias de floresta são espectralmente bem distintos e como a floresta secundária tem menor biomassa, foi mais fácil obter uma relação preditora. Mas isto não significa que esta mesma relação existe dentro do grupo de florestas primárias. É possível que a relação seja diferente, como mostra o trabalho de Bernardes (1998).

Matos (2006) e Maciel (2009) trabalharam somente em floresta de terra firme. Na região de Manaus, AM, Matos (2006) encontrou uma relação satisfatória entre a biomassa e variáveis espectrais do sensor TM do Landsat-5, entretanto o  $R^2$  das relações decaiu com o aumento da área amostral das parcelas. O melhor  $R^2$  de 0,55 foi para parcelas de 400m<sup>2</sup>, enquanto que para as parcelas de 900m<sup>2</sup> e 1 ha, onde foi coletados a média dos *pixels* que fazem interseção com as parcelas, o  $R^2$  foi de 0,45 e 0,24 respectivamente (Matos, 2006). Contrastando com esses resultados, Maciel (2009) obteve os melhores ajustes com  $R^2$  de 0,91 para a região

de Paragominas, PA. Apesar do trabalho de Maciel (2009) sugerir que trabalhou somente com floresta primária nessa região, 90% dessa floresta apresenta áreas degradadas pela penetração do fogo ou pela exploração seletiva (Nepstad et al., 1999). Isto pode ter favorecido na detecção da boa relação entre biomassa e as variáveis espectrais, além de ter utilizado os dados do sensor ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) do Landsat-7 que pode apresentar uma qualidade melhor do que os dados do TM do Landsat-5.

Entretanto esses trabalhos analisados são para determinadas regiões e as equações elaboradas para determinados locais, não devem ser utilizadas em outros locais ou em outras datas de aquisição das imagens (Foody, 2006). O trabalho de Saatchi et al. (2007) deixa bem claro o desafio em se calcular a biomassa para toda a bacia da floresta Amazônica por meio de dados de campo e de sensoriamento remoto. A dificuldade apontada em seu trabalho é a falta de um sistema de parcelas padronizadas e bem distribuídas para a realização das estimativas de biomassa em campo. Este fato se deve principalmente pela extensa área da floresta e regiões de difícil acesso para os levantamentos de campo. Saatchi et al. (2007) trabalharam com as diferentes fisionomias presentes na bacia e com uma extensa lista de dados provenientes do sensoriamento remoto produziu um mapa de distribuição da biomassa acima do solo para toda a bacia amazônica com *pixel* de 1 km de resolução obtendo uma acurácia maior do que 70%.

O Laboratório de Manejo Florestal (LMF) do Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia (INPA) tem realizado levantamentos das características biofísicas vegetação da floresta amazônica desde 2004, denominado de Sistema de Inventário Florestal Contínuo (IFC). Em cada inventário realizado são alocados entrono de 80 a 100 parcelas de 0,25ha. Todos os sítios estão localizados no Estado do Amazonas, Brasil. Atualmente essas parcelas totalizam mais de 1500 unidades, alocadas em áreas de floresta de terra firme. Este trabalho tem como objetivo consolidar uma metodologia para estimativa e espacialização das características biofísicas, entre elas a biomassa total, da floresta amazônica, utilizando dados de campo do IFC e dados de sensoriamento remoto.

## 2. Revisão de Literatura

### 2.1. Estimativa da biomassa vegetal na Amazônia

As estimativas de biomassa podem ser obtidas por meio de métodos direto (destrutivo) e indireto (não destrutivo). O direto é o método de derrubada e pesagem de todas as árvores em parcela fixa. Este método não fornece estimativas confiáveis, pois utiliza poucas e pequenas parcelas e são tendenciosamente escolhidas (Brown S. *et al.*, 1989).

Um dos métodos não destrutivo, as estimativas são baseadas em dados de inventários florestais executados para fins de estimativas de volume comercial. A partir desses dados de volume são obtidas as estimativas de biomassa, por meio da multiplicação do volume pela densidade média e um fator de correção para as árvores com DAP < 25 cm. Alguns outros passam diretamente dos atributos morfométricos para biomassa através das relações alométricas. Esses métodos ainda geram muitas controvérsias e produzem estimativas diferentes, mesmo utilizando o mesmo banco de dados (Brown S. *et al.*, 1989; Fearnside *et al.*, 1993; Higuchi *et al.*, 1994; Brown I.F. *et al.*, 1995)

Essas controvérsias são geradas, por um conjunto de fatores tais como a diferença nas metodologias utilizadas para estimar a altura das árvores, a utilização do fator de forma e a utilização da densidade média da madeira. A densidade da madeira varia entre espécies, sítios, indivíduos de mesma espécie, diferentes partes dos indivíduos (troncos, galhos grossos e galhos finos) e até mesmo dentro de um mesmo compartimento (o tronco) no sentido da medula para casca (Higuchi *et al.*, 2004). Atualmente, com o desenvolvimento de equações alométricas e sua validação, os dados de DAP de um inventário florestal têm sido usados para estimar a biomassa dos indivíduos, com menor incerteza (Higuchi *et al.*, 1994; Overman *et al.*, 1994; Santos, 1996; Higuchi *et al.*, 1998).

Higuchi *et al.* (1993) ajustaram um modelo de biomassa utilizando dados da Coordenação de Pesquisas em Silvicultura de Floresta Tropical - INPA coletados na Estação Experimental de Silvicultura Tropical (EEST) a 50km de Manaus e também do Departamento de Botânica - INPA. Foram testados sete diferentes modelos. Os dados foram separados em dois grupos: no primeiro as árvores com DAP de cinco a

vinte centímetros e no segundo, as com DAP maior de vinte centímetros. Após o ajuste da equação, este foi utilizado para estimar a biomassa em duas regiões distintas, sul do Pará e sul de Roraima, resultando em estimativas de biomassa fresca acima do solo de 306.8t/ha e 377.4t/ha, respectivamente (Higuchi *et al.*, 1993).

Chambers *et al.* (2000) utilizaram 315 indivíduos arbóreos no ajuste de uma equação alométrica para estimativa de biomassa acima do solo. Empregaram um modelo polinomial de segundo grau e compararam com outros modelos da literatura. Os maiores erros residuais na estimativa de biomassa ocorreram nas árvores de grande porte, provavelmente, devido a pouca representatividade de indivíduos deste grupo, que foram consideradas raras (Chambers *et al.*, 2000).

Keller *et al.* (2001) estimaram a biomassa com os dados de inventário com árvores com DAP > 35cm na Floresta Nacional do Tapajós. A biomassa foi estimada utilizando quatro equações: duas para floresta tropical úmida de Brown (1997) e duas específicas da Amazônia elaboradas por Araújo *et al.* (1999) e Carvalho *et al.* (1998). Os autores estimaram uma biomassa de 372 Mg/ha. O estudo indicou que 21 amostras de 0,25 ha são suficientes para estimar a média da biomassa com erros de +/- 20% (CI de 95%), considerando apenas os erros de amostragem, ou seja, sem considerar erros das equações alométricas. Isto corresponde a uma coeficiente de variação de ~45%, dentro da população de 21 amostras. Parcelas maiores que 0,25 ha -- cobrindo a mesma área total das 21 amostras de 0,25 ha -- tiveram erros ainda maiores. Portanto a parcela de 0,25 ha foi considerada a mais eficiente em reduzir os erros (Keller *et al.*, 2001).

As equações alométricas desenvolvidas por Silva (2007), na Estação Experimental de Silvicultura Tropical do INPA, a 50 km de Manaus, foram adotadas para este trabalho. Dados de 494 árvores com DAP > 5 cm foram utilizados para ajuste da equação de biomassa acima do solo. Destas, 131 árvores foram usadas para ajustar a equação de biomassa total e de raízes. A equação para biomassa fresca total apresentou um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,94 e o erro padrão de estimativa ( $S_{xy}(\%)$ ) igual a 3,9 para a equação de simples entrada (eq.1,  $Bio=2,7179.DAP^{1,8774}$ ) (Silva, 2007). A equação de dupla entrada com DAP e altura total acrescentou muito pouco a precisão e à confiabilidade do modelo da autora. Segundo Higuchi *et al.* (1998) modelos que consideram apenas o DAP são tão eficazes quanto aqueles de dupla entrada.



## **2.2. Sensoriamento Remoto**

### **2.2.1. Características da radiação eletromagnética**

As pesquisas nesta (área) baseiam-se na análise cuidadosa do fluxo radiante e de sua interação com o terreno, sendo possível obter informações sobre o terreno. As grandezas radiométricas ajudam os analistas a manter um controle cuidadoso dos fluxos radiantes. Entre eles podemos citar o próprio fluxo radiante ( $\Phi_\lambda$ ), que é a taxa de variação temporal do fluxo de energia em direção, através da superfície ou emergente do objeto e a Radiância ( $L_\lambda$ ) que é a intensidade por unidade de área fonte em uma determinada direção.

A equação de balanço da radiação, que estabelece a quantidade total de fluxo radiante, em um determinado comprimento de onda ( $\lambda$ ) incidente na superfície ( $\Phi_{i\lambda}$ ), deve ser balanceada com o fluxo que é refletido ( $\Phi_{\rho\lambda}$ ), que é absorvido ( $\Phi_{a\lambda}$ ) e que é transmitida ( $\Phi_{t\lambda}$ ), pela superfície. Essas definições estão baseadas na teoria de conservação de energia. A reflectância ( $\rho_\lambda$ ) é o fluxo refletido dividido pelo fluxo incidente. A estrutura e a composição química de cada objeto influenciará a reflectância diferentemente para cada comprimento de onda. A curva de reflectância espectral não fornece informação sobre a absorptância ou transmitância dos objetos.

### **2.2.2. Comportamento espectral da vegetação**

Os estudos envolvendo a reflectância espectral dos dosséis têm relacionado os diferentes padrões no espectro com as diferentes tipologias da vegetação. Para uma melhor compreensão do fenômeno de interação da radiação com a vegetação foram desenvolvido diversos modelos matemáticos, fundamentados em aspectos físicos e/ou estocásticos. Um dos primeiros autores que procurou explicar como são essas interações e também os modelos matemáticos que a descrevem foi Goel em 1988 (Ponzoni, 2001). Ele considera que a radiação incidente em uma dada vegetação é espalhada e refletida tendo sua composição e direção alteradas de forma bastante complexa. Essas alterações são causadas por fatores inerentes ao dossel e por fatores ambientais.

De todos os elementos da vegetação, a folha é o principal compartimento, considerando os processos de interação da radiação com a cobertura da vegetação.

É fato que se comparar a curva espectral de uma folha individual com a curva espectral de um dossel, a semelhança entre elas é grande. Os fatores que influenciam neste comportamento são diversos.

Na região do visível os pigmentos (média de clorofila 65%, o carotenos 6% e as xantofilas 29%) são os responsáveis pela baixa reflectância espectral. Da radiação incidente somente 10% a 20% é refletido, o restante é absorvido seletivamente pelos pigmentos. Esta energia absorvida é transformada em calor, em fluorescência e também convertida fotossinteticamente. Já na região do infravermelho próximo a absorção é relativamente pequena e há um grande espalhamento interno causado pelas interfaces da parede celular de dentro da folha (Novo, 2008) e reflete de 40% a 80%, o restante é transmitido. Na região do infravermelho médio, o comportamento espectral é dominado pela absorção da água líquida, que é mais forte em 1,45  $\mu\text{m}$  e 1,95  $\mu\text{m}$ . Infelizmente, para o sensoriamento remoto essas duas regiões de pico de absorção sofre grande interferência da água contida na atmosfera. O comportamento espectral de uma folha é função da sua composição, morfologia e estrutura interna. Como estas características são controladas geneticamente, sempre existirão diferenças no comportamento espectral entre os grupos geneticamente distintos (Ponzoni, 2001).

O aumento da quantidade de folhas verdes, do índice de área foliar (IAF) em uma determinada área de estudo, modifica o comportamento espectral da vegetação. Quanto maior for a quantidade de folhas verde menor será a reflectância na região do visível. Esta relação é quase exponencial e satura para um IAF entre 2 e 3. Na região do infravermelho próximo o aumento da reflectância é de forma quase exponencial inversa, até um limite de saturação de IAF entre 6 e 8. Há também uma dependência da forma e distribuição dos indivíduos em uma floresta e na exposição do solo ou no sombreamento, que influenciam no padrão de reflectância. Uma floresta dividida em estratos com um IAF alto pode apresentar um brilho menor, devido ao sombreamento dos estratos inferiores pelos superiores, se comparados a floresta com um único estrato, com observado em Araújo (1999)

### **2.2.3. Sistema Landsat TM 5**

O Landsat 5 foi lançado pela NASA em 1984 equipados com os sensores *Multispectral Scanner* (MSS) e *Thematic Mapper* (TM). O TM é configurado com

uma resolução espectral do sensor conta com 6 bandas na região óptica: três na região do visível e três no infravermelho. Possui resolução espacial de 30x30m, temporal de 16 dias e resolução radiométrica de 8 bits (Mather, 2004).

No Brasil o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) é o responsável pela recepção, armazenamento e processamento das imagens provenientes do Landsat 5. Esses trabalhos são realizados na estação de recepção em Cuiabá-MT e no laboratório de processamento em Cachoeira Paulista-SP. As imagens estão disponíveis para *download* na página da instituição na internet e é o maior acervo de imagens disponível para o Brasil.

### **2.2.3.1. Pré-processamento: Registro, Correção radiométrica e atmosférica**

A maioria dos satélites voltados para o estudo dos recursos naturais da Amazônia são equipados com sensores que trabalham na porção óptica do espectro eletromagnético (Foody, 2003). As imagens são usualmente fornecidas com número digital na forma matricial. Estas necessitam passar por uma série de tratamentos corretivos ou de transformação para extrair as informações de interesse. O primeiro passo é o georreferenciamento ou registro da imagem. Este processo consiste em colocar as células de uma imagem nas suas devidas posições no espaço e alinhar as linhas e colunas correspondentes (Mather, 2004). Pontos de controle são usados como referência e devem ser de fácil identificação visual com estradas, áreas urbanizadas e até naturais como áreas e rios e lagos. Este procedimento é muito importante para a acurácia do posicionamento, para o processo de mosaico de duas ou mais imagens e para integração dos dados de campo com as imagens.

Os números digitais também registram interferência da atmosfera e em muitos casos é necessário tratar essas imagens para atenuar este efeito. Esse tratamento é necessário principalmente quando se quer estudar uma área ao longo do tempo utilizando sensores multiespectrais. Neste caso, é necessário fazer a correção atmosférica porque as condições atmosféricas das diferentes datas de registro das imagens são variadas e seu efeito impossibilita a comparação entre datas, locais ou entre bandas espectrais de um satélite para outro (Zullo, 1994). No cálculo dos índices de vegetação para o estudo da vegetação a partir de imagens de sensores multiespectrais é imprescindível fazer a correção atmosférica dos números

digitais. O valor do índice pode variar em 0,2 entre a mesma imagem corrigidas e não, ocasionando uma diferença de quase 100% na estimativa da biomassa (Zullo, 1994).

#### **2.2.4. Índice de vegetação**

Alguns parâmetros biofísicos de vegetação têm sido estimados com a utilização de dados provenientes do sensoriamento remoto. Os vários índices de vegetação que são encontrados na literatura representam os esforços para medir esses parâmetros. Os índices são algoritmos que utilizam os valores de reflectância e resultam em uma medida radiométrica adimensional que indica a abundância relativa e a atividade da vegetação verde. Um índice ideal deve maximizar a sensibilidade de parâmetros biofísico, normalizar efeitos externos, como ângulo solar, ângulo de visada do sensor, efeitos atmosféricos e normalizar efeitos internos como topografia, solo e a diferença entre vegetação senescente ou presença de ramos (Jensen, 2009). Podem ser também relacionados a parâmetros biofísicos como biomassa, índice de área foliar (IAF) ou radiação fotossinteticamente ativa (APAR), para fins de validação e controle de qualidade (Running *et al.*, 1994; Huete e Justice, 1999). A maioria dos índices de vegetação baseia-se em diferenças significativas do comportamento espectral da vegetação viva, morta e do solo (Kuntschik, 2004). Quase sempre fazem uso da relação inversa que existe entre as bandas do vermelho e do infravermelho próximo que estão associadas à vegetação verde sadia. A razão simples ( $Sr$ ) entre a reflectância do infravermelho próximo pela reflectância do vermelho é considerada o primeiro índice de vegetação que foi descrito. Este índice é especialmente sensível a variação na biomassa e IAF para vegetação de grande porte, como as florestas (Huete *et al.*, 2002b).

Entre os índices de vegetação mais estudado pode-se citar o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) que tem comportamento semelhante ao  $Sr$ . Este índice é altamente correlacionado com o IAF e a biomassa. Mas quando os valores são muito altos, esta relação é fraca. Aparentemente há uma saturação do índice para valores altos de IAF e biomassa. Sua utilização é adequada para áreas de dossel, aberto ou espaçado. Este índice é importante para o monitoramento sazonal ou interanual, no desenvolvimento da vegetação e reduz alguns efeito que causam ruídos (Huete *et al.*, 2002a; Wang *et al.*, 2005). As suas desvantagens são:

a relação não-linear pode ter efeito aditivos de certos ruídos como a radiância da atmosfera, sua saturação para altos valores de IAF e biomassa (Wang *et al.*, 2005); e sua sensibilidade ao substrato da vegetação, em geral quanto mais escuro é o solo maior é o valor do índice. Foi constatado que o NDVI pode ser muito instável com a variação da cor do solo, das condições de umidade, com o efeito de função de distribuição de reflectância bidirecional, com as condições atmosféricas e a presença de material morto no próprio dossel (Qi *et al.*, 1995). O SAVI (*Soil Adjusted vegetation Index*) é um índice melhorado, que possui um fator de ajuste para o solo (Mather, 2004).

O índice de vegetação EVI do inglês “*Enhanced Vegetation index*” foi desenvolvido pelo “*MODIS Land Discipline Group*”. Ele é um tipo de NDVI modificado. Ele considera um fator de ajuste para o solo e usa dois coeficientes para usar a banda do azul para corrigir o efeito do espalhamento atmosférico por aerossóis na banda do vermelho. Este índice tem melhorado a sensibilidade em regiões com alta biomassa permitindo um melhor monitoramento por meio da diminuição das interferências do solo e pela redução da influência dos aerossóis na atmosfera (Huete *et al.*, 1997; Huete *et al.*, 2002a).

### **2.3. Estimativas de biomassa com dados orbitais ópticos**

As estimativas de parâmetros biofísicos da floresta Amazônica utilizando dados orbitais são de suma importância para a região, devido à grande dimensão da floresta que dificulta o emprego das técnicas convencionais de levantamento da vegetação. A aplicação das técnicas de sensoriamento remoto para a região tem sido essencialmente realizada com sensores ópticos, e as propriedades biofísicas têm sido estimadas por meio dos índices de vegetação (Foody *et al.*, 2003). Entretanto, segundo Asner *et al.* (2003), o NDVI tende a saturar em valores de índice de área foliar (IAF) próximos de 3-4, o que é mais baixo do que o IAF médio das florestas tropicais que é de 4,7. Este problema é agravado, segundo este autor, quando a resolução espacial aumenta de quilômetros quadrados para metros.

Zerbine (1992) foi um dos primeiros trabalhos que correlacionou as respostas espectrais dos sensores ópticos com a biomassa na região amazônica, em uma área a ser inundada por hidrelétrica, utilizando imagens Landsat 5 e HRV-Spot 1. Neste trabalho foi encontrada correlação entre o a fitomassa dos estrato

intermediário e inferior com as de cotas e com os índices de vegetação NDVI do sensor TM e do sensor HRV. O autor concluiu que é inviável o emprego das variáveis espectrais para as estimativas da biomassa do estrato superior. Posteriormente, aplicando técnicas de componentes principais para determinar as relações entre as variáveis, Zerbini *et al.* (1995) concluíram ser possível quantificar a biomassa de floresta tropical por meio das variáveis espectrais destes mesmos sensores. Mais seu número de amostra é de apenas 4, insuficiente para se chegar a uma conclusão confiável.

Araújo (1999) em um trabalho em Roraima encontrou correlações significativas entre as variáveis espectrais e fitomassa incluindo parcelas em floresta secundária e primeira. A banda 4 do sensor TM do Landsat-5 foi o que apresentou melhor correlação com a variável biomassa. Entretanto o índice de vegetação com maior correlação com a biomassa foi o SAVI (-0,88). Em uma regressão linear simples com este índice obteve um  $R^2 = 0,78$ . Araújo (1999) registrou também que uma floresta secundária possui em média um valor de índice de vegetação de 0,47 e verificou que depois de um determinado estágio avançado de crescimento, este valor tende a diminuir chegando a uma média de 0,36 para as florestas maduras (ou primárias). Isto ocorre em função da grande proporção de sombras causa pela irregularidade do dossel da floresta e muitas folhas estarem em sombra profunda da floresta e não são detectados pelo sensor orbital.

Matos (2006) também trabalhando com imagens Landsat e somente com floresta de terra firme em uma bacia no município Manaus e encontrou resultados satisfatórios, no ajuste dos modelos de biomassa e nas variáveis digitais. Entre os diversos modelos testados, Matos (2006) optou por equações com a presença da constante, que tiveram piores  $R^2$ , porém menores erro padrão da estimativa. Ela concluiu que as variáveis digitais do Landsat TM5 que apresentam as melhores correlação com a biomassa foi as bandas B2, B3, os índices de vegetação do TM (ARVI, ND54), e as imagens fração do modelos de mistura espectral (MMvegetação, MMsombra), e Índice de vegetação MSAVI a partir do sensor ikonos.

Em uma floresta no município de Paragominas, no estado do Pará, Maciel *et al.* (2007), observaram que os maiores valores de NDVI foram encontrados nas parcelas com maiores valores de biomassa e também que os menores valores de NDVI foram encontrados nas parcelas de menor biomassa. Bernardes (1998), Maciel (2002) e Maciel *et al.* (2003) também observaram esta tendência de

diminuição do valor dos índices de vegetação com o aumento da biomassa em florestas. Na matriz de correlação entre variáveis biofísicas e digitais, elaborado por Maciel *et al.* (2007) essa tendência ficou, novamente, evidenciada pelos auto coeficiente de correlação negativa, próximos de menos um. Entretanto as variáveis densidade e diversidade não apresentaram fortes correlações com nenhuma das variáveis espectrais, mostrando a independências dessas variáveis. A equação ajustada para biomassa ( $Biomassa = 1057,3239 - 1306,89.NDVI - 411,06.REF3$ ) explicou 91% ( $R^2=0,91$ ) da variação dos dados. Apesar do bom ajuste do modelo, não fica claro se Maciel *et al.* (2007) utilizaram somente floresta primárias, pois 90% das floresta de Paragominas tem sofrido com a penetração do fogo e extração seletiva de madeira (Nepstad *et al.*, 1999). As florestas em recuperação teriam maior NDVI e menor biomassa e o inverso para as florestas primarias. Isto pode favorecer a detecção de uma relação preditora entre biomassa e os atributos espectrais.

São diversos os fatores que interferem nas relações espectrais com as variáveis biofísicas. As relações encontradas são específicas de uma determinada área e imagem. Por isso, equações encontradas para um determinado sítio não devem ser utilizados para outros locais (Foody *et al.*, 2003).

### **3. Objetivo**

#### **3.1. Objetivo Geral**

Estimar e espacializar as variáveis biofísicas por meio do ajuste de modelos matemáticos utilizando dados de campo e do sensor TM, Landsat - 5 e do modelo digital de elevação da superfície, da missão SRTM, para duas áreas de floresta tropical no estado do Amazonas, Brasil.

#### **3.2. Objetivos específicos**

- 1) Comparar as características biofísicas entre dois sítios.
- 2) Testar a precisão dos pontos de GPS confrontando o comprimento das parcelas registrado pelo GPS com comprimento medido em campo de 125 m.
- 3) Analisar as variáveis espectrais puras e transformadas entre as diferentes imagens.
- 4) Ajustar as equações entre as variáveis biofísicas e espectrais puras e transformadas para os sítios.
- 5) Espacializar as variáveis biofísicas utilizando equações ajustadas e pela interpolações dos dados de campo.



## **4. Materiais e métodos**

### **4.1. Área de estudo**

#### **4.1.1. Reserva Extrativista Rio Unini - Sítio Florestal 1 (SF-1) Unini**

A Reserva Extrativista Rio Unini está Localizada no município de Barcelos, estado do Amazonas (Figura 1-A). A reserva foi constituída legalmente pelo Decreto de 21 de junho de 2006 e possui uma área total de 833.352 ha. Segundo a classificação de Veloso *et al.*, (1991), a região é predominantemente de floresta ombrófila densa de terras baixas. A floresta ombrófila densa conhecida também como floresta pluvial tropical é caracterizada pela presença de macro e mesofanerófitas, com abundância de lianas e epífitas que a diferenciam de outras formações (Veloso *et al.*, 1991). A principal característica ecológica deste tipo de formação está vinculada aos fatores climáticos de alta temperatura e alta precipitação. Área de tensão ecológica também estão presentes na região. De acordo com as observações das imagens de satélite e relatos da equipe de campo, esta área é caracterizada como uma transição de áreas arenosas e de florestas inundáveis com a Floresta Ombrófila (APÊNDICE-B, Figura B.1).

O Manual Técnico de Pedologia elaborado por Oliveira *et al.*, (2006) classifica a região como Argissolo Vermelho-Amarelo. O Argissolo é caracterizado pelo aumento do teor de argila no sentido do horizonte A ao horizonte subsuperficial B textural (Bt), com nítida distinção de cores e outras características (Oliveira *et al.*, 2006). A coloração do Bt varia do acinzentado ao avermelhado e o horizonte A apresenta-se sempre mais escurecido. A profundidade desses solos varia de pouco profundo a profundo. Este solo está presente em praticamente em todas as regiões do Brasil (Oliveira *et al.*, 2006).

O clima predominante na região de Barcelos segundo o sistema de classificação de Köppen-Geiger (Kottek *et al.*, 2006), é o “Af” Clima Equatorial. O “A” caracteriza o clima como megatérmico com temperaturas do mês mais frio maiores que 18°C. Apresenta fortes precipitações anuais superando a evaporação potencial anual e a estação do inverno é ausente. O “f” caracteriza um clima sempre úmido com ocorrência de precipitação em todos os meses do ano e inexistência de estação seca definida (Kottek *et al.*, 2006)

#### **4.1.2. Floresta Nacional de Pau rosa e Floresta Estadual de Maués - Sítio Florestal 2 (SF-2)-Maués**

O segundo Sítio Florestal estudado está localizado no município de Maués (Figura 1-B). Engloba duas unidades de conservação a Floresta nacional (FLONA) de Pau rosa e a Floresta Estadual (FLOREST) de Maués. A duas unidades é destinado a uso múltiplo sustentável dos recursos florestais e para pesquisa científica. A primeira foi criada em 2001 abrangido uma área de 827.877 hectares. A FLOREST de Maués foi criado em 2003 abrangendo com um área 438.440 ha.

A vegetação predominante é floresta ombrófila densa de terras baixas (Veloso *et al.*, 1991) (APÊNDICE-C, Figura C.1). Áreas de campinarana e de florestas inundáveis também foram observadas em campo, mas estas não são demonstradas pelos dados do IBGE. A precipitação é bem distribuída ao longo do ano, mesmo com um período de estiagem de 60 dias, definido pelo clima Am (Kottek *et al.*, 2006), a situação é de ausência de um período biologicamente seco (Veloso *et al.*, 1991).

O solo predominante é o Latossolo Amarelo Distrófico, com presença de Neossolos Quartzarênico Órtico e Argissolo Amarelo Distrófico (Oliveira *et al.*, 2006) (APÊNDICE-C Figura C.1). Os Latossolos são muito intemperizados, profundos e apresentam boa drenagem. São caracterizados por homogeneidade de cor e textura ao longo do perfil. A fração de argila predominante é a caulínica ou caulínica-oxídica e ausência de minerais primários de fácil intemperização (Oliveira *et al.*, 2006). Os teores de óxido de ferro e as diferentes colorações são os fatores que o classificam ao nível de subordem no Sistema Brasileiro de Classificação do Solo. O Latossolo amarelo é profundo, com perfis muito homogêneos, com boa drenagem e baixa fertilidade natural. Ocupa grandes extensões de terra no Baixo e Médio Amazonas e nas Zonas Úmidas Costeiras (Oliveira *et al.*, 2006). Nestes solos há uma grande variedade de cultivo e lavouras.

Segundo o sistema de Köppen-Geiger (Kottek *et al.*, 2006) o clima da região é classificado em “Am” (Monções). O “A” caracteriza o clima como megatérmico com temperaturas do mês mais frio maiores que 18°C. Apresenta fortes precipitações anuais superando a evaporação potencial anual e a estação do inverno é ausente. O “m” define um clima de monção, precipitação total anual média maior que 1500 mm

e uma estação denominado de verão com precipitações menores que 60mm (Kottek *et al.*, 2006).

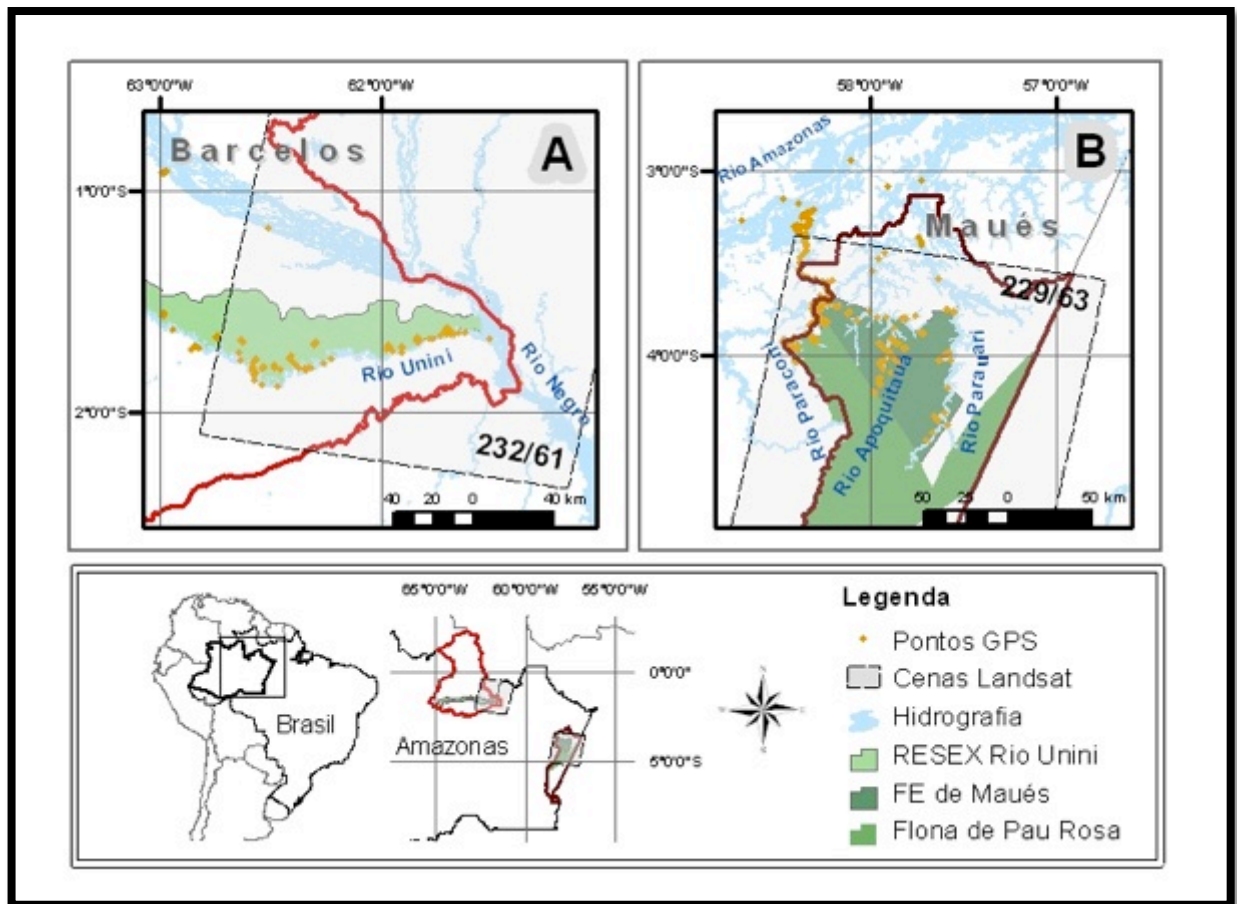


Figura 1: Localização dos Sítios Florestais estudados. (A) - Sítio Florestal 1 (SF-1), na RESEX Rio Unini. (B) - Sítio Florestal 2 (SF-2), na FLONA de Pau Rosa e na FLOREST de Maués.

## 4.2. Coleta dos dados

### 4.2.1. Dados de campo - Inventário Florestal (IF)

Os inventários florestais (IFs), referentes a este trabalho, foram realizados pelo Laboratório de Manejo Florestal (LMF) do INPA, com apoio e autorização das instituições gestoras ICMBio e o CEUC. O LMF foi responsável pela coleta, análises dos dados de campo e produção dos relatórios destes inventários. O objetivo geral dos IFs é conhecer a estrutura e o estoque de volume, biomassa e carbono das florestas. Estes inventários fazem parte do sistema de Inventário Florestal Contínuo (IFC), que começou a ser estruturado em 2004. Entretanto somente nos inventários realizados a partir de 2009 é que houve o emprego de um receptor GPS de alta

sensibilidade para localizar as parcelas dos inventários, integrando os dados de campo em um Sistema de Informação Geográfica (SIG). Foi utilizado três inventários florestais, um na RESEX Rio Unini no município de Barcelos e as outras duas na FLONA de Pau Rosa e FLOREST de Maués, ambos no município de Maués.

O método de inventário florestal aplicado nesses sítios são o sistemático, com repetição parcial das parcelas. Foram adotados dois tipos de parcelas, as temporárias e as permanentes, ambas com tamanho de 20m x 125m. As parcelas temporárias foram alocadas na forma de transectos, com intervalos entre parcelas de 200m (Figura 2-B). As parcelas permanentes, em sua maioria, foram instaladas na forma de conglomerados com intervalo de 150 metros (Figura 2-A). Uma picada é sempre aberta no meio da parcela utilizando uma bússola e trena, para marcar os limites de cada parcelas, sendo subdividindo-a em duas subparcelas de 10x125m.

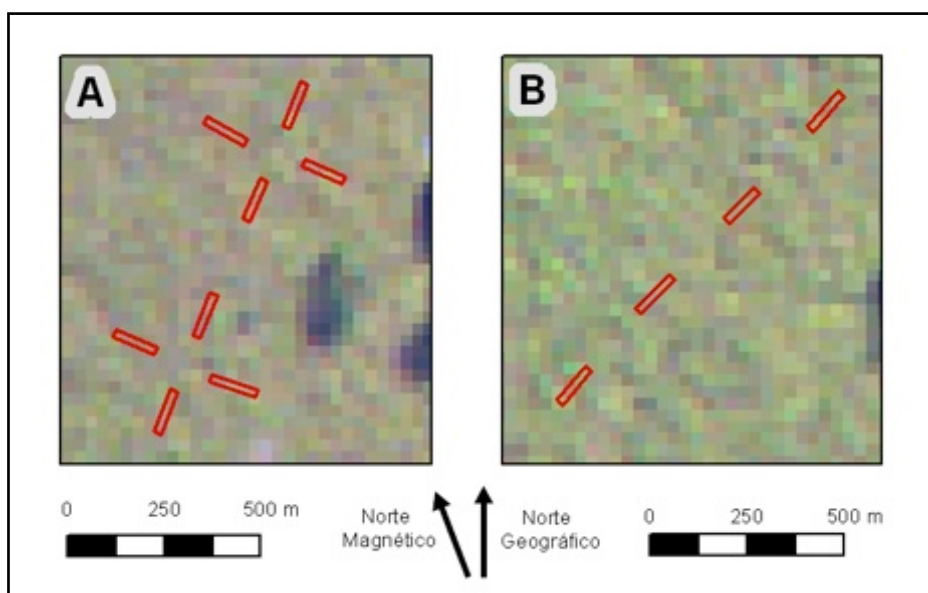


Figura 2: Arranjo especial das parcelas em conglomerado (A) e parcelas em transectos (B) sobre a imagem do sensor TM Falsa cor RGB bandas 543, respectivamente de 07/07/2008 do SF-2, Maués.

As unidades amostrais foram distribuídas de acordo com a presença de comunidades nas áreas ao longo dos rios. No total foram alocados 96 parcelas na RESEX do Rio Unini, 81 parcelas no inventário na Flona de Pau Rosa e 76 parcelas no inventário na floresta estadual de Maués. Os critérios considerados para escolha das áreas foram a acessibilidade do local, a existência de comunidades

organizadas e a presença de floresta de terra firme, tipologia dominante na Amazônia.

Dentro das parcelas de 20x125 m foram mensurados os diâmetros a altura do peito (DAPs) de todos os indivíduos arbóreos vivos, com DAP maior ou igual a 10cm. Cada árvore também foi identificada pelo seu nome popular e coletas botânicas foram realizadas para análise no herbário do INPA. Nos indivíduos das parcelas permanentes foram colocadas placas de identificação e os pontos de medida do DAP foram pintados de vermelho. Foi realizada também a cubagem de todas árvores caídas, naturalmente ou derrubada para o ajuste de uma equação volumétrica específicas para cada sítio e cálculo da altura dominante, que é utilizado para corrigir a equação de biomassa. As equações ajustadas para o volume e às alturas dominantes (Hdom) de cada inventário foram fornecidas pelo LMF (Tabela 1).

Tabela 1: Equações de volume e Altura dominante (Hdom) e fator de correção para RESEX do Rio Unini, FLONA de Pau Rosa e FLOREST de Maués.

SF	LOCAL	Equação VOL	Hdom	fc
1	RESEX Rio Unini	$VOL=0,000596 \cdot DAP^{2,105231}$	25,3	0,8846
2	FLONA de Pau Rosa	$VOL= 0,000567 \cdot DAP^{2,1462}$	30,2	1,0559
2	FLOREST Maués	$VOL= 0,000740 \cdot DAP^{2,068801}$	30,4	1,0629

Um receptor de GPS, Modelo GPSmap 60CSx da Garmim, foi empregado para registros da localização das parcelas. Coletaram-se os pontos em sistema de coordenadas geográficas e Datum SAD-69. Foram registrados dois pontos por parcelas, sendo um no início e outro no final da picada aberta dentro parcelas.

Os pontos de localização de cada parcela foram identificados escrevendo no próprio aparelho de GPS a sigla de identificação da parcela adotada pela equipe de campo. Estas apresentam a terminação “i” para o ponto do início e “f” para o ponto do fim das parcelas. Estes pontos foram utilizados para a produção dos polígonos retangulares das parcelas e georreferenciamento dos dados de campo.

#### **4.2.2. Dados espectrais - Imagens empregadas**

As imagens do sensor TM do satélite Landsat 5, que estão disponíveis gratuitamente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (DGI/INPE, 2008), foram usadas neste trabalho. A resolução espectral do sensor conta com 6 bandas na região óptica: três na região do visível e três no infravermelho. Possui resolução espacial de 30x30m, temporal de 16 dias e resolução radiométrica de 8 bits. Para a região da Amazônia, onde a ocorrência de nuvem é comum, poucas imagens podem ser realmente aproveitadas para análise. Foram selecionadas as imagens com menor proporção de nuvens, com data de aquisição mais próxima possível da data de realização do inventário florestal.

Entre as imagens que estão disponíveis foram selecionadas duas para cada Sítio. Para o SF - 1 foram utilizadas as imagens com órbita/ponto 232/61 nas datas de aquisição de 26/07/2007 e 30/09/2008 (APÊNDICE-B Figura B.2). As imagens utilizadas para o SF - 2 têm órbita/ponto 229/63 nas datas de 07/07/2008 e 29/07/2010 (APÊNDICE-C Figura C.2).

Outra fonte de dados empregada no trabalho foi o modelo digital de elevação da superfície (MDS) derivado da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) da NASA realizado em fevereiro de 2000 (USGS, 2004) . Estes dados estão disponibilizados gratuitamente pela Embrapa Relevo. Eles fornecem a altitude em metros de todo Brasil com resolução espacial de 90m. Para o SF - 1 foram utilizados a cena SA-20-X-C (APÊNDICE-B, Figura B.2) e para o SF - 2 as cenas SA-21-Y-D e SB-21-V-A (APÊNDICE-C, Figura C.2). As cenas são fornecidas em sistema de coordenadas geográficas e Datum WGS 84.

#### **4.3. Trabalho laboratorial**

Todo trabalho laboratorial foi realizado no SIGLAB do INPA. Este forneceu a estrutura necessária para o processamento dos dados, contando com um espaço físico com computador e programas necessários. Estes compreendem em um pacote de programas de SIG (ArcGIS) associados a outros programas estatísticos e até a editores de texto. O fluxograma das diferentes etapas do processamento dos dados é apresentado na Figura 3, e as etapas repetitivas do processamento dos arquivos matriciais foram semi automatizados utilizando a ferramenta Modelbuilder do Arctools Box (Arcgis).

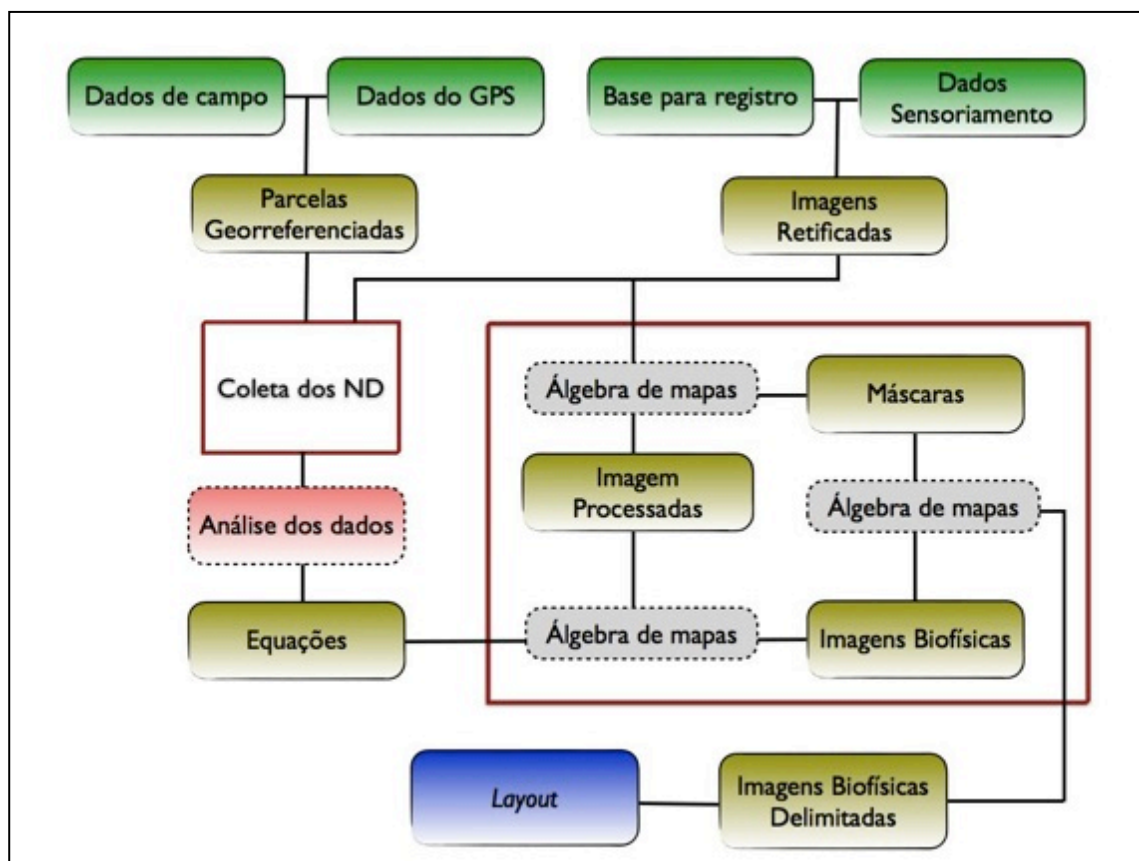


Figura 3: Fluxograma do processamento de dados. Caixas verdes representam os dados de entrada, caixas dentro de linha vermelha são os processos em *modelbuilder*, de azul produto final.

#### 4.3.1. Processamento dos dados de campo

##### 4.3.1.1. Tabela de dados por Sítio Florestal

As planilhas eletrônicas contendo os dados de campo foram fornecidas pelo LMF-INPA, já devidamente corrigidas. Em seguida foram calculados, a área da seção transversal (AB), o volume comercial (VOL) e biomassa fresca Total (BIO) de cada indivíduo arbóreo. Para o cálculo da biomassa foi utilizada a equação de simples entrada (eq.1) ajustada por Silva (2007) para região de Manaus.

A variável altura total dos indivíduos é difícil de ser mensurada em florestas tropicais e pode variar de um sítio para outro. Neste caso, a equação de simples entrada poderá subestimar ou superestimar a biomassa. Sem a possibilidade de obtenção de uma equação de simples entrada para cada sítio específico, a alternativa é corrigir a equação com um fator que envolva a altura dominante (Hdom). A equação de Silva (2007), por exemplo, foi desenvolvida na Estação ZF-2

do INPA, que tem a altura dominante estimada ( $H_{dom_{ref}}$ ) em 28,6 m. No caso de um inventário em outro sítio, recomenda-se estimar  $H_{dom_{inv}}$  utilizando as medidas de alturas total em árvores caídas, e corrigir a equação de simples entrada de Silva (2007) (eq. 1) pela razão entre  $H_{dom_{ref}}$  e  $H_{dom_{inv}}$  gerando o fator de correção ( $fc$ ) (eq.2).

O Carbono ou o  $CO_2$  equivalente possui uma relação direta com a biomassa fresca. O carbono é obtido retirando-se o teor de água (41,6%) para se obter a biomassa seca e multiplicando-se este pelo teor de Carbono (48,9%) (Silva, 2007), juntando estes dois termos obtêm-se o teor de Carbono para Biomassa Fresca (28,55%) (eq. 3). Para o cálculo do  $CO_2$  equivalente multiplica-se a quantidade de Carbono por 3,667 (eq. 4). Neste sentido as análises serão realizado para a biomassa.

Cada parcela representa unidade amostral de 0,25 hectares. Então, foram somados as variáveis AB, VOL e BIO para cada parcela e contado o número de indivíduo na parcela, variável densidade (DENS). Quando necessário os valores destas variáveis foram extrapoladas para 1 hectare ou interpolados para a área de um *pixel* de  $900m^2$ .

$$BIO = 2,7179 \times DAP^{1,8774} \times fc \quad (eq.1)$$

$$fc = \frac{H_{dom_{inv}}}{H_{dom_{ref}}} \quad (eq.2)$$

$$C = BIO \times 0,2855 \quad (eq.3)$$

$$CO_2 = C \times 3,6667 \quad (eq.4)$$

#### 4.3.1.2. Georreferenciamento das parcelas do inventário

Um aparelho receptor GPS foi utilizado para coletar a localização geográfica de diferentes tipos de informações: entre pontos de navegação dos botes a motor, comunidades visitadas e das parcelas do inventário florestal. Os pontos passaram por um revisão para identificação, correção e classificação das informações coletadas. O arquivo resultante conta com somente os pontos iniciais e finais de cada parcelas, classificados.

A tabela de atributos associada a este novo arquivo foi aberta no programa *Microsoft Excel*. A partir dos dados de latitude e longitude da tabela, foram



calculados os vértices do retângulo das parcelas (20x125m). Para tanto, foi criado um algoritmo utilizando as regras da trigonometria. Deste modo, cada ponto coletado pelo GPS deu origem a dois vértices. Os polígonos de cada parcela foram criados a partir dos vértices (Figura 4 - A).

A transformação da projeção e do Datum foi realizado no programa *Global Mapper*. As parcelas passaram de sistema de coordenadas geográficas, SAD69, para o sistema de projeção UTM, WGS84 nas respectivas zonas de cada SF. Este procedimento é de extrema importância, pois o Datum WGS84 é o mesmo das imagens base usadas para o georreferenciamento das imagens utilizadas no presente trabalho. A diferença entre os datum SAD69 e WGS84 chega a 60m (Figura 4 - B).

Nem todas as parcelas do inventário florestal foram utilizadas neste trabalho. As parcelas desconsideradas dos arquivos de dados foram aquelas que se encontravam fora das cenas do sensor TM e aquelas que não possuíam nenhum ponto de GPS coletado. A análise também foi restrita para as áreas planas, na tentativa de remover a variação dos valores de refletância associado a uma maior ou menor iluminação causado pela topografia. As parcelas em áreas com declividade menor que 3% foram mantidas. Para esta classificação foi utilizada como base a imagem da declividade elaborado a partir do MDS. Outro fator que também levou ao descarte de parcelas foi a presença de nuvens ou sua sombra nas imagens de satélite. Porém, estas só foram descartadas para as análises específicas de cada imagem selecionada neste trabalho.

Das 90 parcelas inventariadas na RESEX do Rio Unini, três tiveram um único ponto coletado com o GPS, 18 foram encontradas fora da cena utilizada para este sítio e 14 estavam sobre declividade maior ou igual a 3%. A imagem de 26/07/2007 não apresentou parcelas com cobertura de nuvens, porém a imagem de 30/09/2008 apresentou 6 parcelas com nuvem ou sua sombra. Portanto o modelo linear foi rodado com 58 parcelas na imagem de 2007 e 52 parcelas na imagem de 2008 menos as parcelas sobre níveis.

No SF-2 foram alocadas 81 parcelas no inventário na FLONA de Pau Rosa. Destas, 24 parcelas não tiveram pontos coletados e 4 tiveram somente um ponto coletado. No inventário na FLOREST de Maués, das 76 parcelas inventariadas, duas não tiveram registro de GPS e duas tiveram somente um ponto coletado. Os inventários das duas unidades de conservação foram consolidadas resultando em

131 parcelas. Destas, 55 foram descartadas por estarem em declividade maior ou igual a 3%. Das 76 parcelas restantes, 13 apresentaram cobertura de nuvem ou sombra para a data de aquisição de 07/07/2008 e 4 para a data de 29/07/2010.

Por último, calculou-se a área e o comprimento de cada parcela. O comprimento de cada parcela foi obtido a partir da área, pois a largura é fixa em 20 m. A parcela é medida em campo com um trena, marcando um comprimento de 125m e os pontos de GPS são adquiridos sempre um no início e outro no final deste comprimento. O comprimento calculado neste caso é igual a distância entre os dois pontos de GPS da cada parcelas, que deve ser próximo dos 125 m  $\pm$  os erros de precisão dos dois pontos registrado no GPS.

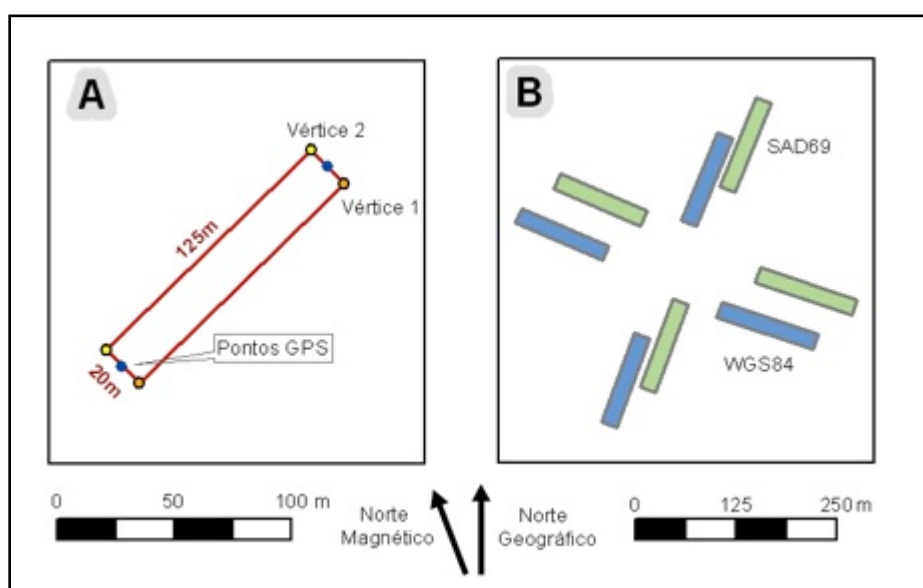


Figura 4: Desenho esquemático de dois pontos de GPS coletados para uma parcela (A) e a diferença entre os Datum SAD69 e WGS84 (B).

#### 4.3.2. Pré e processamento das imagens

##### 4.3.2.1. Registro das imagens

Depois que as imagens foram baixadas do catálogo de imagens do INPE, disponíveis em seu endereço eletrônico, estas precisam ser descompactadas e organizadas em pastas, facilitando o manuseio do material. As imagens fornecidas

no formato Geotif foram transformadas para o formato Grid, mais compatível com o ArcGIS. Estas imagens apresentaram um deslocamento de quase 1500 metros e necessitam ser geometricamente ajustadas. Foi feita a composição colorida, Falsa Cor, RGB com as bandas 5, 4, 3 respectivamente, para realçar as feições antrópicas e de florestas, facilitando a visualização dos *pixels* para a escolha dos pontos de controle.

As imagens tiveram, então, suas linhas ajustadas geometricamente a partir de um registro “imagem-imagens”. Utilizou-se o produto do Geocover, o Mosaico orto-retificado do Landsat ETM+ 2000 da NASA (2002), como base para o registro. Ele é fornecido gratuitamente no endereço (<https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid>), no formato MrSID, com projeção UTM e Datum WGS-84. As imagens utilizadas para este mosaico são referentes aos anos de 1999 e 2000. Estas imagens são fornecidas na composição colorida com a banda 2 no canal do azul, a 4 na verde e a 7 no vermelho. Apresentam *pixels* de 14,25 metros de resolução espacial e uma precisão média na posição de 50 metros (RMSE sigla em inglês para: Erro Quadrático Médio).

Quinze pontos de controle foram escolhidos para o registro de toda a cena. Destes, somente oito, ao redor da área de estudo foram utilizados para o efetivo registro da imagem. Desta maneira, foi possível diminuir o erro RMS que aumentava consideravelmente com os pontos mais distantes da área de interesse. Ainda assim, para obter um melhor resultado, foi empregado o método dos polinômios de segundo grau. Foram obtidos erros de 2,63m para a data de 26/07/2007 e de 5,96m para data de 30/09/2008 do SF-1. Para a outra área foram obtidos erros de 6,7m para data de 07/07/2008 e de 6,21m para data de 27/07/2010.

As cenas do MDS da missão SRTM não precisaram ser geometricamente corrigidas. Estas são fornecidas na mesma geometria e Datum do mosaico do LANDSAT ETM+ do Geocover. Precisou-se somente converter o sistema de coordenadas geográficas para o sistema de projeção UTM.

#### **4.3.2.2. Coleta dos números digitais (ND)**

A coleta dos números digitais foi realizado por parcela calculando a média ponderada dos valores dos pixel que fazem interseção com a parcela. Este procedimento foi realizado para cada uma das banda do sensor TM. O processo foi

semi-automatizado utilizando a ferramenta *Modelbuilder* do pacote de programas do *ArcGIS*. O resultado final foi um arquivo com os valores médios ponderado dos *pixels* de todos as banda para cada parcela por imagem utilizada no trabalho. A partir da média calculada, no programa *Excel* foram transformados os valores dos ND para reflectância e estimados os índices de vegetação.

#### 4.3.2.3. Correção atmosférica e radiométrica

O método COST descrito por Chavez (1996), aplicado por Leduc (2007) e Carreire (2009), entre outros, baseia-se no método da subtração do pixel escuro (DOS- *Dark-Object Subtraction*) para atenuar os efeitos atmosféricos (Chavez, 1988). Um objeto preto tende a ter a reflectância igual a zero. Logo, os valores de NDs registrados sobre um objeto preto é causado pela presença da atmosfera. Melhorando-o, Chavez (1996) considerou que, teoricamente, 1% da reflectância de um objeto negro é mais realista do que zero. Então 1% da possível reflectância total é retirada. (ARSC, 2002). Este modelo de correção atmosférica é combinado com a calibração radiométrica e são realizados em uma única sequência de equação (eq.5-9).

$$L_{\lambda,sat} = LMIN_{\lambda} + ND_{\lambda} \times (LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}) / ND_{Max} \quad (eq.5)$$

$$L_{\lambda,MIN} = LMIN_{\lambda} + ND_{\lambda,OE} \times (LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}) / ND_{Max} \quad (eq.6)$$

$$L_{\lambda,1\%} = 0,01 \times d^2 \times \cos^2 \theta / (\pi \times ESUN_{\lambda}) \quad (eq.7)$$

$$L_{\lambda,OE} = L_{\lambda,MIN} - L_{\lambda,1\%} \quad (eq.8)$$

$$\rho_{\lambda} = \pi \times d^2 \times (L_{\lambda,SAT} - L_{\lambda,OE}) / (ESUN_{\lambda} \times \cos^2 \theta) \quad (eq.9)$$

Onde:  $\lambda$  - comprimento de onda,  $L_{\lambda,OE}$  - Radiância do objeto escuro,  $L_{\lambda,SAT}$  - Radiância do numero digital da imagem,  $L_{\lambda,1\%}$  - Radiância de 1% da radiação máxima possível,  $L_{\lambda,min}$  - Radiância mínima do objeto escuro,  $\rho_{\lambda}$  - Reflectância com correção atmosférica.

O modelo utiliza como variáveis independentes: o mínimo ND do objeto escuro ( $ND_{\lambda,OE}$ ), o ângulo de elevação do sol ( $\theta$ ) e a distância do sol a terra ( $d$ ), os valores de radiância máximo ( $LMAX_{\lambda}$ ) e mínimo ( $LMIN_{\lambda}$ ) (Tabela 2 )de cada banda do sensor TM e a média da radiação solar ( $ESUN_{\lambda}$ ). Neste trabalho optou-se pela

utilização desse método devido a sua simplicidade, a presença de grandes corpos de água preta nas cenas estudadas.

Tabela 2: Valores de Radiância mínimo e máximo em  $W/(m^2.sr.\mu m)$ , para cada banda do Landsat TM-5 depois de Março de 2003 (Chander e Markham., 2003)

<b>Bandas</b>	<b>LMIN</b>	<b>LMAX</b>
1	-1,52	193,0
2	-2,84	365,0
3	-1,17	264,0
4	-1.51	221,0
5	-0.37	30,2
7	-0,15	16,5

#### **4.3.2.4. Cálculos dos índices de vegetação**

A maioria dos índices de vegetação baseia-se em diferenças significativas no comportamento espectral da vegetação viva, morta e do solo (Kuntschik, 2004). Quase sempre fazem uso da relação inversa que existe entre as bandas do vermelho e do infravermelho próximo que está associada à vegetação viva (Jensen, 2009). Segue abaixo (Tabela 3) os sete índices de vegetação que foram usados no trabalho e suas respectivas fórmulas.

Tabela 3: Índices de vegetação utilizados neste trabalho. Tabela modificado de (Jensen, 2009). \* Maioria das siglas estão em inglês.

Nome (sigla*)	Equações	Referências
Razão simples (SR)	$SR = REF4/REF3$	Brith e McVey, 1968 Colombo et al., 2003 Schlerf et al., 2005
Índice de Vegetação por diferença normalizada (NDVI)	$NDVI = (REF4 - REF3) / (REF4 + REF3)$	Rouse et al., 1974 Deering et al., 1975 Huete et al., 2002a Schlerf et al., 2005
Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI)	$SAVI = (1 + 0,5) * (REF4 - REF3) / (REF4 + REF3 + 0,5)$	Huete, 1988 Huete e liu, 1994 Running et al., 1994 Qi et al., 1995
Índice de Vegetação realçado (EVI)	$EVI = 2,5 * [(REF4 - REF3) / (REF4 + 6 * REF3 + 7,5 * REF1 + 1)]$	Huete et al., 1997 Huete e Justice, 1999 Huete et al., 2002a TBRS, 2003
Índice de Umidade por Diferença Normalizada (NDWI)	$NDWI = (REF4 - REF5) / (REF4 + REF5)$	Hardisky et al., 1983 Gao, 1996 Jackson et al., 2004 Galvão et al., 2005 Jin e Sader, 2005
Índice de Vegetação Triangular (TVI)	$TVI = 0,5(120(REF4 - REF2)) - 200(REF3 - REF2)$	Broge e Leblanc, 2000
Transformação Kauth-Thomas Brightness (B)	$B = 0,2909REF1 + 0,493REF2 + 0,4806REF3 + 0,5568REF4 + 0,4438REF5 + 0,1706REF7$	Crist e Kauth, 1986 Kauth et al., 1979 Lunett et al., 2002 Rogan et al., 2002
Greenness (G)	$G = -0,2728REF1 - 0,2174REF2 - 0,5508REF3 + 0,7221REF4 + 0,0733REF5 - 0,1648REF7$	Jin e Sader., 2005 Schlerf et al., 2005
Wetness (W)	$W = 0,1446REF1 + 0,1761REF2 + 0,3322REF3 + 0,3396REF4 - 0,6210REF5 - 0,4186REF7$	

#### **4.4. Análises estatísticas**

##### **4.4.1. Comparação das variáveis biofísicas entre os sítios florestais**

Utilizou-se da estatística descritiva para caracterizar as variáveis para cada sítio florestal (SF). Foram estimados: média aritmética, desvio padrão, máximo e mínimo, intervalo de confiança (95%) e o erro ou a incerteza para cada variável. O teste-z foi aplicado para comparar as médias das variáveis biofísicas entre SF.

Realizou-se uma breve descrição das cinco espécies mais frequentes em cada inventário. Nesta descrição foi considerado todo a planilha de dados. Apesar de não ter sido feita nenhuma análise de diversidade assumiu-se que exista diferença na composição florística no inventário florestal ou sítio.

##### **4.4.2. Análise do tamanho das parcelas**

No teste da precisão dos pontos registrado com o GPS foram removidas as parcelas que tiveram somente um ponto de GPS coletado. Utilizou-se também do teste-z para comparar as médias do comprimento das parcelas pelo GPS entre SF com o comprimento esperado da parcela igual a 125 m medido em campo com uma trena. O teste-z de uma entrada solicita como parâmetros a coluna contendo o comprimento de cada parcela com o GPS, a média esperada (no caso 125m) e o desvio padrão para a média esperada. Para este foi adotado o mesmo desvio padrão da amostragem do comprimento com o GPS.

##### **4.4.3. Comparação dos dados espectrais**

A comparação foi realizada entre as imagens de duas datas diferentes, do mesmo SF. A análise não considerou as parcelas sob nuvem ou sua sombra de todas as imagens. Os dados espectrais foram separados em dois grupos nos valores de reflectância e os índices de vegetação, para uma análise mais criteriosa. Por se tratar de amostra da mesma área em épocas do ano diferente o teste de comparação de média deve considerar a dependência espacial da amostragem; neste caso foi adotado o teste - t para testar amostras repetidas. A hipótese nula considera que a correção atmosférica é suficiente para tornar iguais os valores

médios da reflectância entre imagens de mesmo sítio. Grandes mudanças na estrutura da floresta não são esperadas no intervalo entre datas. Também foi analisado a correlação de Pearson. As correlações entre as variáveis espectrais das imagens indicam o mesmo tipo de comportamento que é refletido no ajuste das equações para as diferentes imagens do mesmo sítio.

#### **4.4.4. Ajuste das equações**

As tabelas contendo os valores das variáveis biofísicas e espectrais para cada uma das 4 imagens utilizado no estudo foram importadas para o programa Systat, a fim de proceder ao ajuste das equações por meio da regressão linear múltipla. A metodologia *Stepwise backward* foi usada para escolha das variáveis independentes mais significativas para as equações. Os valores de tolerância indicam a multicolinearidade entre as variáveis independentes. As variáveis dependentes ou resposta foram a Densidade (DENS), Área Basal (AB), Volume comercial (VOL) e Biomassa Fresca Total (BIO), interpolados para a  $900\text{m}^2$  (área do *pixel*). As variáveis independentes foram os valores de altitude ou cota derivado do MDS (SRTM), os valores de reflectância de cada Banda (REF<sub>i</sub>, *i* é o número da banda) e os índices de vegetação (SR, NDVI, SAVI, EVI, NDWI, TVI, B, G, W). Os parâmetros para seleção das variáveis independentes adotados foram: valor de tolerância maior que 0,001 e valor-p menor que 0,15 para manutenção das variáveis representativas. Na análise do ajuste, verificou-se a distribuição dos resíduos, a significância da regressão, o  $R^2$ , o erro padrão da estimativa absoluto e relativo, a significância e a tolerância de cada variável independente escolhido para a equação.

#### **4.4.5. Delimitação da superfície de interesse.**

A delimitação da área de interesse ou área de abrangência da equação considerou 6 máscaras booleanas. As três primeiras máscaras foram elaboradas a partir do MDS do SRTM. A primeira delimita a bacia hidrográfica tendo como exutório a foz dos principais rios. Quando o inventário foi realizado em somente uma margem do rio a outra foi excluída da área de interesse. A segunda foi delimitada pela amplitude dos valores de altitude das parcelas e a terceira delimitando a declividade menor que 3%. A multiplicação destas três imagens booleanas gerou a máscara do relevo que foi utilizada nas duas imagens de cada SF.



Outras três máscaras booleanas foram geradas a partir dos valores máximo e mínimo dos números digitais coletado para cada parcelas para uma das banda, no caso a 3, 4 e 5 e a multiplicação delas gerou a mascara espectral. Estas bandas foram escolhidas, pois a maioria dos índices faz uso da diferença entre o infravermelho próximo (REF4) e o vermelho (REF3), por que são as bandas que melhor diferenciam a vegetação viva das outras feições, além de serem as bandas com menor influência do efeito da atmosfera quando comparados com a banda 1 e 2. Cada uma das 4 imagens utilizadas no presente trabalho tiveram usas especificas imagens booleanas possuindo diferentes números de *pixels*. Multiplicando a mascara do relevo com a espectral obteve a mascara final para ser utilizada em cada imagem.

#### **4.4.6. Espacialização das variáveis biofísicas**

A primeira forma de realizar a espacialização de uma variável é gerar uma imagem a partir da interpolação dos valores dos dados de campo. Este é um processo muito eficiente para a espacialização dos dados amostrais em uma imagem, mas necessita de vários pontos bem distribuídos de forma homogênea por todo área de interesse. Infelizmente devido a grande dificuldade logística dos inventários florestais está forma de distribuição das parcelas é muito difícil de ser alcançada. Outra limitação deste método é a utilização dos pontos extremos para delimitar a área de extrapolação.

A segunda forma é a aplicação de equações ajustadas neste trabalho. Deste modo, é possível realizar uma extrapolação com base em parâmetros e erros conhecidos. As equações ajustadas separadamente para cada data de imagem foram aplicadas obtendo-se a superfície das variáveis biofísicas específica de cada imagem. Utilizando as máscara foi delimitado a área de abrangência. Realizou-se uma análise visual entre cada uma das imagens das variáveis biofísicas.

As imagens foram classificadas de acordo com os parâmetros estatísticos. Foram adotadas 6 classes sendo elas: menor que o valor mais baixo encontrado, deste para limite inferior do IC, deste até a média, da média para o limite superior da IC, deste até o maior valor encontrado, e maior que este ultimo. Para melhor visualizar as classes foram adotados tons de azul para os valores abaixo da média e

tons de verde para os valores acima da média e tons de vermelho para os *pixels* fora dos valores mais baixo e alto dos dados de entrada nos modelos lineares.

As 2 imagens geradas pela aplicação das equações para cada variável estrutural de cada sitio foi confrontada com a imagens da interpolação das mesmas variável estrutural. Vale ressaltar que cada método possui suas limitações. As imagens da interpolação são mais representativas quanto mais próximas dos pontos amostrais. Desta maneira afirmações e comparações com a imagem de interpolação são válidas próximo das parcelas.

#### **4.4.7. Extrapolação das variáveis biofísicas**

Existem algumas formas de se realizar a extrapolação dos dados coletados para uma área de interesse. A primeira e mais simples é a multiplicação da média pela área. A dificuldade deste método consiste em saber a real área para efetuar está multiplicação. Usar a área do memorial descritivo das UCs, vai superestimar as variáveis extrapoladas, porque está não distingue massa d'água, área antropizadas e as diferentes fisionomias de vegetação. Utilizar a área dos dados de vegetação disponíveis melhoraria estas estimativas, porém a imprecisão desses dados secundários é muito evidente. Logo para extrapolação e sua comparação foram adotados dois procedimentos: 1) multiplicação das médias pela quantidade de *pixels* da máscara final de cada imagens especifica de cada SF. 2) somatórios dos valores dos *pixels* referentes a cada imagem resultado da aplicação das equações também delimitadas pela máscara final.

## 5. Resultado

### 5.1. Análises estatísticas

#### 5.1.1. Comparação das variáveis biofísicas entre sítios

A estatística descritiva das variáveis biofísicas é apresentada na Tabela 4. Observa-se que o SF-1 Unini possui a média da densidade de indivíduos maior que o SF-2 Maués, com alta significância ( $p = 0,000041$ ). A área basal apresentou médias bastante próximas entre os sítios, estatisticamente não se diferem ( $p = 0,3948$ ). A maior média do volume e biomassa foi para SF-2 Maués. Porém, na comparação entre as médias, o volume demonstrou-se com fraco sinal significativo ( $p = 0,0718$ ). Para a biomassa, a diferença foi altamente significativa ( $p = 0,000015$ ) (Apêndice – A, Tabela A.2). A floresta em Maués possui um menor número indivíduos de maior porte quando comparada com a floresta do Rio Unini. Outro fator que corrobora com os resultados encontrados é a maior altura dominante nos dois inventários em Maués (30,2 e 30,4) quando comparadas a altura dominante na região de Manaus (28,6) e com inventário na RESEX do Rio Unini (25,3).

A altura dominante de uma floresta entre outros fatores expressa a qualidade de sítio. Quanto maior a  $H_{dom}$  maior será a qualidade de sítio. Isto reflete diretamente na maior produção de biomassa, uma vez que a produtividade do sítio em termos de área basal é semelhante. Logo, a  $H_{dom}$  é utilizada para corrigir a equação de biomassa quando esta é aplicada em outro sítio.

A altura dominante encontrada no SF-1 é 11,54% menor que o sítio de referência localizado em Manaus, enquanto que o SF-2 é 5,59% a 6,29% maior. A altura dominante utilizada no cálculo do fator de correção da biomassa proporcionou o aumento da diferença das médias de biomassa dos sítios em questão, tornando esta diferença significativa. Uma comparação efetiva da biomassa seria aplicando equações elaboradas especificamente para cada sítio, assim como foi realizado para o volume comercial.

Os Latossolos na região de Maués são altamente intemperizados, profundos, bem estruturados e drenados. Isto proporciona uma vantagem na manutenção de uma vegetação com um porte maior que a encontrada sobre os Argissolos do Unini. Estes são solos menos intemperizados e estruturados que os Latossolos. O Clima de Maués também permite uma maior iluminação no período da

estiagem das chuvas. Este período não compromete a disponibilidade de água no solo para a vegetação e fornece uma maior quantidade de energia devido ao menor sombreamento causado pela presença das nuvens. Os fatores edafoclimáticos devem contribuir para a manutenção do maior porte da floresta em Maués.

Tabela 4: Estatística descritiva das árvores  $\geq 10$  cm de DAP, das variáveis número indivíduo (DENS), Área basal (AB), Volume Comercial (VOL) e Biomassa total (BIO) extrapolados para um hectare. Valores por parcela (0,25 ha) e por pixel (0,09 ha) são demonstrado no Apêndice-A, Tabela A.1.

	SF-1 – Unini (n = 58)				SF-2 – Maués (n =76)			
	DENS (n)	AB (m <sup>2</sup> )	VOL (m3)	BIO (Mg)	DENS (n)	AB (m <sup>2</sup> )	VOL (m3)	BIO (Mg)
Média	527	27,0	300,2	533,3	480	26,2	322,3	614,4
Des.Pad.	69,23	5,13	62,30	92,15	59,70	5,880	80,37	124,7
Mínimo	388	13,8	146,5	288,2	348	14,2	169,3	351,1
Máximo	684	46,1	544,3	855,9	660	43,3	565,4	975,2
I.C. (95%)	± 17,8	± 1,32	± 16,03	± 23,71	± 13,42	± 1,32	± 18,07	± 28,03
Incerteza	± 3,38%	± 4,90%	± 5,34%	± 4,45%	± 2,79%	± 5,05%	± 5,61%	± 4,56%

Obs: Valores por parcela (0,25 ha) e por pixel (0,09 ha) são demonstrado no Apêndice-A, Tabela A.1

### 5.1.2. Composição dos indivíduos

O inventário na RESEX do Rio Unini registrou 14.555 indivíduos, sendo 1000 palmeiras, 894 árvores mortas em pé ou caídas e 12.661 indivíduos arbóreos vivos. As espécies arbóreas encontradas na área foram identificadas, no campo, pelo nome popular, sendo constatados 278 nomes. As cinco espécies que mais ocorreram na área foram breu vermelho com 1.328 representantes, ucuuba punã com 902, pau banana com 861, matamatá amarelo com 692 e a muiratinga com 494 indivíduos.

No inventário na FLONA de Pau Rosa foram registrados um total de 10142 indivíduos. Destes, 396 são palmeiras, 224 mortas e 9.522 árvores vivas. Dos 294 nomes populares das espécies, os cinco maiores representantes foram o matamatá

amarelo com 763, breu vermelho com 623, abiurana com 425, muiratinga com 403 e o araçá bravo com 313 indivíduos.

No inventário realizado na FLOREST de Maués, foram registrados 10.098 indivíduos. Sendo 490 árvores mortas em pé ou caídas, 333 palmeiras e 9.275 árvores vivas. As espécies mais representativas da área foram breu vermelho e matamatá amarelo ambos com 768 representantes, seguidos da abiurana com 420, muiratinga com 315 e louro preto com 242 indivíduos.

A dominância e a distribuição espacial das espécies podem influenciar na resposta espectral da área. Trabalho de Nelson (2006), que analisa diferentes tipos de perturbações naturais e indígenas na Amazônia, exemplifica como as áreas dominadas por babaçu possuem uma resposta espectral mais escura devido a sombra dos espaços entre as folhas e entre os indivíduos. Assim como a presença de clareiras recente, onde a maior proporção de matéria orgânica morta torna o albedo da área mais escura. Clareiras não tão recentes (antigas), onde a vegetação é vigorosa e mais uniforme aumenta o brilho. A presença de árvores emergentes, com atividade fotossintética menor e sombra proporcionada pela copa das árvores torna o *pixel* mais escuro. Ou mesmo em função da presença de árvores mortas em pé ou sem folhas que também diminui o brilho do *pixel*. Porém, a análise da influência de cada um desses fatores ainda não está bem clara. A hipótese deste trabalho é que a maior influência seria proporcionada pela presença das árvores emergentes e das áreas de clareiras antigas.

### **5.1.3. Análise do tamanho das parcelas**

Os valores da média do comprimento para as parcelas do SF-1 foi de 121,84 m (I.C. de  $\pm 2,03$  m e incerteza de 1,67%) e para o SF-2 a média foi de 120,79 m (I.C. de  $\pm 1,78$ , e incerteza de 1,48%). Apesar da grande amplitude dos dados, chegando á 25 metros, aproximadamente 20% em relação a média, o maior IC é pequeno de  $\pm 2,03$  m representando  $\pm 1,6\%$  da média (Tabela 5). Poucas amostras apresentaram valores tão discrepantes, estes representam os picos de oscilação do erro do GPS e as baixas incertezas representam boa precisão dos dados coletados.

Tabela 5: Estatística descritiva da área e comprimento das parcelas dos sítios

	SF 1 – Unini (n = 56)		SF 2 – Maués (n = 73)	
	Área (m <sup>2</sup> )	Comp (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Comp (m)
Média	2436,84	121,84	2415,73	120,79
Desvio padrão	154,98	7,75	155,56	7,78
Mínimo	1901,91	95,10	2104,40	105,22
Máximo	2799,75	139,99	2936,11	146,81
IC(95%)	± 40,59	± 2,03	± 35,68	± 1,78
Incerteza	± 1,67%	± 1,67%	± 1,48%	± 1,48%

Segundo Figueiredo *et al.* (2008), quando as coordenadas de árvores são tomadas com um receptor GPS de alta sensibilidade em qualquer posição (na horizontal ou vertical, de frente ou de costa para a árvores) pode-se alcançar um erro médio de 3,65 m para 30 árvores. Para o cálculo do comprimento foram utilizados dois pontos do GPS por parcela. Supondo um erro aleatório a tendência é de aumentar a média do comprimento. Entretanto, a média do comprimento foi significativamente menor que 125 m.

O teste z (Apêndice - A, Tabela A.3) entre as médias dos comprimentos das parcelas entre os sítios, não rejeita a hipótese da nulidade ( $p = 0,4441$ ). Isto demonstra que mesmo em época e locais diferentes os resultados da coleta de ponto com o GPS foram similares. O resultado da comparação entre o comprimento medido pelo GPS e o comprimento esperado da parcela mostra para o SF-1 e SF-2 que há diferença altamente significativa entre as média amostral e o média esperada (Valor-p = 0,0021 e 0,000003, respectivamente) com alto poder do teste (85% e 99,7%).

A diferença entre os comprimentos chega a 3,76 metros, o equivalente 3,1% da média esperada. Devido a significância da diferença entre o comprimento é necessário uma análise mais criteriosa sobre o assunto. Aqui são levantadas algumas questões que podem estar agindo em conjunto para promover esta diferença.

A declividade do terreno é um desses fatores. Como a parcela é marcada com uma trena, esta é feita seguindo a declividade terreno e a mensuração do comprimento pelo GPS é realizado no sentido horizontal do terreno. A retiradas das

parcelas com alta declividade foi também uma tentativa de diminuir este efeito. Mesmo assim, declividade de 1 e 2% alteram o comprimento horizontal na mesma proporção. Entretanto, o sentido do comprimento das parcelas está distribuído de forma aleatória sobre a declividade. Mesmo considerando somente as parcelas com declividade zero, a média não passa dos 121,5 metros.

Outros fatores que podem estar afetando são os erros sistemáticos na coleta das coordenadas com o receptor GPS. Devido ao recente uso do GPS para localização das parcelas, a metodologia de coleta ainda se encontra em desenvolvimento. Erros sistemáticos na marcação da parcela em campo com treina por causa da dificuldade de locomoção na floresta também contribuem para esta diferença.

Vale ressaltar que a maioria dos fatores citados só contribui para a diminuição do comprimento obtido com treina, nunca para o aumento. A possibilidade de outras causas, ainda não foi descartada. Uma pequena diferença percentual na extrapolação de um variável para áreas extensas pode resultar em milhares de toneladas de carbono a menos. Isto para o mercado de carbono pode representar uma desvalorização do estoque da floresta. Por tanto é importante a preocupação em ajustar as estimativas de biomassa para o terreno.

#### **5.1.4. Comparação das variáveis espectrais**

##### **5.1.4.1. Reflectância**

A transformação dos números digitais para valores de reflectância utilizando o método Cost atenuou parte do efeito atmosférico. O gráfico dos valores de reflectância apresentou comportamento esperado para uma região de floresta (Figura 5). De maneira geral os valores foram baixos na região do visível, com um leve pico na região do verde (REF2). A região do infravermelho obteve valores mais altos, decaindo do infravermelho próximo (REF4) para o médio mais distante (REF7). As reflectâncias médias com suas respectivas incertezas para cada banda cada imagem e sítio são apresentados na Tabela 6.

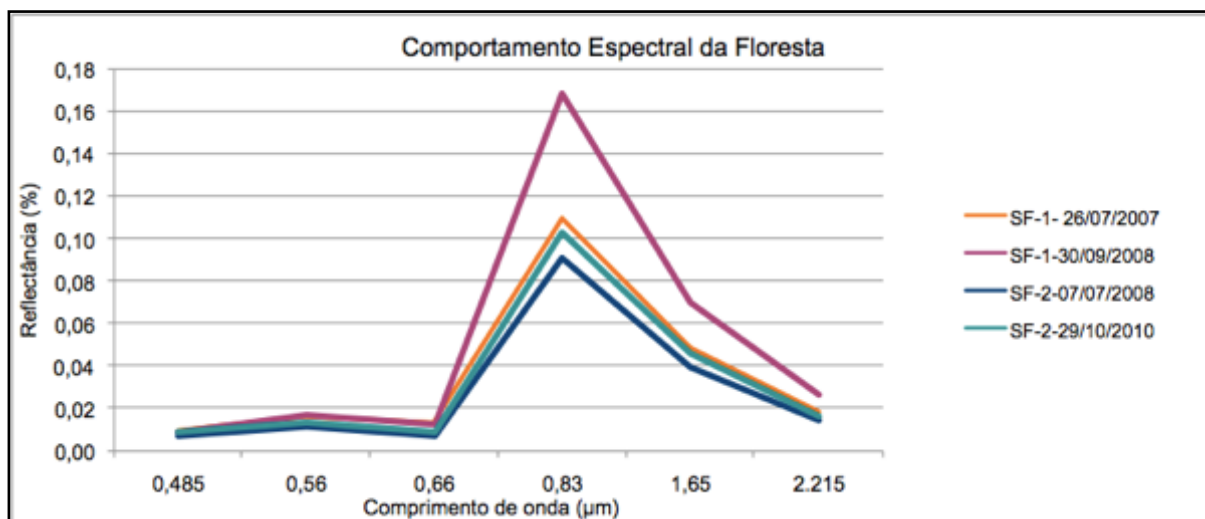


Figura 5: Gráfico demonstrando o comportamento espectral médio da florestas das respectivas bandas do sensor TM, nas diferentes imagens e sítios.

Na comparação entre os valores de reflectância das diferentes bandas entre uma data e sítio, na maioria dos casos mostrou-se altamente significativo ( $p < 0,00001$ ) somente entre as variáveis REF3 do SF-1 que apresentaram uma probabilidade de 0,57. Entretanto, as correlações entre os valores de REF1 e de REF5, foram moderadamente alto (0,77 e 0,75, respectivamente) enquanto, para REF4 e REF7 foram medianas (0,55 e 0,53, respectivamente) e para REF2 e REF3 as correlações foram mais baixas (0,34 e 0,4 respectivamente). O desempenho das correlações para o SF-2 foi pior. Os melhores foram para as variáveis REF4 e REF5 com valores moderados (0,70 e 0,61, respectivamente), o REF1 apresentou valor médio (0,50) e para as variáveis REF2, REF3 e REF7 foram as mais baixas (0,16; 0,024 e 0,24, respectivamente). Estas diferença no Teste T e baixas correlações podem ser atribuídos as diferentes condições atmosféricas em cada data de aquisição das imagens.



Tabela 6: Valores da média e incerteza das refletância de cada banda do sensor TM-5 para as imagem estudadas e valores de correlação de Pearson (R) e valor da probabilidade entre as imagens do mesmo sítio.

		REF1	REF2	REF3	REF4	REF5	REF7
SF-1 2007	Média	0,97%	1,55%	1,25%	10,97%	4,78%	1,76%
	I.C.(%)	±2,73	±1,51	±1,53	±0,93	±1,10	±1,98
	R	0,7733	0,3448	0,4184	0,5571	0,7413	0,5365
	Teste t (P)	0,00000	0,000000	0,575037	0,000000	0,000000	0,000000
SF-1 2008	Média	0,89%	1,66%	1,24%	16,84%	6,93%	2,64%
	I.C.(%)	±4,24	±1,62	±1,65	±1,29	±1,52	±2,01
SF-2 2008	Média	0,72%	1,15%	0,86%	9,10%	3,97%	1,45%
	I.C.(%)	±2,77	±1,43	±1,82	±1,26	±1,25	±2,02
	R	0,5053	0,1619	0,0243	0,7016	0,6087	0,2484
	Teste t (P)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
SF-2 2010	Média	0,90%	1,37%	1,02%	10,30%	4,64%	1,67%
	I.C.(%)	±2,23	±1,28	±1,26	±1,20	±1,09	±1,67

Obs: Em cinza são valores bem acima do normal.

Fica claro que o método Cost atenua os efeitos da atmosfera, porém não é eficiente para comparar os valores de reflectância da mesma área em diferentes datas de aquisição. É considerada uma metodologia simples dependendo do tipo de aplicação que requer alta precisão da reflectância da superfície (Lu *et al.*, 2002). O ajuste de um modelo preditivo de biomassa em florestas primárias é um dos casos que necessita de boa precisão, pois a variação espectral da floresta primária é sutil.

#### 5.1.4.2. Índices de vegetação

Os índices de vegetação, assim como os valores de reflectância, apresentaram pequenas incertezas para suas médias (Tabela 7). Este comportamento era esperado uma vez que os índices são calculados por equações que utilizam as reflectâncias como variáveis de entrada. Outro comportamento confirmado foram as diferenças estatísticas encontradas entre os índices. Em todos os casos para SF-1 apresentou valores de probabilidades menores que 0,00001. Os

valores de probabilidade do SF-2 seguiram mesmo padrão com exceção das variáveis SR, NDVI e W que obtiveram valores de significância diferentes (0,0015; 0,0013 e 0,91 respectivamente). Apesar deste último não apresentar diferença estatística, os índices de vegetação de forma geral não foram capazes de normalizar efeitos externos, como ângulo solar, ângulo de visada do sensor, efeitos atmosféricos.

Tabela 7: Valores das médias e incertezas (I.C.(%)) dos índices de vegetação de cada imagem e valor de correlação de Pearson (R) e valor da probabilidade do teste t para amostras repetidas entre as imagens de mesmo sítio.

		SR	NDVI	SAVI	EVI	B	G	W	NDWI	TVI
SF-1- 2007	Média	8,832	0,796	0,234	0,387	0,098	0,067	0,008	0,393	6,254
	I.C.(%)	±1,80	±0,41	±0,91	±1,03	±0,86	±1,11	±4,00	±1,04	±1,21
	R	0,396	0,375	0,513	0,474	0,709	0,501	0,255	0,345	0,451
	Teste t (p)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SF-1 2008	Média	13,608	0,863	0,344	0,595	0,142	0,109	0,011	0,417	9,954
	I.C.(%)	±1,59	±0,23	±1,01	±1,04	±1,31	±1,33	±3,78	±0,80	±1,35
SF-2 2008	Média	10,59	0,827	0,206	0,344	0,080	0,057	0,006	0,392	5,348
	I.C.(%)	±2,00%	±0,37	±1,15	±1,21	±1,12	±1,38	±5,75	±1,15	±1,41
	R	0,173	0,158	0,671	0,638	0,735	0,667	0,359	0,392	0,574
	Teste t (p)	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,917	0,000	0,000
SF-2 2010	Média	10,17	0,820	0,227	0,377	0,092	0,064	0,006	0,378	6,062
	I.C.(%)	±1,76	±0,34	±1,13	±1,25	±0,96	±1,41	±6,76	±1,30	±1,40

Obs: Em cinza são valores bem acima do normal

### 5.1.5. Análises das regressões

#### 5.1.5.1. Regressões para o Sítio Florestal 1

O ajuste das equações para a imagem de 27/07/2007 foram estatisticamente significativos ao nível de 1% de probabilidade com exceção da equação para o volume (Tabela 8). Esta também apresentou o pior  $R^2$ . A melhor equação foi para a densidade com melhores valores de  $R^2$ , EPE e ANOVA. Porém o  $R^2$  da densidade não ultrapassou 0,3 mostrando que as equações no geral explicam somente 20% da variação dos dados biofísicos. A distribuição dos resíduos na sua maioria apresentou-se de forma agrupada (Apêndice A, Tabela A.4).

Tabela 8: Equações e estimadores das regressões para a imagem de 27/07/2007 do SF – 1 Unini.

Equações para SF-1 27/07/2007 (n=58)				
	$DENS = -767,73 - 5456,14.REF3 - 33,12.SR + 1.477,28.NDVI$			
	$AB = -9,0357 - 3,1736.SR + 149,9221.NDVI - 276,3828.W + 21,6162.NDWI$			
	$Vol = -891,17 + 2.194,94.REF2 + 12430,07.REF5 - 6744,25.REF7 - 6146,47.G... - 15660,47.W + 2424,57.NDWI$			
	$BIO = -4785994,5 + 87530342,6.REF3 - 10741663,2.REF4 + 1624762,5.REF7... + 6148153,6.NDVI$			
Estimadores				
	DENS	AB	VOL	BIO
R	0,5424	0,4643	0,4302	0,4948
$R^2$	0,2942	0,2156	0,1851	0,2449
$R^2$ ajust.	0,2550	0,1564	0,0892	0,1879
EPE	5,3779	0,4248	5,3519	7.470,0000
EPE%	11,34%	17,47%	19,81%	15,57%
F (p)	0,000275	0,010770	0,093642	0,004388

O ajuste para variável DENS, para imagem de 2008 foi semelhante ao ajuste da DENS para a imagem de 2007, obtendo também os melhores estimadores (Tabela 9). Entretanto o variável DENS apresenta um gradiente de variação leste oeste e,

neste caso, o efeito da Função de distribuição bidirecional da refletância (BRDF, sigle em inglês) pode ter influenciado no ajuste destas equações (Toivonen *et al.*, 2006) As regressões para AB, VOL e BIO apresentaram ajustes bem semelhantes, com pouca significância, baixo R<sup>2</sup> e distribuição dos resíduos também agrupados (Apêndice A, Tabela A.5). A equação para estimativa da DENS foi a melhor ajustada. Este melhor ajuste se justifica pelos maiores coeficientes de correlação entre a DENS e as variáveis REFi tanto para as imagens 26/07/2007, quanto para 30/08/2008 para o SF-1.

Todas as equações ajustadas para a imagem de 2007 apresentaram problemas de multicolinearidade, indicado pelo baixo valor de tolerância entre algumas variáveis escolhidas. O problema da multicolinearidade entre as variáveis independentes influencia as estimativas dos seus coeficientes, mas mantém a capacidade do modelo de fazer previsão (Hair *et al.*, 2005). Logo, não é aconselhável fazer uma análise da influência de cada variável no ajuste das equações.

Tabela 9:Equações e estimadores das regressões para a imagem de 30/09/2008 do SF - 1 Unini.

Equações para SF-1 30/09/2008 (n = 52)				
	$DENS = -85,13 - 1405,11.REF7 + 196,27.NDVI$			
	$AB = -13,262651 + 13,8126.NDVI + 8,9754.NDWI$			
	$VOL = -134,0561 + 175,1882.NDVI + 828,5779.W$			
	$BIO = -225663,1 + 239197,84.NDVI + 165949,7.NDWI$			
Estimadores				
	DENS	AB	VOL	BIO
R	0,5116	0,3542	0,3594	0,3522
R <sup>2</sup>	0,2618	0,1254	0,1291	0,1241
R <sup>2</sup> ajus.	0,2316	0,0897	0,0936	0,0883
EPE	5,4845	0,4453	5,3872	8.000,0000
EPE%	11,63%	18,59%	20,25%	16,89%
F (p)	0,000590	0,037486	0,033778	0,038946

Entretanto o melhor preditor, para o primeiro caso, foi a reflectância na banda 3. A banda 3 apresenta um estreita faixa de variação em floresta primarias. Ruídos geralmente são as principais causas de variação nesta banda em floresta primarias. A banda 3 assim como os índices de vegetação SR e NDVI, que saturam em floresta com valores de biomassa bem abaixo, devem estar sendo afetado pelo efeito BRDF ou pela presença de névoa na imagens.

Nas equações para imagem de 2008 não foi detectado problema da multicolinearidade, porém as equações foram pouco significativas. As equações para as variáveis respostas AB, VOL e BIO, além dos ajustes ruins tiveram semelhança na escolha das variáveis independentes, mas seus coeficientes também foram pouco significativos. Neste caso, as variáveis escolhidas foram o NDVI e NDWI. Somente para a variável VOL, em vez do NDWI foi escolhido o W. Estas variáveis são as que possuem os mais altos coeficientes de correlação com as variáveis resposta. Isto indica que há relação direta entre as variáveis independentes e dependentes.

O comportamento do NDVI é o esperado para as formações secundárias em que com o aumento da biomassa há o aumento do NDVI e somente depois da recuperação da estrutura original da floresta que há um decaimento do valor do NDVI (Araujo, 1999). O NDWI é um índice que tem maior correlação com o conteúdo de água no dossel da vegetação, quanto maior for o índice, maior é a proporção de água na vegetação. O *wetness* (W) da transformação *Tasseled Cap* também contém informações sutis sobre o estado de umidade para área de superfícies inundáveis, quando maior o valor do índice, maior é o conteúdo de umidade (Jensen, 2009). Entretanto, o sombreamento causado pela geometria da copa das árvores (Ponzoni, 2001) gera um efeito semelhante a presença do conteúdo de umidade, no sentido da diminuição do brilho da área sombreada. A floresta de terra-firme possui maior presença de sombra causada pelas diferentes altura das árvores e das emergentes que a presença de área com alto teor de umidade.

#### **5.1.5.2. Regressões para o Sítio Florestal 2**

A equação ajustada para a DENS de 2008 apresentou-se com os piores parâmetros do ajuste, com pouca significância. Entretanto, novamente as três

variáveis AB, VOL, BIO apresentaram ajustes bem semelhantes e melhores que o ajuste da densidade, com alta significância e  $R^2$  acima dos 20% (Tabela 10). O comportamento do ajuste foi tão semelhante para estas três, que pode ser explicado pela escolha das mesmas variáveis independentes para a equação. Apresentaram também uma distribuição de resíduos semelhantes, mas agrupados.

Tabela 10: Equações e estimadores das regressões para a imagem de 07/07/2008 do SF - 2 Maués.

Equações para SF-2 07/07/2008 (n = 63)				
	$DENS = -77,73 + 0,22.ALT + 2880,0.SAVI - 6030,0.G - 25,84.TVI$			
	$AB = 13,6373 + 0,0278.ALT + 439,3392.REF1 - 338,9880.REF3 - 15,5382.NDVI$			
	$VOL = 186,34 + 0,3558.ALT + 6192,58.REF1 - 4845,25.REF3 - 214,23.NDVI$			
	$BIO = 277211,9 + 625,72.ALT + 9105017,6.REF1 - 6604979,6.REF3 - 314930,9.NDVI$			
Estimadores				
	DENS	AB	VOL	BIO
R	0,4205	0,5307	0,5387	0,5272
$R^2$	0,1768	0,2817	0,2902	0,2779
$R^2$ ajus.	0,1201	0,2321	0,2413	0,2281
EPE	4,9294	0,4762	6,4583	10.100,0000
EPE%	11,33%	20,05%	22,12%	18,18%
F (p)	0,021694	0,000625	0,000453	0,000718

Novamente se observa ajuste semelhante entre as variáveis AB, VOL e BIO nas equações ajustadas para a imagem de 2008. Esta semelhança também foi observada na escolha das variáveis independentes como ALT, REF1, REF3 e o NDVI. O problema da multicolinearidade foi brando entre as variáveis REF3 e NDVI, apesar da utilização da variável REF3 no cálculo do NDVI. As variáveis ALT e REF1 foram as variáveis obtiveram maiores coeficientes de correlação, mas REF3 e NDVI, apesar dos coeficientes negativos, não foram com os menores valores. A presença destas variáveis na regressão foi significativa. O comportamento espectral do NDVI neste caso foi o mesmo observado por Bernardes (1998) e Maciel (2002) e Maciel *et al.*(2003) para regiões de floresta primária.

Os piores ajustes foram observados para a imagem de 2010 do SF-2. No geral as regressões apresentaram pouca significância e  $R^2$  abaixo dos 10% (Tabela 11). A regressão para a variável volume foi a única que não obteve coeficientes significativos o suficiente para serem mantidos na equação (Apêndice A, Tabela A.7). Demonstrando que algum fator está influenciando os valores dos *pixels* e removendo qualquer tipo de correlação esperado no seu comportamento. Neste caso a melhor alternativa é utilizar os valores médios para a extrapolação das variáveis biofísica.

Tabela 11: Equações e estimadores das regressões para a imagem de 29/07/2010 do SF-2 Maués.

Equações para SF-2 29/07/2010 (n = 72)				
	$DENS = -151,06 + 2508,52.REF2 + 19658,33.REF3 + 18,57.SR - 2369.B - 1773,64.W$			
	$AB = 4,1049 - 4,6687.EVI$			
	$VOL = 28,8349$ sem equação ajustada			
	$BIO = 78816,2 - 182234,4.EVI + 118646,4.NDVI$			
Estimadores				
	DENS	AB	VOL	BIO
R	0,2929	0,1774	0,0000	0,2513
$R^2$	0,0858	0,0315	0,0000	0,0631
$R^2$ ajus.	0,0165	0,0176	0,0000	0,0360
EPE	5,2843	0,5307	7,2868	11.200,0000
EPE%	12,17%	22,62%	25,27%	20,31%
F(p)	0,301278	0,135976	1,000000	0,105404

### 5.1.5.3. Considerações geral

As análises dos ajustes das equações demonstram alta significância para algumas regressões. Entretanto, em todos os casos as equações explicaram pouca variação das variáveis respostas. Todos os ajustes com  $R^2$  abaixo de 20% não apresentaram significância na regressão. As duas equações com maiores  $R^2$  (29%) foram para densidade do SF – 1 imagem 27/07/2007 e para o volume do SF – 2

imagem de 07/07/2008. Enquanto que, as equações para a imagem de 29/07/2010 do sítio dois apresentaram o pior ajuste.

Estes resultados são inferiores ao encontrado por Araújo (1999), Bernardes (1998) e Matos (2006). Entretanto, as diferenças metodológicas precisam ser analisadas. No trabalho do primeiro autor foram amostradas áreas de floresta primária e secundária para o ajuste das equações, sendo que a parcela com maior biomassa em floresta primária foi de 181,15 t/ha. Este valor é inferior aos encontrados nos inventários desse trabalho. O trabalho de Bernardes (1998) também fez uso de floresta primária e secundária, em diferentes estágios de sucessão. A parcela com o maior valor de biomassa encontrado foi de 471,9 t/ha, valor mais próximos, mas ainda inferior a deste trabalho.

Por outro lado, Matos (2006) trabalhando na região de Manaus, obteve resultados um pouco melhores que a do presente trabalho. Suas equações foram ajustadas para diferentes tamanhos de parcelas. O  $R^2$  decaiu com o aumento da área e foi de 0,546 para uma área de 400m<sup>2</sup>,  $R^2= 0,451$  para área de 900m<sup>2</sup> e  $R^2= 0,24$  para área de um hectare. Seus resultados demonstram claramente que há perda de informação quando se trabalha com a média dos *pixels*. Uma diferença metodológica foi na utilização de diferentes equações para estimativas de biomassa. O  $R^2$  para área de 1 ha foi semelhante aos  $R^2$  encontrados pelas equações que melhor se ajustaram neste trabalho. Apesar dos  $R^2$  próximos, o erro padrão da estimativa encontrado neste trabalho foi elevado quando comparados com de Matos (2006).

Os fatores que podem estar interferindo na qualidade das equações são:

I. Os dados espectrais apresentaram pequenas variações. Como exemplo, tem-se a banda do vermelho que apresentou uma variação em apenas três unidades de número digital (ND) e um estreito intervalo de confiança. Uma das premissas da regressão é que as variâncias das variáveis independentes e resposta sejam homogêneas, o que evita a heterocedasticidade. A média ponderada calculada dos ND em cada parcela, ajuda na queda na variação dos dados espectrais.;

II. A metodologia de correção atmosférica foi considerada grosseira por não fornecer a precisão necessária para ser utilizada em regressões lineares múltiplas (Lu *et al.*, 2002). Entretanto, a utilização de modelos mais complexos como 6s e Lowtran7, requerem informações adicionais para seu melhor desempenho;



III. O próprio sensor utilizado, o TM do Landsat 5, pode ser citado como fonte de erro. Ele foi lançado em 1984 e neste tempo já sofreu uma série de problemas e algumas adaptações foram necessárias para mantê-lo em funcionamento até os dias de hoje. O Landsat-5 já está perto do seu fim, até mesmo por causa do envelhecimento dos seus componentes. Porém o conjunto dessas imagens representa o maior e importante acervo histórico de imagem disponível que cobre todo território brasileiro;

IV. A falta de pontos de controle coletados com GPS para o georreferenciamento das imagens estudadas é outro fator. A alternativa foi o registro das imagens tendo como base o produto do Geocover. Entretanto, o Geocover apresenta um erro médio no posicionamento de 50 m. Este erro somado ao erro do aparelho receptor de GPS podem influenciar na coleta dos *pixels* que representaria a parcela. Em alguns casos, os valores dos *pixels* coletados podem não representar a mesma área das parcelas. Entretanto as médias obtidas dos valores espectrais são representativas da área de interesse e podem ser utilizadas para delimitar a área de floresta plana das parcelas dos inventários.;

## **5.2. Espacialização**

### **5.2.1. Delimitação da área de interesse**

As três imagens booleanas derivadas do MDE classificou a área plana (classificação da declividade), delimitou a bacia hidrográfica e restringiu a altitude, permitindo um maior controle local da área estudada (APÊNDICE B e C, Figuras B.3 e C.3). As três imagens booleanas do sensor TM eliminou os *pixels* de nuvem e sua sombra, *pixels* sobre maior ou menor iluminação solar devido a declividade do terreno e ao ângulo de inclinação solar; de *pixels* com diferentes tonalidade de brilho nestas bandas. A máscara final, a combinação das 6 máscaras, apresentou grande quantidade de *pixels* zeros ou sem dados. As imagens booleanas que mais contribuíram para esta forma foram a da declividade e as máscaras das três bandas do sensor. Estas permitiram um maior controle local da área enquanto as outras duas delimitaram a área de interesse. Desta maneira, a quantidade total de *pixels* das máscaras para cada imagem é diferente.

## 5.2.2. Análise da espacialização.

### 5.2.2.1. Sítio Florestal 1 – Unini

As imagens para DENS, AB e BIO para o ano de 2007 (Figuras 6, 7 e 9– A) apresentaram uma distribuição mais homogênea entre as classes, com predominância das classes que correspondem ao intervalo de confiança da amostragem. Observa-se um sentido na distribuição dos valores dos *pixels*, em ordem crescente de oeste para leste. Este comportamento foi persistente em quase todas as imagens, mesmo para as equações com os piores ajustes. A imagem do VOL (Figura 8– A) apresenta uma variação espacial semelhante ( $R^2 = 18,51\%$ ), mas baixa significância. O que justifica a predominância das classes no intervalo de confiança. As imagens das equações para AB, VOL e BIO para 2008 (Figuras 6, 7 e 9– B) apresentaram predominância de valores abaixo da média amostral, representando as equações mal ajustadas. Tanto no ajuste da equação quanto na espacialização da variável DENS foram muito semelhantes para as duas datas das imagens.

As imagens geradas pelas interpolações apresentam formas semelhantes na distribuição espacial das classes. Somente na porção extremo leste da área de estudo, é possível observar a diferença de classe para as variáveis biofísicas. A DENS (Figura 6– C) apresentou valores acima do limite superior do I.C, em quanto a AB (Figura 7– C) demonstrou valores mais próximo da média e o Volume (Figura 8– C) e a Biomassa (Figura 9– C) apresentaram valores predominantes na classe dentro do limite inferior do I.C..

Um arquivo vetorial do servidor do Siscom do IBAMA detalha a vegetação da Amazônia Legal com mais precisão. Além de classificar corretamente a área de tensão ecológica observada na região, também indicam porções de floresta ombrófila aberta. A localização desta fisionomia se sobrepõe a porção oeste da área de interesse que é observada sempre com valores mais baixos nas imagens (Apêndice B, Figura B.1.)

Os dois transectos a leste da RESEX foram alocados em região com presença de *pixels* típico de feição de vegetação secundária, provavelmente decorrente da exploração de madeira na área. Estas parcelas possuem alta densidade e baixo valores das variáveis dendrometrias. Possuem também os maiores valores de brilhos dos pixels do que comparado com a floresta, tanto na

imagem de 2007 quanto de 2008. Os menores valores das variáveis biofísicas a oeste é apoiado pela espacialização de 2008, que apesar da pouca significância das equação demonstrou comportamento semelhante da espacialização pela equações..

Entretanto para o Unini, os quatro mapas dos modelo preditivos (para DENS, AB, VOL e BIO) mostram um gradiente leste-oeste. Mas apenas a variável DENS, que obteve os melhores ajuste, mostra este mesmo padrão leste-oestes nos dados de inventário espacializados. Então, não há uma correspondência “consistente e confiável” entre os modelos e os dados biofísicos. Provavelmente os modelos estão mostrando o efeito do artefato do (Toivonen *et all.*, 2006).

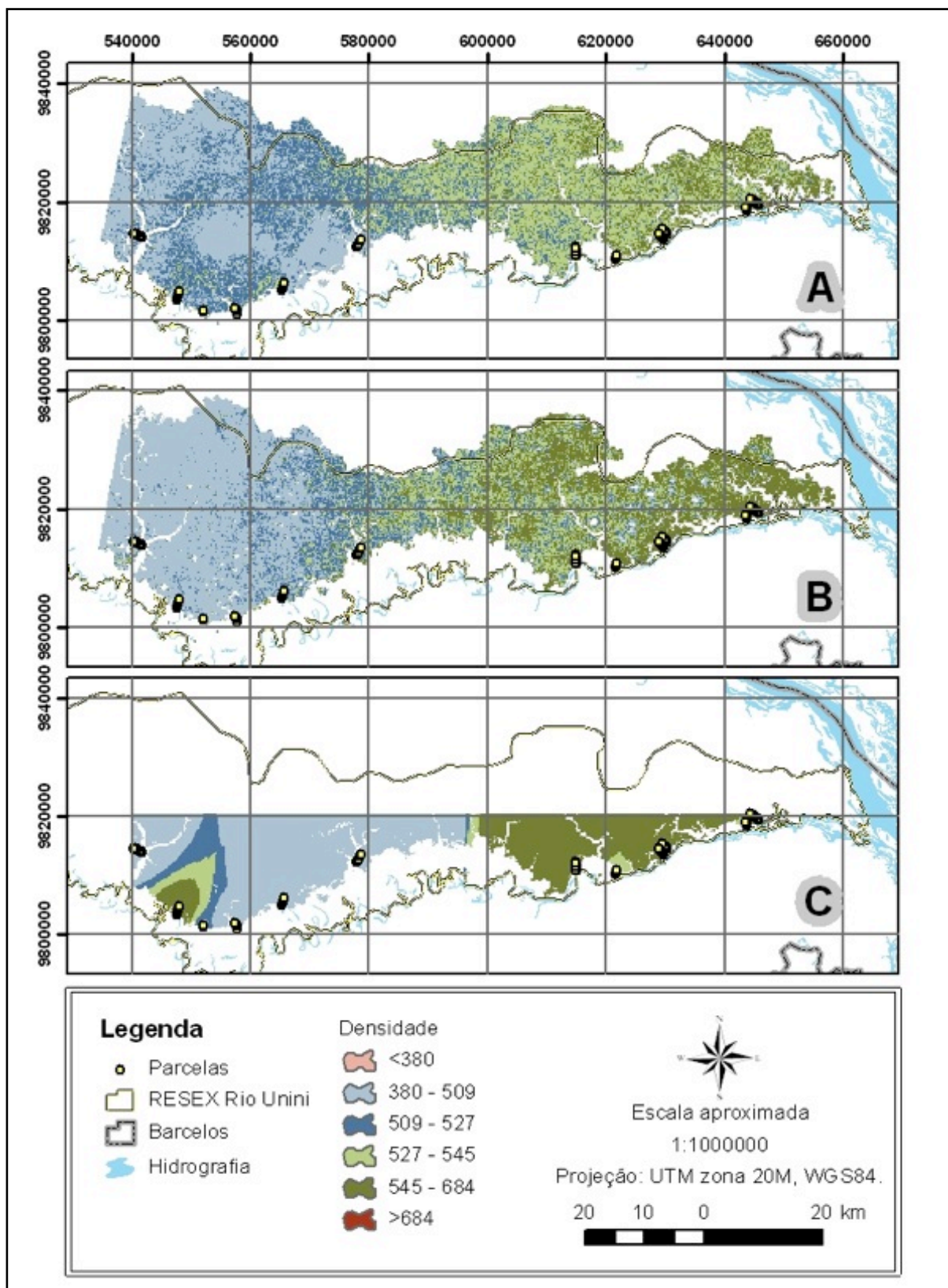


Figura 6: A – Espacialização da densidade da imagem de 26/07/2007; B – Espacialização da densidade da imagem de 30/09/2008; C – Espacialização por interpolação da densidade das parcelas.

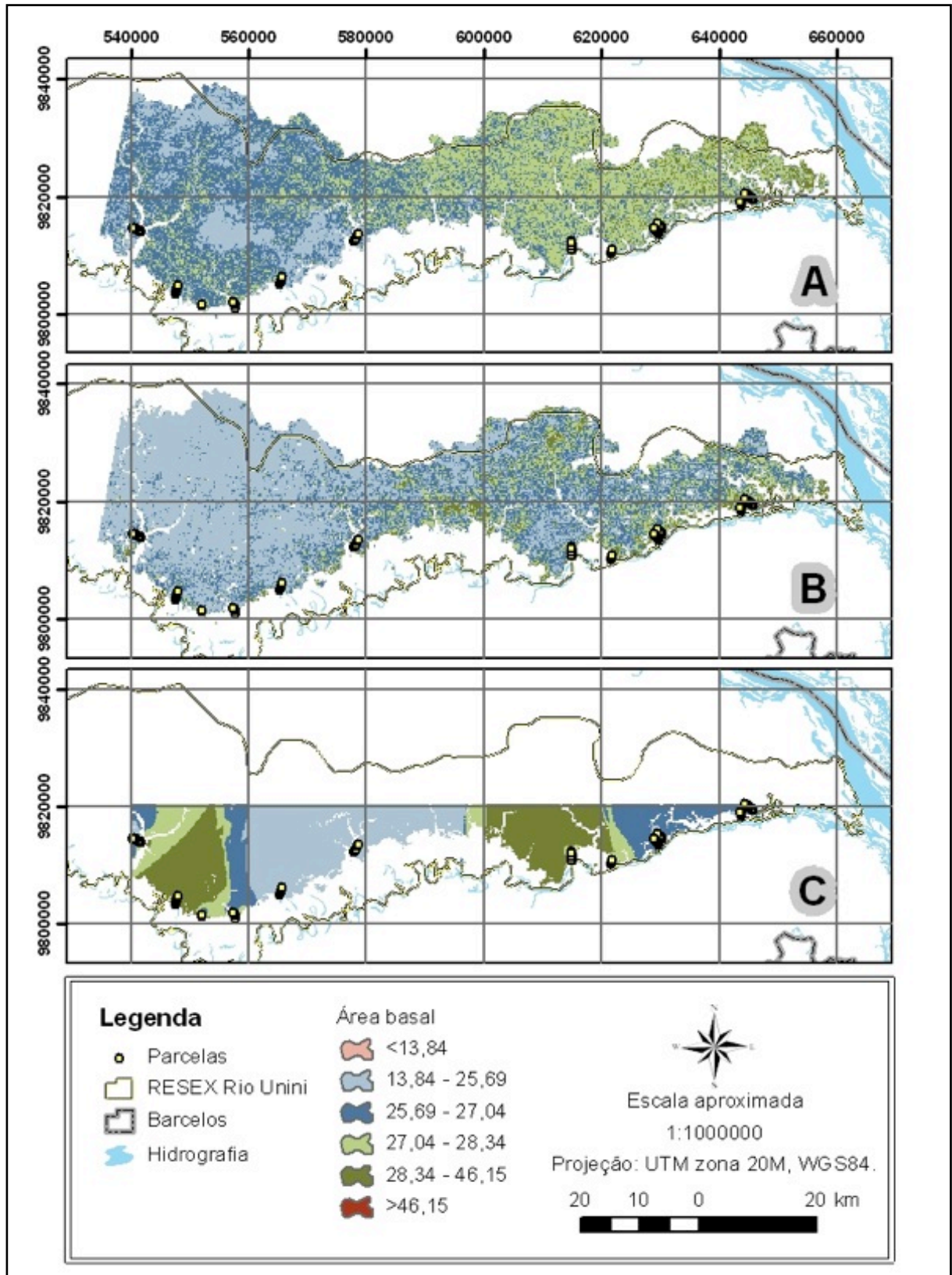


Figura 7: A – Espacialização da Área Basal ( $m^2$ ) da imagem de 26/07/2007; B – Espacialização da Área Basal ( $m^2$ ) da imagem de 30/09/2008; C – Espacialização por interpolação da Área Basal ( $m^2$ ) das parcelas.

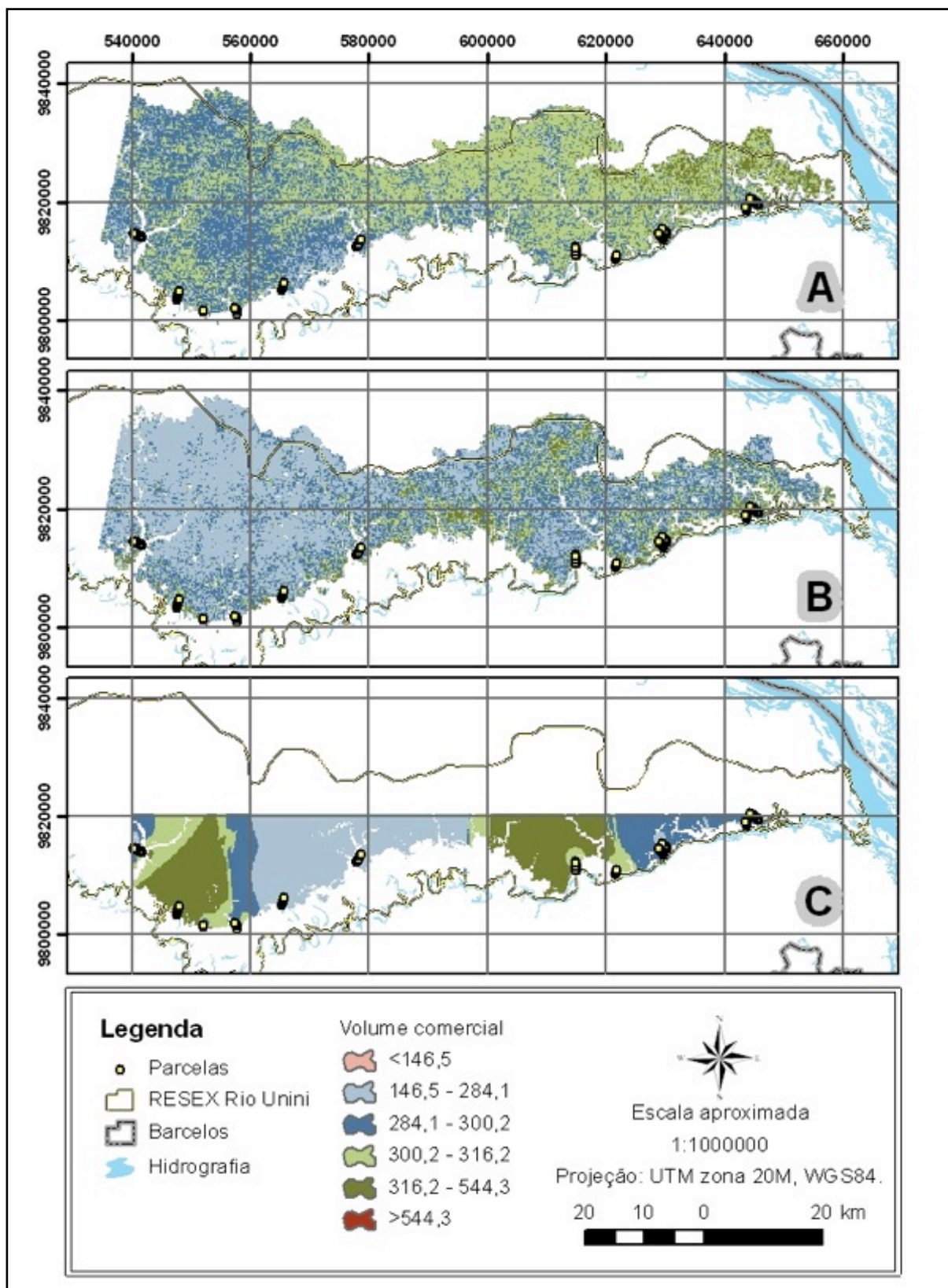


Figura 8: A – Espacialização da Volume comercial ( $m^3$ ) da imagem de 26/07/2007; B – Espacialização da Volume comercial ( $m^3$ ) da imagem de 30/09/2008; C – Espacialização por interpolação da Volume comercial ( $m^3$ ) das parcelas.

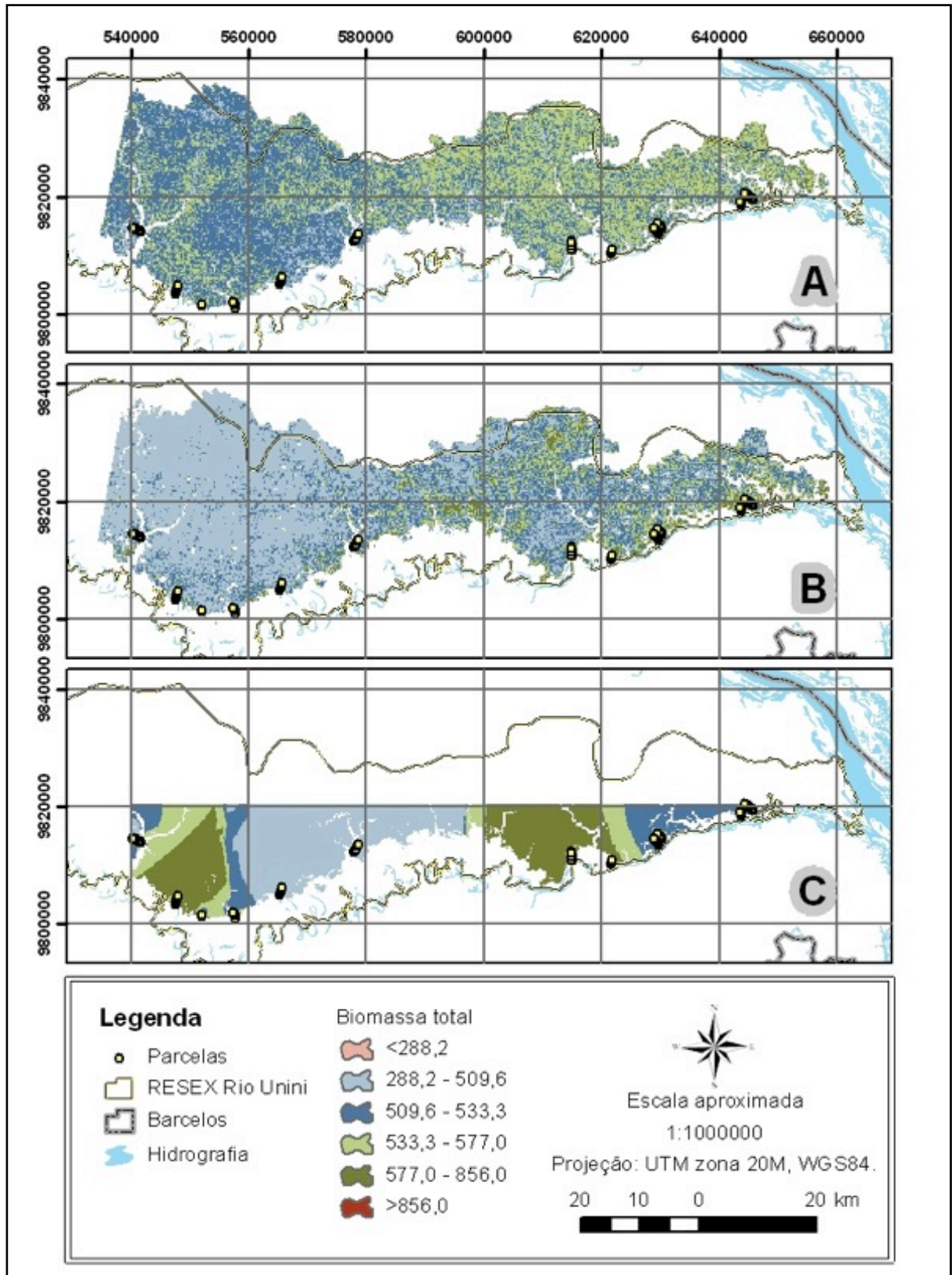


Figura 9: A – Espacialização da Biomassa (t) da imagem de 26/07/2007; B – Espacialização da Biomassa (t) da imagem de 30/09/2008; C – Espacialização por interpolação da Biomassa (t) das parcelas.

### 5.2.2.2. Sítio Florestal – 2 Maués

As imagens das variáveis biofísicas para o ano de 2008 foram bem semelhantes entre si, principalmente entre a AB (Figura 11– A), o VOL (Figura 12– A) e BIO (Figura 13– A). Embora tenha apresentado pouca significância, a Imagem DENS (Figura 10–A) teve uma boa espacialização, justificado pelo  $R^2$  próximo de 20%. O fraco desempenho da espacialização para 2010 é reflexo dos piores ajustes das equações. Como exemplo, a Imagem da DENS (Figura 10– B) sendo com pior ajuste entre todas as equações e seguida pela imagem do VOL (Figura 12– B) em que não houve ajuste, nenhuma variável independente foi escolhida. As imagens da AB (Figura 11– B) e da BIO (Figura 13– B) em 2010 apresentam-se como um negativo das imagens de 2008. Entretanto, após uma análise mais criteriosa foi verificado no centro da área de interesse a presença de uma grande bruma ou nevoa. Esta bruma justifica os ajustes ruins das equações, a pouca quantidade de *pixels* selecionados na máscara e a má distribuição espacial das variáveis biofísicas.

As imagens interpoladas (Figuras 10,11,12 e 13– C) também apresentaram espacializações semelhantes entre si, principalmente entre as variáveis AB, VOL, BIO. No centro da área de interesse há três transectos que apresenta baixos valores DENS e altos valores da AB, VOL e BIO. De mais três transectos que permanecem com valores baixos em todas as variáveis. Uma com valores mais alto de densidade e valores menores que a média de biomassa.

A altitude exerce uma grande influencia sobre a espacialização das variáveis para imagem de 2008. Com menores valores das variáveis biofísicas nas regiões mais baixo e maiores valores nas regiões mais altas. Os menores valores ao centro da imagem na calha do rio Apoquetaua é justifica pelos menores valores de altitude e pelos transectos ali alocados sobre influência antrópica antiga (exploração madeireira). Ainda dentro da FLOREST de Maués observa-se a sudeste regiões mais altas e com os maiores valores das variáveis biofísicas. Na região da FLONA de Pau Rosa a variação da altitude é menos evidente. A classificação realizada pelas equação mostrou que área possui menores valores de densidade e maiores valores de área basal, volume e biomassa. O que pode ser uma indicativo que está região possui indivíduos de maior porte. A maior altura dominante do inventário na FLONA de Pau Rosa corrobora com está indicação.



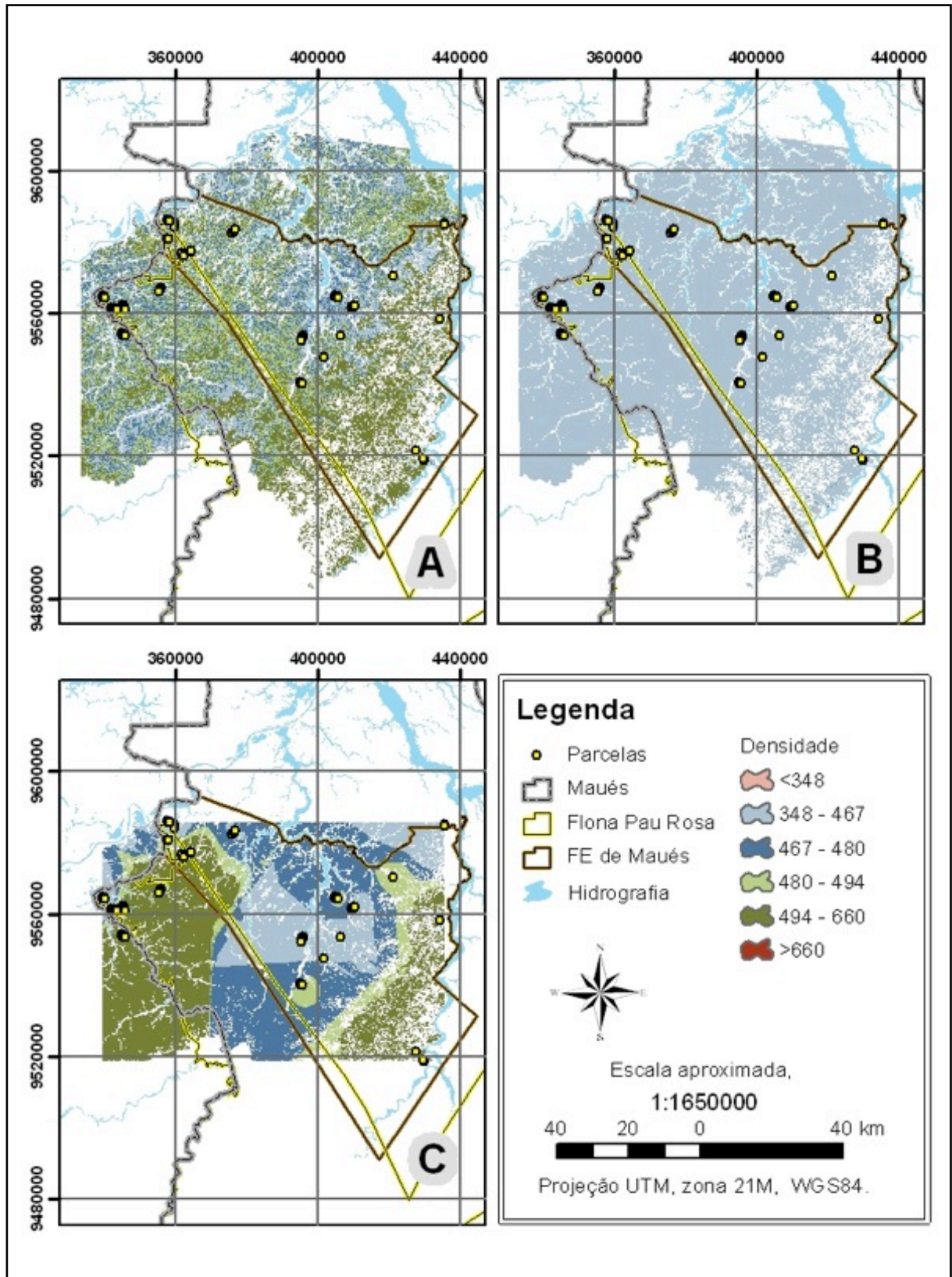


Figura 10: A – Espacialização da densidade da imagem de 07/07/2008; B – Espacialização da densidade da imagem de 29/07/2010; C – Espacialização por interpolação da densidade das parcelas.

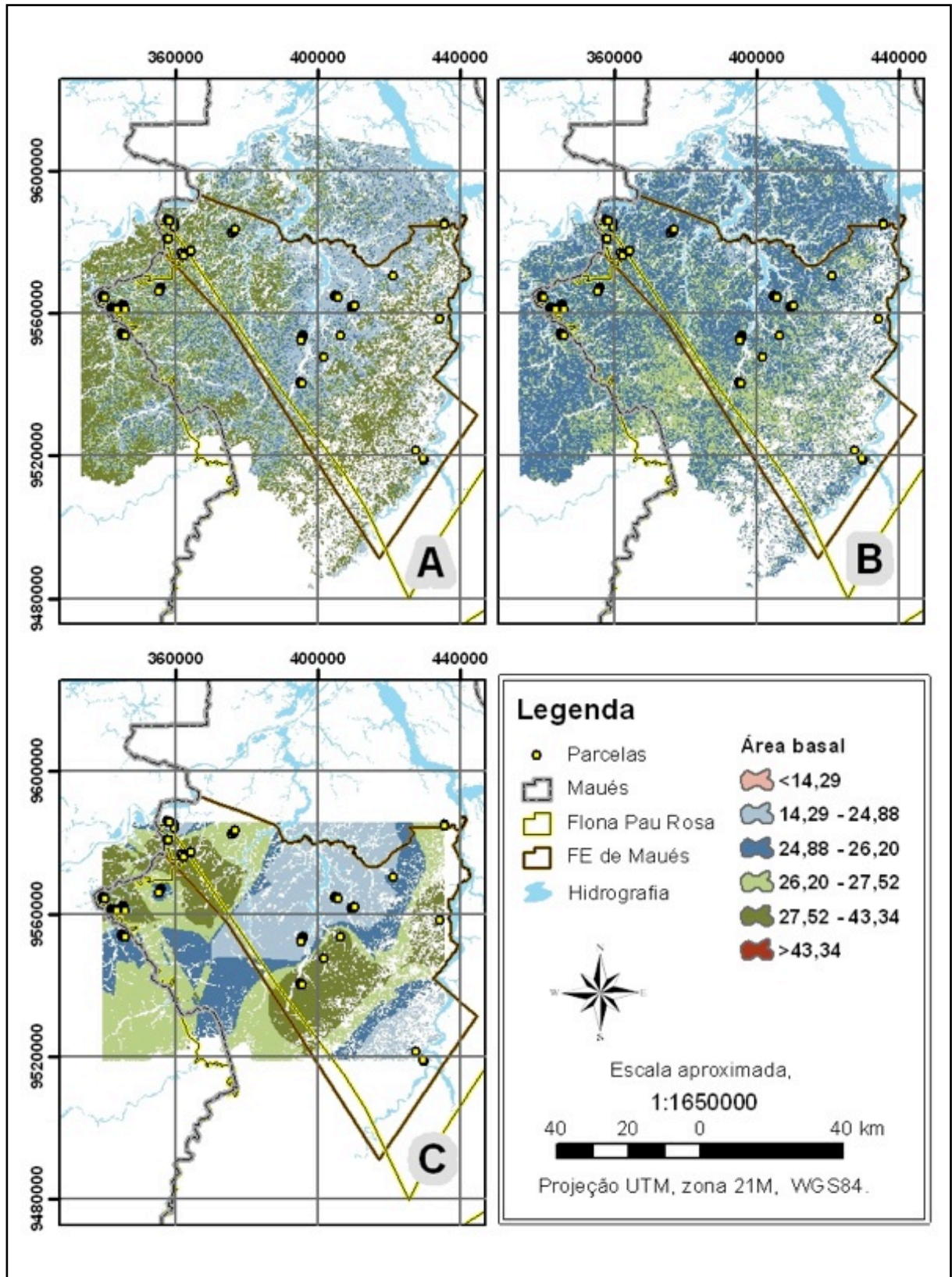


Figura 11:A – Espacialização da área basal da imagem de 07/07/2008; B – Espacialização da área basal da imagem de 29/07/2010; C – Espacialização por interpolação da área basal das parcelas.

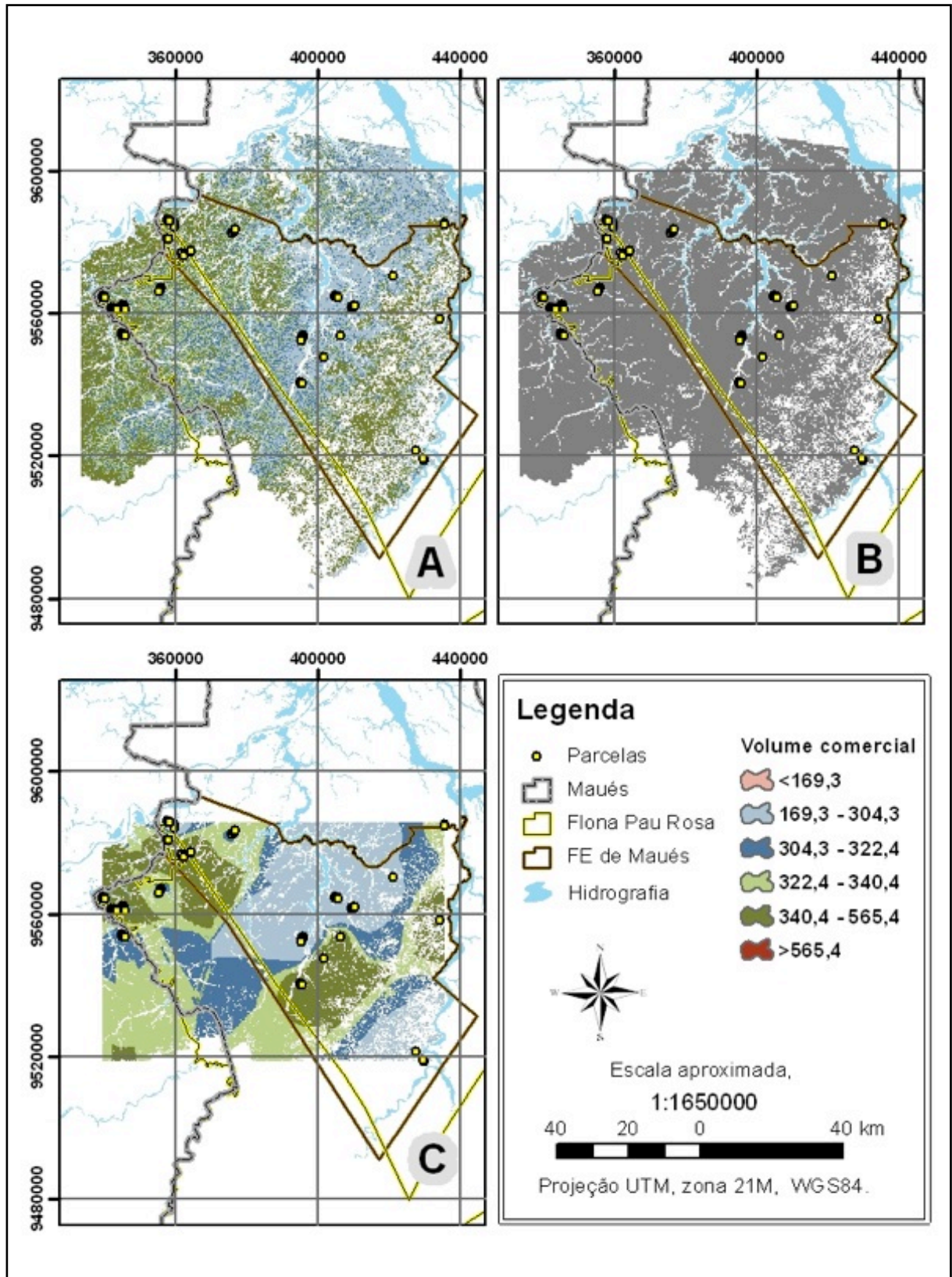


Figura 12: A – Espacialização do Volume comercial da imagem de 07/07/2008; B – A cor cinza representa a falta de equação para o Volume comercial da imagem de 29/07/2010; C – Espacialização por interpolação da Volume comercial das parcelas.

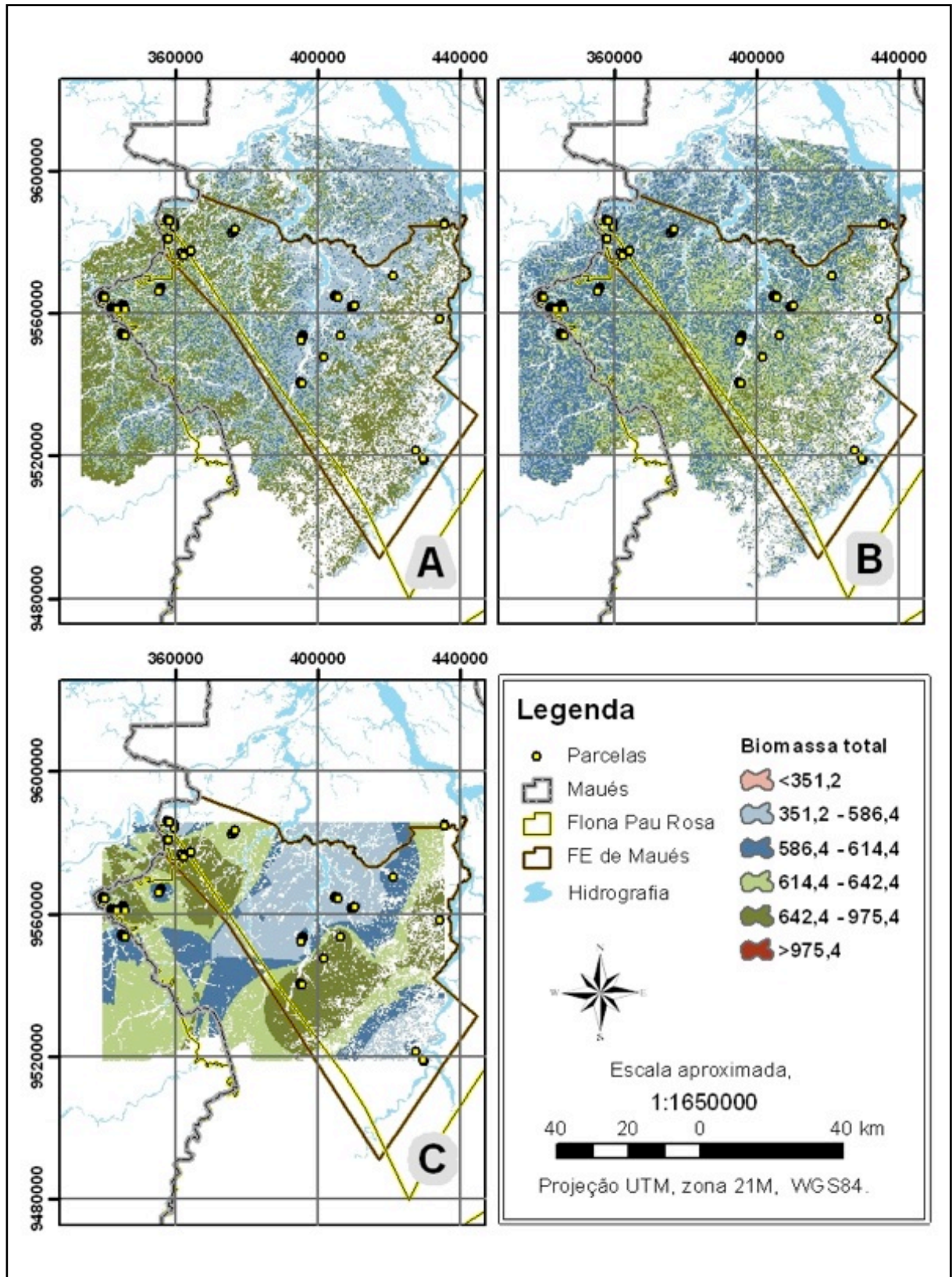


Figura 13: A – Espacialização da biomassa fresca da imagem de 07/07/2008; B – Espacialização da biomassa fresca da imagem de 29/07/2010; C – Espacialização por interpolação da biomassa fresca das parcelas.

### 5.2.3. Análise da extrapolação

A quantidade de pixel e a área em ha de cada uma das mascaras criadas para delimitar a área de interesse foi diferentes entre cada imagem (tabela 12). O somatório dos valores dos pixel estimado pelas equações de cada variável foi confrontado com a média da amostra multiplicado pelo área equivalente de cada mascara, para uma comparação justa dos valores extrapolados.

Tabela 12: Quantidade de pixel de cada mascara para as diferentes imagens.

Sítio	Data imagem	Numero de pixel	hectares
1-Unini	26/07/2007	1.591.504	143.235,36
1-Unini	30/09/2008	1.767.439	159.069,5
2-Maués	07/07/2008	2.552.481	229.723,29
2-Maués	29/07/2010	343.261	30.893,49

Na Tabela 13 observam-se como a aplicação das equações altera a extrapolação das variáveis biofísicas para a área de interesse. Pequenas diferenças percentuais foram constatadas entre o somatório dos *pixels* e o valor da média extrapolada, para uma mesma área, quando as equações apresentam os melhores ajustes. Entretanto para grandes áreas, o valor total destas pequenas diferença percentual representa por exemplo milhares de toneladas de Biomassa. As piores equações manifestaram-se com as menores ou maiores diferenças. A imagem da densidade do SF-2 Maués em 2010 obteve diferença maior que 16%. A diferença é zero para a imagem de volume em 2010 porque não houve uma equação ajustada para este caso.

Tabela 13: Comparação do somatório dos valores dos pixels estimados pelas equações com o valor médio extrapolado e a diferença percentual entre elas para as 4 imagens dos dois sítios.

Data	SF-1 Unini	DENS	AB	VOL	BIO
26/07/2007	Somatório Pixels	74.302.856	3.812.761	42.938.867	75.841.491.870
	Média extrapolada	75.489.973	3.869.413	42.994.562	76.387.262.204
	Diferença	-1,57%	-1,46%	-0,13%	-0,71%
30/09/2008	Somatório Pixels	82.481.373	4.050.451	45.195.279	80.412.486.970
	Média extrapolada	83.150.430	4.199.144	46.548.820	83.103.730.627
	Diferença	-0,80%	-3,54%	-2,91%	-3,24%
Data	SF-2 Maués	DENS	AB	VOL	BIO
07/07/2008	Somatório Pixels	112.121.469	5.820.171	71.049.704	137.260.074.000
	Média extrapolada	113.533.427	5.963.967	72.932.430	140.618.122.770
	Diferença	-1,24%	-2,41%	-2,58%	-2,39%
29/07/2010	Somatório Pixels	12.421.459	796.906	9.897.893	18.806.510.730
	Média extrapolada	14.906.109	805.200	9.897.894	18.898.972.843
	Diferença	-16,67%	-1,03%	-0,00%	-0,49%

## 6. Conclusão

1. O sítio florestal 2 Maués possui indivíduos de maior porte do que a floresta no sítio florestal 1 Unini.
2. O receptor de GPS de navegação de alta sensibilidade, utilizado pelas equipes de campo, não é confiável para realizar a medição do comprimento de uma única parcela, pois a amplitude dos desvios do comprimento é grande. No entanto, este é um bom aparelho para indicar uma média do comprimento das parcelas com um pequeno intervalo de confiança para a média.
3. O modelo COST é capaz de atenuar alguns dos efeitos que a radiação sofre até ser registrada pelo sensor. Apesar da simplicidade do método, ele se faz necessário para os cálculos dos índices de vegetação. Modelos mais complexos podem ser utilizados obtendo uma precisão maior.
4. As equações ajustadas que foram significativas tiveram os melhores  $R^2$  e sempre maiores que 20%. Apesar dos  $R^2$  baixos. Interferências que podem alterar as relações entre as variáveis dependentes e independentes, como a presença de bruma, Ruidos e o efeito BRDF.
5. As equações significativas é o mínimo necessário para se realizar a espacialização por equações ajustadas. Mesmo explicando somente 20% da variação não alterou de forma significativa a média dos *pixels* e da amostragem. Porém para a extrapolação em grandes áreas, pequenas diferenças percentuais podem representar milhares de toneladas de biomassa/carbono.
6. Quando as equações foram significativas as imagens geradas pelas equações apresentaram comportamento semelhante ao da interpolação. Os locais com as maiores diferenças foram encontrados nos vazios amostrais, as regiões mais distantes das parcelas. Esta é uma limitação do uso da interpolação para realizar a espacialização das variáveis biofísicas de uma floresta. A vantagem do uso das equações consiste na manifestação dos padrões espectrais da floresta para explicar a variação espacial das suas características biofísicas.

7. Os dados do sistema de inventário florestal contínuo que está sendo instalado pelo LMF-INPA é uma importante fonte de informações. Somada a tecnologia como SIG, GPS e SR melhora a tomada de decisão e aumentando a segurança. A criação de um sistema de inventários georreferenciados possibilita e produção científica em diversas assuntos.

## **7. Perspectivas**

O próximo passo é aplicar o modelo de mistura espectral e refazer as análises com utilizando outras ferramentas estatísticas. Estabelecendo relações e informações existente sobre as variáveis espectrais e a floresta. E incorporar algoritmos mais automatizados para serem aplicados em outros locais. Estes procedimentos serão adotados para a publicação de um artigo científico.

O sistema de inventário florestal contínuo do LMF-INPA é uma importante ferramenta de monitoramento da floresta amazônica. Todas as atividades realizadas no inventário florestal, navegação do barco, localizações das amostras e até para as atividades do grupo socioambiental são potencializadas quando se utiliza um receptor GPS. O registro da localização é importante para ser utilizado em sistema de informação geográfica e para análise em sensoriamento remoto.

O ideal é incorporar uma equipe de SIG nos inventários florestais. Esta seria composta por um coordenador e mais uma pessoa de cada equipe do inventário: picada, madeira caída, botânica e inventário. Desta forma, todas as amostras serão localizadas no espaço. Outra importante atividade é a coleta de pontos de controle para o georreferenciamento das imagens de satélite, principalmente, para a utilização dos dados disponíveis para este trabalho. A integração de todos os dados amostrais com o sensoriamento remoto é importante para estudo de identificação de espécies e de clareiras por imagens de alta resolução e para a espacialização das variáveis biofísicas.



## 8. Bibliografia

- \_\_\_\_\_. 2009. Inventário brasileiro das emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa, informações gerais e valores preliminares. In: Misnisterio da Ciência e Tecnologia - MCT Brasília 16 pp.
- Andreae, M.O.; Rosenfeld, D.; Artaxo, P.; Costa, A.A.; Frank, G.P.; Longo, K.M.; Silva-Dias, M.A.F. 2004. Smoking Rain Clouds over the Amazon. *Science*, 303 (1337).
- Araujo, L.S.D. 1999. *Análise da cobertura vegetal e de biomassa em áreas de contato floresta/savana a partir de dados TM/LANDSAT e JERS-1*. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 129p pp.
- Araújo, T.M.; Higuchi, N.; Carvalho Jr, J.A.D. 1999. Comparison of formulae for biomass content determination in a tropical rain forest site in the state of Pará, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 117 (1-3): 43-52.
- Asner, G.P.; Hicke, J.A.; Lobel, D.B. 2003. Per-Pixel analysis of forest structure: Vegetation indices, spectral mixture analysis and canopy reflectance modeling. In: Wulder, M. A.; Franklin, S. E., (Eds.). *Remote Sensing of forest environments: Concepts and case studies*, Kluwer Academic. p. 209-254
- Bernardes, S. 1998. *Índices de vegetação e valores de proporção na caracterização de floresta tropical primária e estádios sucessionais na área de influência da Floresta Nacional do Tapajós - estado do Pará* Dissertação de mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 97 pp.
- Brown, I.F.; Martinelli, L.A.; Wayt Thomas, W.; Moreira, M.Z.; Cid Ferreira, C.A.; Victória, R. 1995. Uncertainty in the biomass of Amazonian forests: an example from Rondônia. *Forest Ecology and Management*, 75 175-189.
- Brown, S.; Gillespie, A.J.R.; Lugo, A.E. 1989. Biomass Estimation Methods for Tropical Forests with Applications to Forest Inventory Data. *Forest Science*, 35 (4): 881-902.
- Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forest: a primer. *FAO Forestry Paper -134*.
- Carreire, M.B.F. 2009. *Estimativas de biomassa, do índice de área foliar e aplicação do sensoriamento remoto no monitoramento no estudo da cobertura vegetal em áreas de florestas ombrófila aberta e densa na Amazônia*. Tese de Doutorado, Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia - INPA/UFAM, Manaus, 203 pp.
- Carvalho, J.A.; Higuchi, N.; Araújo, T.M.; Santos, J.D. 1998. Combustion completeness in a rainforest clearing experiment in Manaus, Brazil. *Journal of Geophysical Research*, 103 (D11): 13199-13915.
- Chander, G.; Markham B. 2003. Revised Landsat-5 TM radiometric Calibration procedures an postcalibration dynamic ranges. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 41(11) 2674-2677.
- Chambers, J.; Santos, J.D.; Ribeiro, R.; Higuchi, N. 2000. Tree damage, allometric relationships, and above-ground net primary production in central Amazon forest. *Forest Ecology and Management*, 152 73-84.

- Chavez, P.S. 1988. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment*, 24 (3): 459-479.
- Chavez, P.S. 1996. Image-Based Atmospheric Corrections - Revisited and Improved. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 62 (9): 1025-1036.
- DGI/INPE. 2008. Manual do usuário do catálogo de imagens da DGI/INPE. Disponível em: [http://www.dgi.inpe.br/Suporte/files/manual\\_usuario\\_PT.htm](http://www.dgi.inpe.br/Suporte/files/manual_usuario_PT.htm) acesso em: 2010.
- Fearnside, P.M.; Leal Filho, N.; Fernandes, F.M. 1993. Rainforest burning and the global carbon budget: biomass, combustion efficiency, and charcoal formation in the Brazilian Amazon. *J. of Geophysical Research*, 98 (D9): 16733-16743.
- Figueiredo, E.O.; Mesquita, R.C.; Braz, E.M.; Figueiredo, S.M.D.M.; Neves, M.V.D.O.D. 2008. Avaliação de procedimentos para localização de árvores em Inventários Florestais censitário, visando o emprego do manejo de precisão. In: *4º Simpósio Latino-Americano sobre Manejo Floresta*. Universidade Federal DE Santa Maria - UFSM, Santa Maria-RS 1-7 pp.
- Foody, G.M.; Boyd, D.S.; Cutler, M.E.J. 2003. Predictive relations of tropical forest biomass from Landsat TM data and their transferability between regions. *Remote Sensing of Environment*, 85 (4): 463-474.
- Hair, J.F.J.; Anderson, R.E.; Tatham, R.L.; Black, W.C. 2005. *Análise Multivariada de Dados*. Bookman, Porto Alegre.
- Higuchi, N.; Santos, J.M.D.; Imanaga, M.; Yoshida, S. 1993. Aboveground biomass estimate for Amazonian dense tropical moist forests. *Memoirs of the Faculty of Agriculture, Kagoshima*, 30 (39): 43-54.
- Higuchi, N.; Santos, J.M.D.; Imanaga, M.; Yoshida, S. 1994. Aboveground biomass estimate for Amazonian dense tropical moist forests. *Memoirs of the Faculty of Agriculture, Kagoshima*, 30 (39): 43-54.
- Higuchi, N.; Santos, J.D.; Ribeiro, R.J.; Minette, L.; Biot, Y. 1998. Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia brasileira. *Acta Amazonica*, 28 (2): 153-166.
- Higuchi, N. 2000. Ciência e tecnologia e o desmatamento na Amazonas. In: *Jornal Gazeta Mercantil Amazonas*. 20 pp.
- Higuchi, N.; Chambers, J.; Santos, J.D.; Ribeiro, R.J.; Pinto, A.C.M.; Silva, R.P.D.; Rocha, R.D.M.; Tribuzy, E.S. 2004. Dimânica e balanço do carbono da vegetação primária da Amazônia central. *Floresta*, 34 (3): 295-304.
- Houghton, J.T.; Ding, Y.; Griggs, D.J.; Nogueir, M.; Linden, P.J.V.D.; Dai, X.; Maskell, K.; Johnson, C.A. 2001. IPCC, 2001: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York
- Huete, A.; Liu, H.Q.; Batchily, K.; Van Leeuwen, W.J. 1997. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 59 440-451.
- Huete, A.; Justice, C. 1999. MODIS vegetation index (MOD13) algorithm theoretical basis document. In. NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt 129 pp.
- Huete, A.; Dian, K.; Miura, T.; Rodriguez, E.P.; Gao, X.; Ferreira, G. 2002a. Overview of the radiometric and Biophysical Performance of the MODIS vegetation Indices. *Remote Sensing of Environment*, 83 195-213.

- Huete, A.; Dian, K.; Yin, Y. 2002b. MODIS vegetations index Workshop, Missoula, Montana, July 15-18. *Terrestrial Biophysics and Remote Sensing (TBRs) Team, University of Arizona*.
- Janssens, I.A.; Freibauer, A.; Ciais, P.; Smith, P.; Nabuurs, G.-J.; Gerd Folberth; Schlamadinger, B.; Hutjes, R.W.A.; Ceulemans, R.; Schulze, E.-D.; Valentini, R.; Dolman, A.J. 2003. Europe's Terrestrial Biosphere Absorbs 7 to 12% of European Anthropogenic CO<sub>2</sub> Emissions. *Science*, 300 1538.
- Jensen, J.R. 2009. *Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma perspectiva em recursos terrestres*. Parêntese, São José dos Campos, SP.
- Keller, M.; Palace, M.; Hurtt, G. 2001. Biomass estimation in the Tapajos National Forest, Brazil. Examination of sampling and allometric uncertainties. *Forest Ecology and Management*, 154 371-382.
- Kottek, M.; Grieser, J.; Beck, C.; Rudolf, B.; Rubel, F. 2006. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. In: *Meteorol. Z.*
- Kuntschik, G. 2004. *Estimativa de biomassa vegetal lenhosa em cerrado por meio de sensoriamento remoto óptico e de radar*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 154 pp.
- Leduc, R. 2007. *Caracterização e mapeamento da vegetação e uso do solo da Reserva Extrativista do Baixo Juruá, Amazonas*. Dissertação de mestrado, INPA/UFAM, Manaus.
- Li, W.; Fu, R.; Dickinson, R.E. 2006. Rainfall and its seasonality over the Amazon in the 21st century as assessed by the coupled models for the IPCC AR4. *Journal of Geophysical Research*, 111 (D02111).
- Lu, D.; Mausel, P.; Brondizio, E.; Moran, E. 2002. Assessment of atmospheric correction methods for Landsat TM data applicable to Amazon basin LBA research. *Int. J. Remote sensing*, 23 (13): 2651-2671.
- Maciel, M.D.N.M. 2002. *Estimativa de parâmetros estruturais de uma floresta primária na Amazônia Oriental através de dados orbitais*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 144 pp.
- Maciel, M.D.N.M.; Lingnau, C.; Sanquetta, C.R.; Netto, S.P. 2003. Relação entre variáveis digitais de imagem Landsat e variáveis biométricas de uma floresta primária na amazonia oriental. In: *Anais XI SBSR*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Belo Horizonte, Brasil 2791-2798 pp.
- Maciel, M.D.N.M.; Bastos, P.C.D.O.; Watrin, O.D.S. 2007. Estimativa de parâmetros estruturais de uma floresta primária no Município de Paragominas - Pará, através de dados orbitais. In: *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Florianópolis, Brasil 1725-1732 pp.
- Mather, P.M. 2004. *Computer processing of remotely-sensed Images: An introduction*. Third Edition, John Wiley & Sons, Ltd. University of Nottingham.
- Matos, F.D.D.A. 2006. *Estimativas de biomassa e carbono em floresta ombrófila densa de terra firme na Amazônia Central, Manaus - AM, Brasil, por meio de dados de satélites de média e alta resolução espacial*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 147 pp.
- Moura Fé, J.D.A.; Pinto, L.E.D.S. 2004. Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa: emissões e remoções de dióxido de carbono por conversão de floresta e abandono de terras cultivadas. In: *Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília* 88 pp.

- Myneni, R.B.; Dong, J.; Tucker, C.J.; Kaufmann, R.K.; Kauppi, P.E.; Liski, J.; Zhou, L.; Alexeyev, V.; Hughes, M.K. 2001. A large carbon sink in the woody biomass of Northern forests. *PNAS*, 98 (26): 14784-14789.
- Nasa. 2002. GeoCover circa 2000. (<https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>). Acesso: 01 de Novembro de 2009.
- Nelson, B.W. 2006. Detection of natural and anthropogenic-indigenous disturbance of tropical forest using optical orbital images. In: *VII Seminário em Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Florestal*. Curitiba-Paraná- Brasil 529-536 pp.
- Nepstad, D.C.; Verssimo, A.; Alencar, A.; Nobre, C.; Lima, E.; Lefebvre, P.; Schlesinger, P.; Potter, C.; Moutinho, P.; Mendoza, E.; Cochrane, M.; Brooks, V. 1999. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. *Nature*, 398 (6727): 505-508.
- Nobre, C.A.; Assad, E.D. 2005. Mudança ambiental no Brasil. Em Terra na estufa. *edição especial Scientific American Brasil*, (12): 70-75.
- Nobre, C.A.; Sampaio, G.; Salazar, L. 2007. Mudanças climáticas e Amazônia. *Ciência e Cultura*, 59 22-27.
- Novo, E.M.L.D.M. 2008. *Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações*. Editora Blucher, São Paulo. 363 pp
- Oliveira, V.Á.D.; Souza, C.G.; Macedo, E.L.D.R.; Silva, R.D.C.; Silva, G.B.; Rios, A.J.W.; Fraga, A.G.C.; Oliveira, V.D.; Vieira, P.C.; Shimizu, S.H.; Costa, N.L.D.; Fortunato, A.F.; Botelho, R.G.M.; Dariva, T.A.; Azevedo, W.P.D.; Lima, E.D. 2006. Manuais técnicos em geociências: Divulga os procedimentos metodológicos utilizados nos estudos e pesquisas de geociências. Manual técnico de Pedologia. In. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, Rio de Janeiro
- 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 (2): 207-218.
- Ponzoni, F.J. 2001. Comportamento espectral da vegetação. In: Meneses, P. R.; Netto, J. d. S. M., (Eds.). *Sensoriamento remoto: reflectância de alvos naturais*, Editora Universidade de Brasília e Embrapa cerrado, Brasília. p. 157-202
- Qi, J.; Cabot, F.; Moran, M.S.; Dedieu, G. 1995. Biophysical parameter estimations using multidirectional Spectral measurements. *Remote Sensing of Environment*, 54 71-83.
- Running, S.W.; Justice, C.O.; Salomonson, V.; Hall, D.; Barker, J.; Kaufmann, Y.J.; Strahler, A.H.; Huete, A.R.; Muller, J.-P.; Vanderbilt, V.; Wan, Z.M.; Teillet, P.; Carneggie, D. 1994. Terrestrial remote sensing science and algorithms planned for EOS/MODIS. *Int. J. Remote sensing*, 15 (17): 3587-3620.
- Saatchi, S.S.; Houghton, R.A., Dos Santos Alvalá, R.C.; Soares J.V.; Yu, Y. 2007. Distribution of aboveground live biomass in the amazon basin. *Global Change Biology*, 13: 816-837.
- Santos, J.D. 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, Viçosa, 121 pp.
- Schroeder, P.E.; Winjum, J.K. 1995. Assessing Brazil's carbon budget: II. Biotic fluxes and net carbon balance. *Forest Ecology and Management*, 75 (1-3): 87-99.

- Silva, R.P.D. 2007. *Alometria, Estoque e Dinâmica de biomassa de floresta primária e secundária na região de Manaus (AM)*. Tese de doutorado, Instituto Nacional de Pesquisa da Amazonia (INPA) / Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Manaus, 152 pp.
- Toivonen, T.; Kalliola, R.; Ruokolainen, K.; Malik, R.N. 2006. Across-path DN gradiente in Landsat TM imagery of Amazonian forests: A challenge for image interpretation and mosaicking. *Remote Sensing of Environment*, 100 550-562.
- USGS. 2004. Reprocessing by the GLCF. (1, 3, 30) Arc Second SRTM Elevation, reprocessed to GeoTIFF. College Park, Maryland: The Global Land Cover Facility. Version 1.0.
- Veloso, H.P.; Filho, L.C.D.O.; Vaz, A.M.S.D.F.; Lima, M.P.M.D.; Marquete, R.; Brazão, J.E.M. 1991. *Manual técnico de vegetação brasileira*. IBGE, Rio de Janeiro. 92 pp.
- Wang, Q.; Adiku, S.; Tenhunen, J.; Granier, A. 2005. On the relationship of NDVI with Leaf Area Index in a deciduous forest site. *Remote Sensing of Environment*, 94 244-255.
- Zerbini, N.J. 1992. *Estimativa de fitomassa aérea em região de floresta tropical com uso de dados TM-LANDSAT 5 e HRV-SPOT 1*. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos, 146 pp.
- Zerbini, N.J.; Angelo, H.; Santos, J.R. 1995. Relações entre parâmetros de fitomassa, dendrométricos, espectrais e altimétricos na Amazônia Brasileira. *R. Árvore, Viçosa-MG*, 19 (2): 171-189.
- Zullo, J.J. 1994. *Correção atmosférica de imagens de satélite e aplicações*. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 204 pp.

## APÊNDICE - A: Tabelas das análises estatísticas

Tabelas A.1: Os valores da média e dos erros amostrais das características biofísicas por parcela (2500m<sup>2</sup>), interpolado para *pixel* (900m<sup>2</sup>).

2500 m <sup>2</sup>		SF-1 – Unini (n=58)					SF-2 – Maués (n=76)				
Estimativas	DENS	AB	VOL	BIO	ALT	DENS	AB	VOL	BIO	ALT	
Unidade	Nº	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	kg	m	N	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	kg	m	
Média	131	6,75	75,0	133325	49	120	6,55	80,6	15360 <sub>2</sub>	50	
Desvio padrão	17,3	1,28	15,57	23038	3,3 <sub>8</sub>	14,9	1,47	20,09	31178	12,3	
Mínimo	97	3,46	36,6	72051	40	87	3,57	42,3	87797	32	
Máximo	171	11,5	136,0	214000	59	165	10,8	141,3	24380 <sub>3</sub>	100	
Intervalo de confiança	4,5	0,33	4,00	5929	0,87	3,35	0,33	4,51	7009	2,77	
Incerteza	3,38%	4,90%	5,34%	4,45%	1,77%	2,79%	5,05%	5,61%	4,56%	5,50%	

900 m <sup>2</sup>		SF-1 – Unini (n=58)				SF-2 – Maués (n=76)			
Estimativas	DENS	AB	VOL	BIO	DENS	AB	VOL	BIO	
Unidade	N	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	kg	N	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	kg	
Média	47,43	2,43	27,01	47997	43,2	2,35	29,01	55296	
Desvio padrão	6,2	0,46	5,61	8294	5,3	0,52	7,23	11224	
Mínimo	34,92	1,24	13,18	25939	31,32	1,28	15,24	31607	
Máximo	61,56	4,15	48,98	77039	59,4	3,90	50,88	87769,2	
Intervalo de confiança	1,60	0,12	1,44	2134	1,21	0,12	1,63	2523	
Incerteza	3,38%	4,90%	5,34%	4,45%	2,79%	5,05%	5,61%	4,56%	

Tabela A.2: Relatório resumido do programa Systat da comparação das médias das característica biofísicas entre Sítio Florestal.

Densidade					
Teste de Hipótese: Teste-z				Poder do teste	
Variável DENS: grupo por SITÍO vs Alternativa = 'não igual'					
GRUPO	N	Média	S	Efeito do tamanho:	
1	58	131,76	17,31	S:	17,31
2	76	120,09	14,93	N:	58
Diferença		11,6665	Z: 4,1002	Poder:	0,952553
Probabilidade:		0,00004132			
Área basal					
Teste de Hipótese: Teste-z				Poder do teste	
Variável AB: grupo por SITÍO vs Alternativa = 'não igual'					
GRUPO	N	Média	S	Efeito do Tamanho:	
1	58	6,7536	1,284717	S:	1,47
2	76	6,5506	1,470183	N:	58
Diferença		0,202945	Z: 0,8508	Poder	0,111897
Probabilidade :		0,39484			
Continua...					
Continuação...					
Volume Comercial					
Teste de Hipótese: Teste-z				Poder do teste	
Variável VOL: grupo por SITÍO vs Alternativa = 'não igual'					
				ALPHA: 0,05	

GRUPO	N	Média	S	Efeito do Tamanho:	0,2760
1	58	75,04	15,58	S:	20,0936
2	76	80,59	20,09	N:	58
Diferença:		-5,5472	Z: 1,8001	Poder:	0,318005
Probabilidade		0,071845			

---

Biomassa

---

Teste de Hipótese: Teste-z				Poder do teste	
Variável VOL: grupo por SITÍO vs Alternativa = 'não igual'				ALPHA: 0,05	
GRUPO	N	Média	S	Efeito do Tamanho:	0,6503
1	58	133	23000	S	31200
2	76	154	31200	N	58
Diferença		20,3	Z: -4,328	Poder	0,9385
Probabilidade:		0,000015			

Tabela A.3: Relatório resumido do programa Systat da comparação das médias dos comprimento da parcela entre Sítio Florestal e como a média esperado de 125m.

---

SF-1 Unini - SF-2 Maues

---

Teste de Hipótese: Teste-z				Poder do teste	
Variável COMP: grupo por SITÍO vs Alternativa = 'não igual'				ALPHA: 0,05	
GRUPO	N	Média	S	Efeito do Tamanho:	0,1356
1	56	121,84	7,75	S	7,777



2	73	120,79	7,78	N	54
Diferença		1,0553	Z: 0,7653	Poder	0,8005
Probabilidade:		0,4441			

---

SF-1 Unini - 125m

---

Teste de Hipótese: Teste-z uma entrada			Poder do teste		
Ho: Média = 125.00 vs $H_1 = \text{'não igual'}$			ALPHA: 0,05		
	N:56		Média da amostra:	121,8	
Mean :	121,84	S : 7,7	Média da população:	125	
Z:	-3,0693		S da população:	7,7	
Probabilidade:	0,002145		Efeito do tamanho	0,4156	
			Poder:	0,874924	

Continua....

Continuação...

---

SF-2 Maués - 125m

---

Teste de Hipótese: Teste-z uma entrada			Poder do teste		
Ho: Média = 125.00 vs $H_1 = \text{'não igual'}$			ALPHA: 0,05		
	N=73		Média da amostra:	120,7	
Média:	120,78		Média da população :	125	
S:	7,7		S :	7,7	
Z:	- 4,67537		Efeito do tamanho:	0,5584	
Probabilidade	0,000003		Poder:	0,9975	

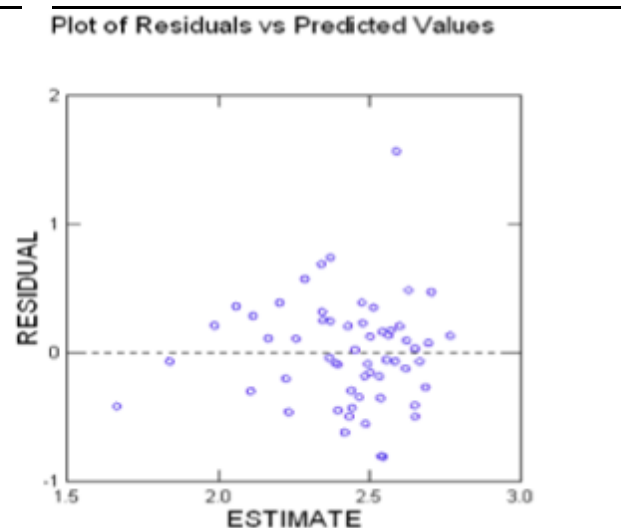
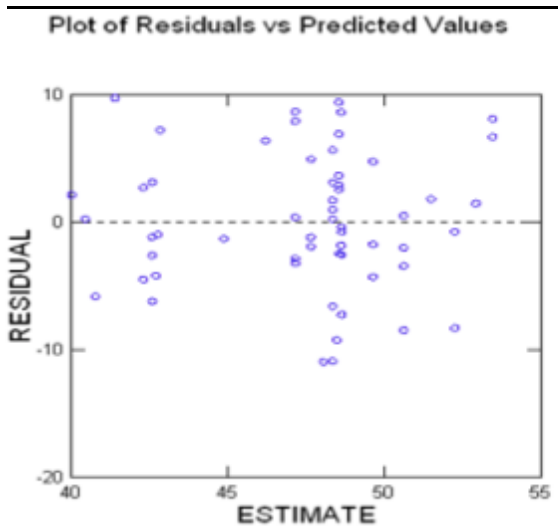
---

Tabela A.4: Relatório resumido do programa Systat das regressões do Sítio Florestal 1 Unini, imagem de 26/07/2007.

Dependente	DENS	Dependente	AB
N	58	N	58
R	0,5424	R	0,46433
R <sup>2</sup>	0,2942	R <sup>2</sup>	0,21560
R <sup>2</sup> ajust.	0,2550	R <sup>2</sup> ajust.	0,15640
EPE	5,3779	EPE	0,42479
EPE%	11,34%	EPE%	17,47%
Anova	0,000275	Anova	0,010770

Efeito	Coefficiente	Tolerância	Valor-p	Efeito	Coefficiente	Tolerância	Valor-p
CONSTANT	-767,73	.	0,0826	CONSTANT	-95,0357	.	0,0050
REF3	-5456,14	0,2590	0,0055	SR	-3,1736	0,0072	0,0045
SR	-33,12	0,0074	0,0162	NDVI	149,9621	0,0074	0,0056
NDVI	1.477,28	0,0070	0,0343	W	-276,3828	0,1197	0,0294
				NDWI	21,6162	0,0945	0,0652



Continua....

Continuação...

Dependente VOL				Dependente BIO			
N	58			N	58		
R	0,4302			R	0,4948		
R <sup>2</sup>	0,1851			R <sup>2</sup>	0,2449		
R <sup>2</sup> ajust.	0,0892			R <sup>2</sup> ajust.	0,1879		
EPE	5,3519			EPE	7.470,0000		
EPE%	19,81%			EPE%	15,57%		
Anova	0,093642			Anova	0,004388		
Efeito	Coefficiente	Tolerância	Valor-p	Efeito	Coefficiente	Tolerância	Valor-p
CONSTANT	-891,17	.	0,07183923	CONSTANT	-4.785.994,47	.	0,0032
REF2	2.194,94	0,3017	0,1300	REF3	87.530.342,60	0,0022	0,0031
REF5	12.430,07	0,0022	0,0969	REF4	-10.741.663,20	0,0062	0,0014
REF7	-6.744,25	0,0249	0,0474	REF7	1.624.762,45	0,6259	0,0847
G	-6.146,57	0,0046	0,0959	NDVI	6.148.153,64	0,0017	0,0025
W	-15.660,47	0,0071	0,0176				
NDWI	2.424,57	0,0013	0,0529				

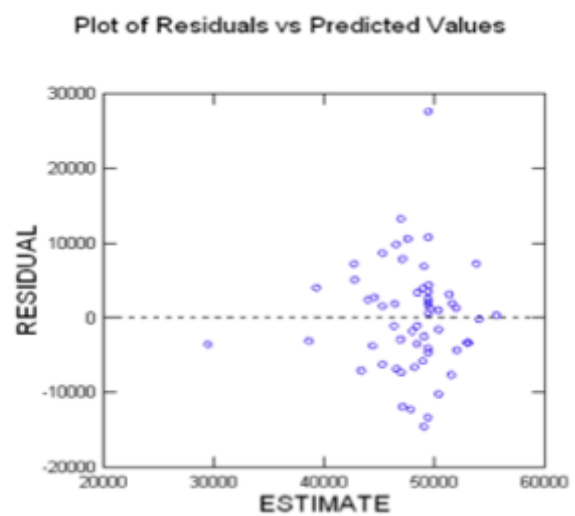
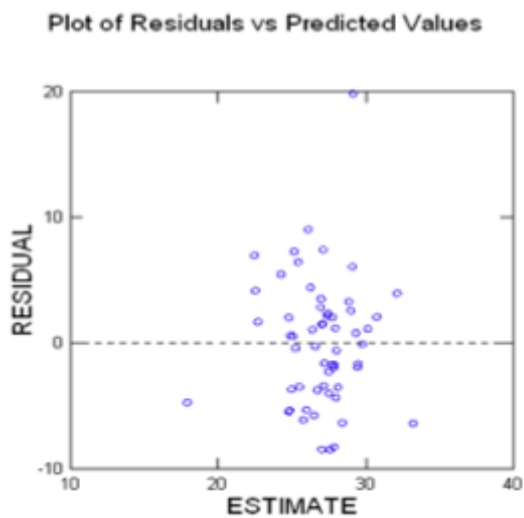
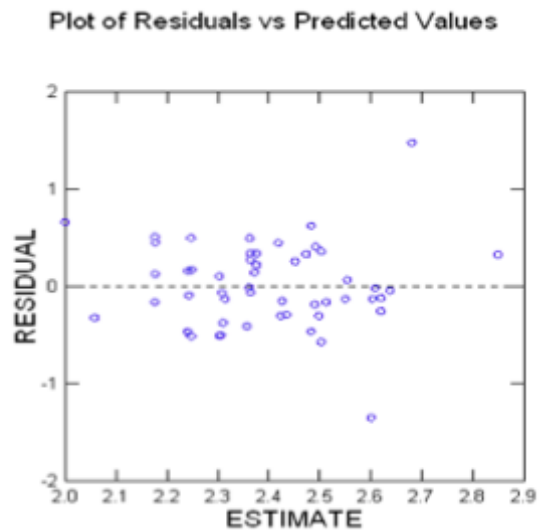
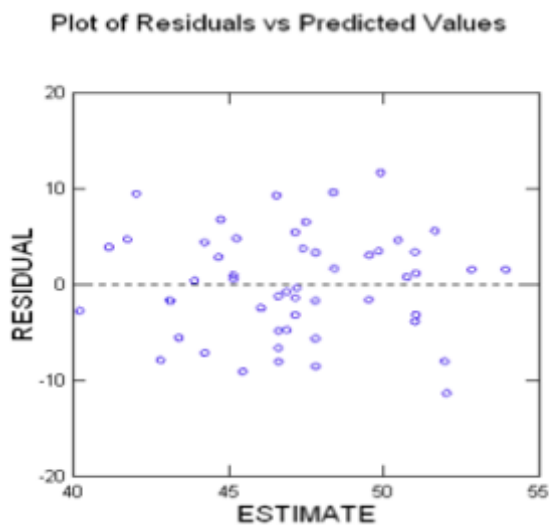


Tabela A.5: Relatório resumido do programa Systat das regressões do Sítio Florestal 1 Unini, imagem de 30/09/2008.

Dependente DENS				Dependente AB			
N	52			N	52		
R	0,511621			R	0,354172		
R <sup>2</sup>	0,261756			R <sup>2</sup>	0,125438		
R <sup>2</sup> ajust	0,231623			R <sup>2</sup> ajust	0,089742		
EPE	5,4845			EPE	0,45		
EPE%	11,63%			EPE%	18,59%		
Anova	0,000590			Anova	0,037486		

Efeito	Coefficiente	Tolerância	Valor-p	Efeito	Coefficiente	Tolerância	Valor-p
CONSTANT	-85,13	.	0,3557	CONSTANT	-13,2651	.	0,0750
REF7	-1405,11	0,9930	0,0009	NDVI	13,8126	0,95446555	0,11568789
NDVI	196,27	0,9930	0,0654	NDWI	8,9754	0,95446555	0,09133831



Continua...

Continuação...

Dependente VOL				Dependente BIO			
N	52			N	52		
R	0,359372			R	0,352240		
R <sup>2</sup>	0,129148			R <sup>2</sup>	0,124073		
R <sup>2</sup> ajustado	0,093603			R <sup>2</sup> ajustado	0,088321		
EPE	5,3872			EPE	7.997,06		
EPE%	20,25%			EPE%	16,89%		
Anova	0,033778			Anova	0,038946		

Efeito	Coefficiente	Tolerância	Valor-p	Efeito	Coefficiente	Tolerância	Valor-p
CONSTANT	-134,0561	.	0,1379	CONSTANT	-225.663,05	.	0,09116719
NDVI	175,1882	0,9581	0,0989	NDVI	236.197,84	0,95446555	0,13365904
W	828,5779	0,9581	0,0923	NDWI	165.949,72	0,95446555	0,08239847

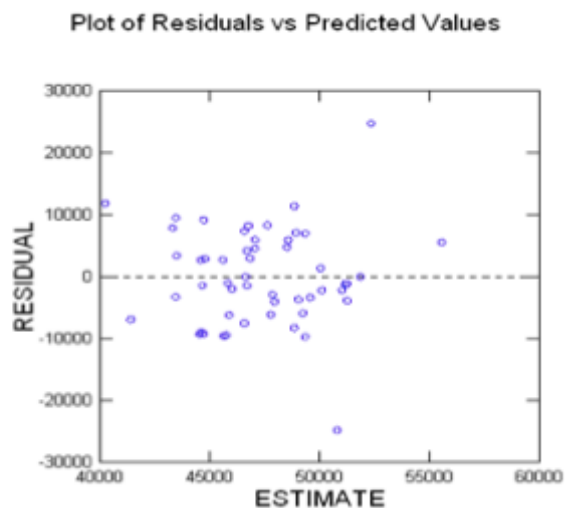
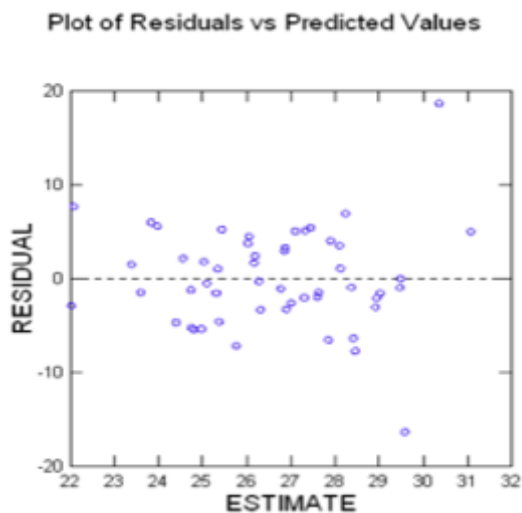
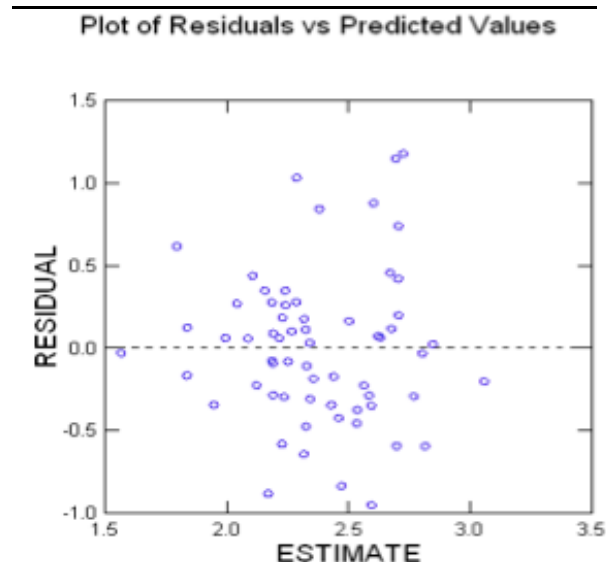
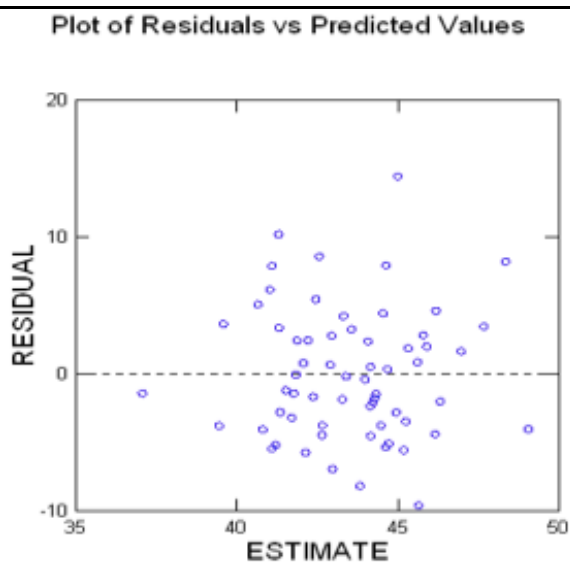


Tabela A.6: Relatório resumido do programa Systat das regressões Sítio Florestal 2 Maués, imagem de 07/07/2008.

Dependente DENS				Dependente AB			
N	63			N	63		
R	0,420529			R	0,530735		
R <sup>2</sup>	0,176844			R <sup>2</sup>	0,281679		
R <sup>2</sup> ajust	0,120075			R <sup>2</sup> ajust	0,232140		
EPE	4,929434			EPE	0,476189		
EPE%	11,33%			EPE%	20,05%		
Anova	0,021694			Anova	0,00062452		

Efeito	Coefficiente	Tolerância	Valor-p	Efeito	Coefficiente	Tolerância	Valor-p
CONSTANT	-77,73	.	0,1056	CONSTANT	13,6373	.	0,1004
ALT	0,20	0,7763	0,0222	ALT	0,0278	0,7047	0,0026
SAVI	2.880,00	0,0025	0,0342	REF1	439,3392	0,6319	0,0000
G	-6.030,00	0,0038	0,0678	REF3	-338,9880	0,3101	0,0564
TVI	-25,84	0,0382	0,0188	NDVI	-15,5382	0,3401	0,0720



Continua...

Continuação...

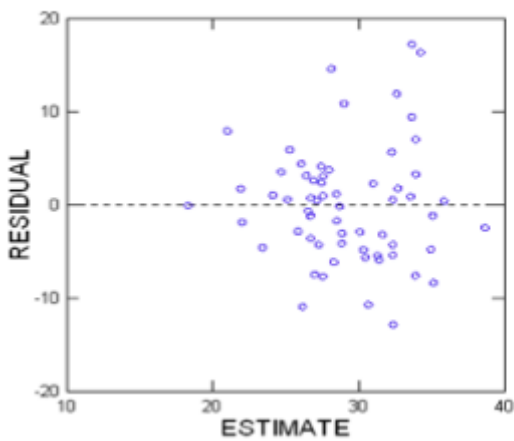
Dependente	VOL
N	63
R	0,538748
R <sup>2</sup>	0,290249
R <sup>2</sup> ajustado	0,241301
EPE	6,458322
EPE%	22,12%
Anova	0,000453

Dependente	BIO
N	63
R	0,527173
R <sup>2</sup>	0,277911
R <sup>2</sup> ajustado	0,228112
EPE	10.130,3600
EPE%	0,1818
Anova	0,00071817

Efeito	Coefficiente	Tolerância	Valor-p
CONSTANT	186,3400	.	0,0980
ALT	0,3558	0,7047	0,0044
REF1	6.192,5813	0,6319	0,0000
REF3	-4.845,2449	0,3101	0,0447
NDVI	-214,2283	0,3401	0,0675

Efeito	Coefficiente	Tolerância	Valor-p
CONSTANT	277.211,89	.	0,1161
ALT	625,72	0,7047	0,0015
REF1	9.105.017,56	0,6319	0,0000
REF3	-6.604.979,64	0,3101	0,0798
NDVI	-314.930,90	0,3401	0,0861

Plot of Residuals vs Predicted Values



Plot of Residuals vs Predicted Values

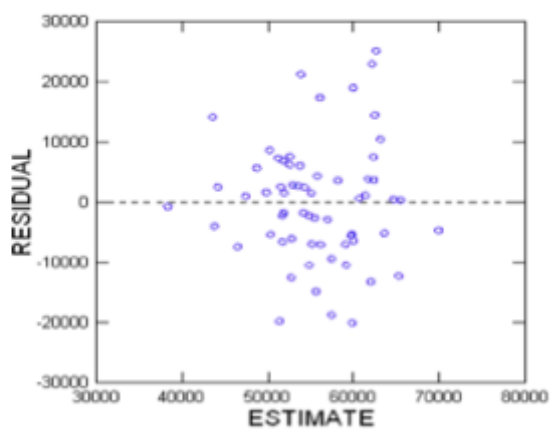
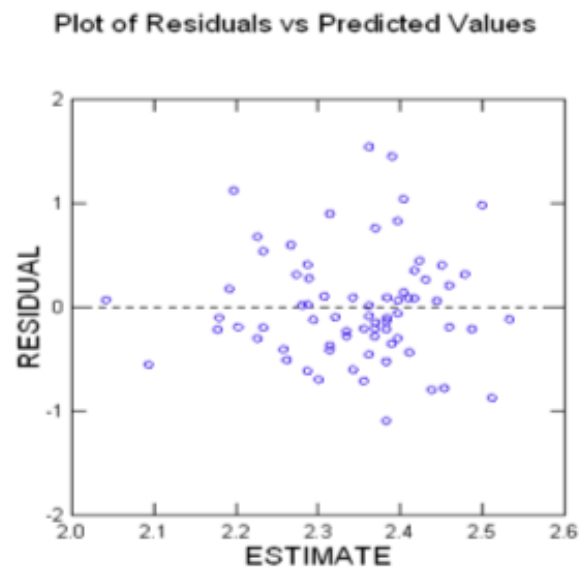
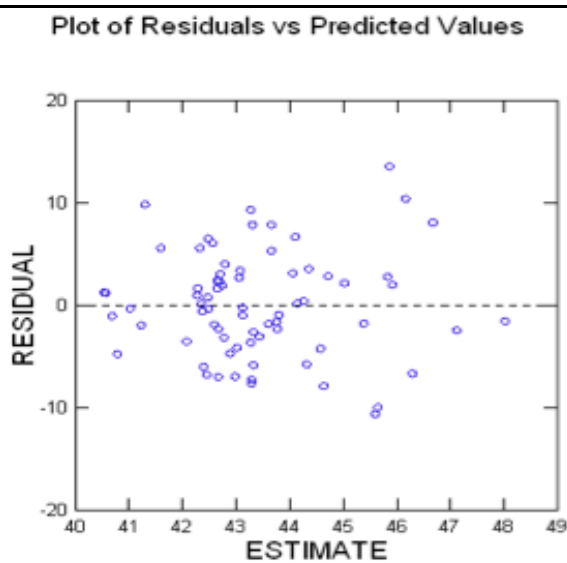


Tabela A.7: Relatório resumido do programa Systat das regressões do Sítio Florestal 2 Maués, imagem de 29/07/2010.

Dependente	DENS			Dependente	AB		
N	72			N	72		
R	0,292873			R	0,17741723		
R <sup>2</sup>	0,085775			R <sup>2</sup>	0,03147687		
R <sup>2</sup> ajust	0,016515			R <sup>2</sup> ajust	0,01764083		
EPE	5,284336			EPE	0,53068261		
EPE%	12,17%			EPE%	22,62%		
Anova	0,301278			Anova	0,135976		

Efeito	Coeficiente	Tolerância	Valor-p	Efeito	Coeficiente	Tolerância	Valor-p
CONSTANT	-151,06	.	0,1057	CONSTAN T	4,1049	.	0,0008
REF2	2.508,52	0,4751	0,0405	EVI	-4,6687	1	0,1360
REF3	19.658,33	0,0133	0,0492				
SR	18,57	0,0087	0,0368				
B	-2.369,10	0,0216	0,0374				
W	-1.773,64	0,1644	0,0395				



Continua...



Continuação...

Dependente VOL

N 72

R 0

R<sup>2</sup> 0

R<sup>2</sup> ajustado 0

EPE 7,28677922

EPE% 25,27%

Anova 1

Efeito	Coeficiente	Tolerância	Valor-p
CONSTANT	28,8349	.	0

Dependente BIO

N 72

R 0,2512669

R<sup>2</sup> 0,06313505

R<sup>2</sup> ajustado 0,03597955

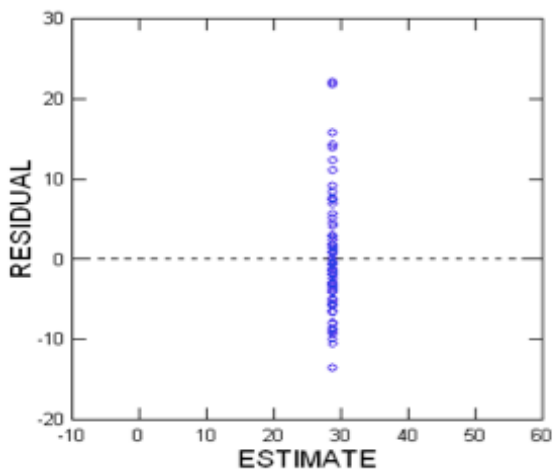
EPE 11.183,00

EPE% 20,31%

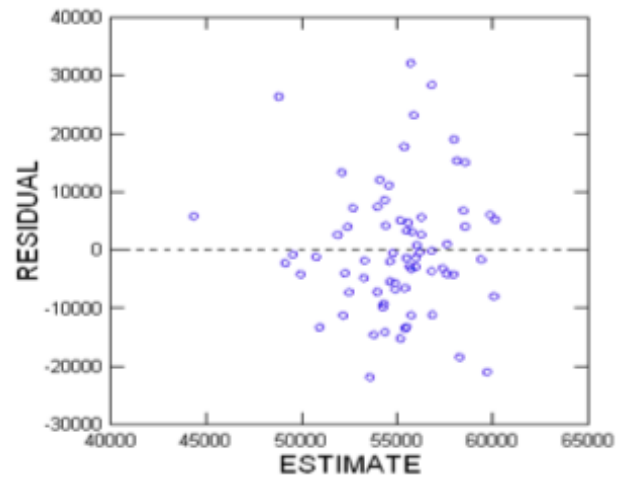
Anova 0,10540377

Efeito	Coeficiente	Tolerância	Valor-p
CONSTANT	78.816,23	.	0,0042
EVI	-182.234,43	0,5937	0,0348
NDWI	118.646,37	0,5937	0,1461

Plot of Residuals vs Predicted Values



Plot of Residuals vs Predicted Values



## APÊNDICE - B: Mapas temáticos (IBGE) do Sítio Florestal 1 Unini

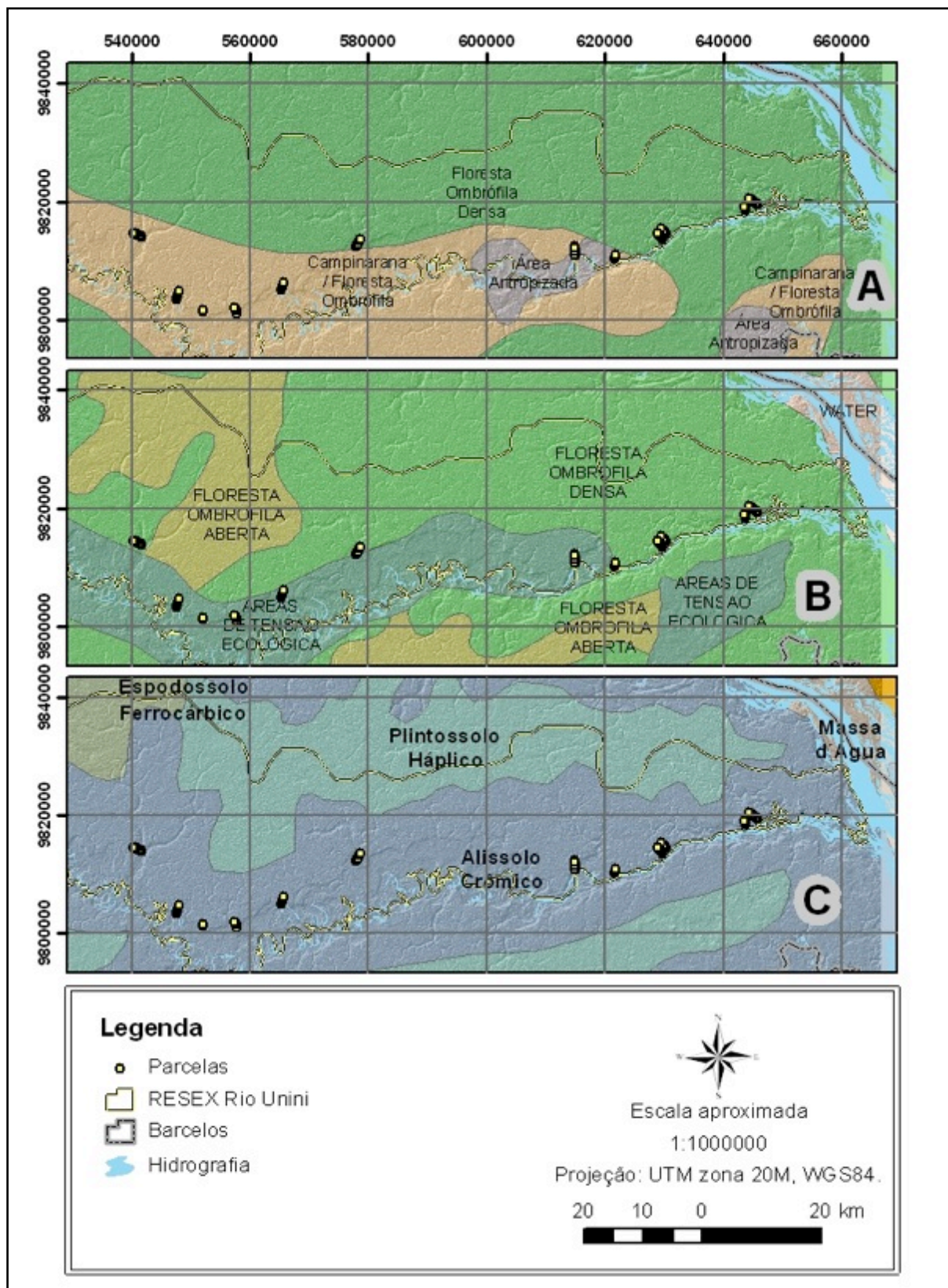


Figura B.1: Caracterização da vegetação e do solo da área de estudo.

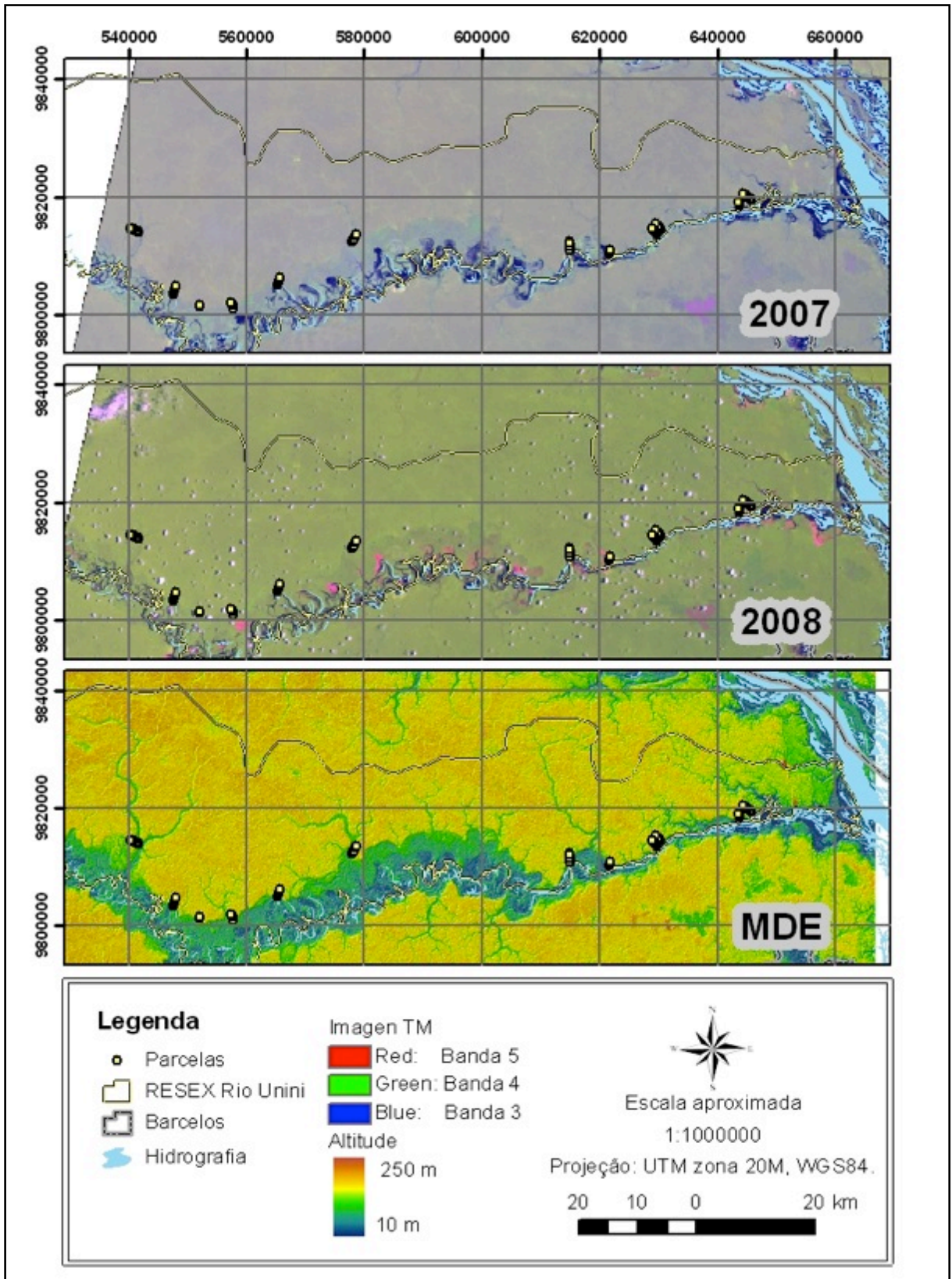


Figura B.2: Dados espectrais, imagens TM do Landsat 5 e MDE do SRTM.

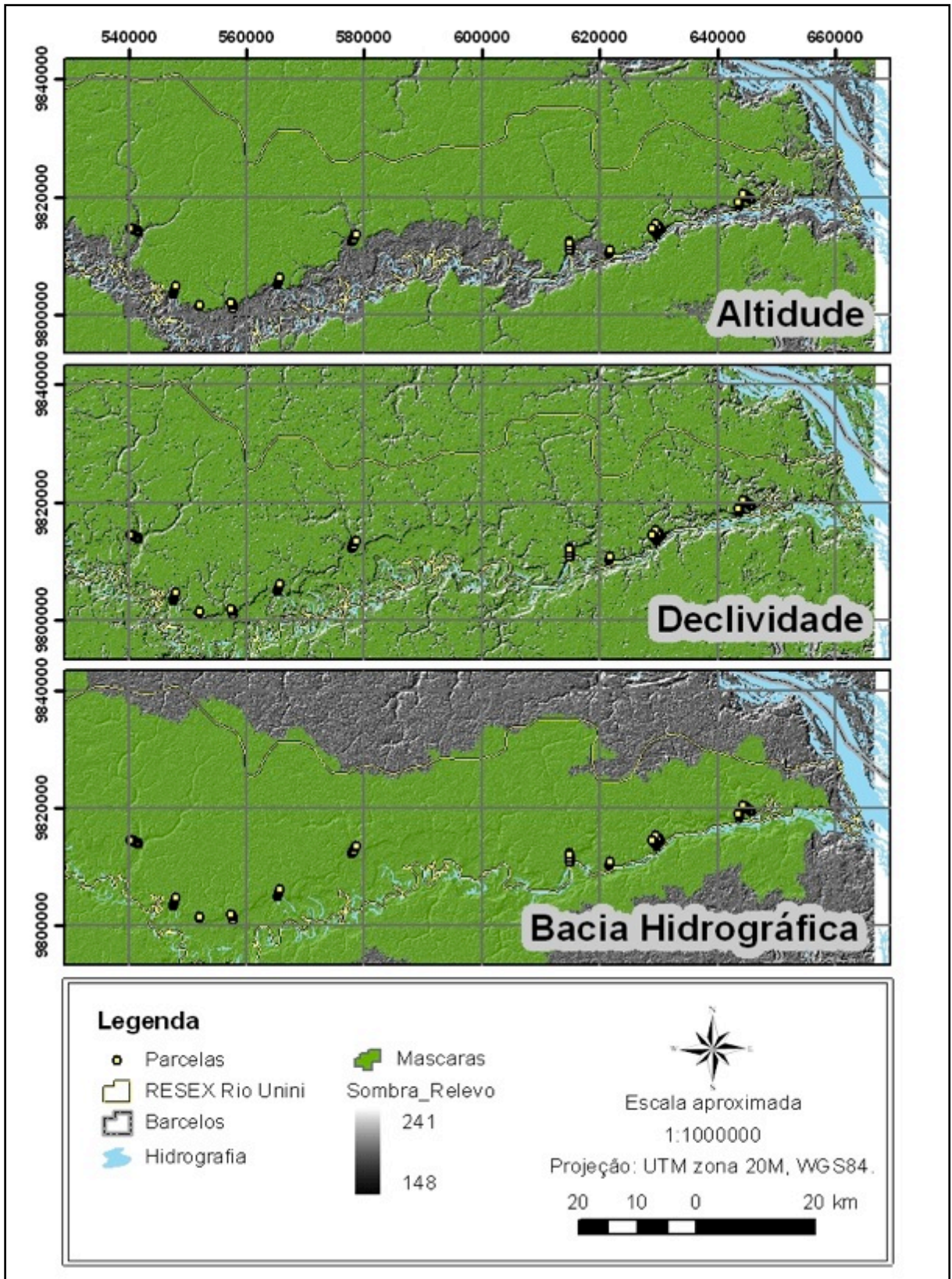


Figura B.3: As três máscaras derivado dos dados do MDE do SRTM.

## APÊNDICE - C: Mapas temáticos do Sítio Florestal 2 Maués

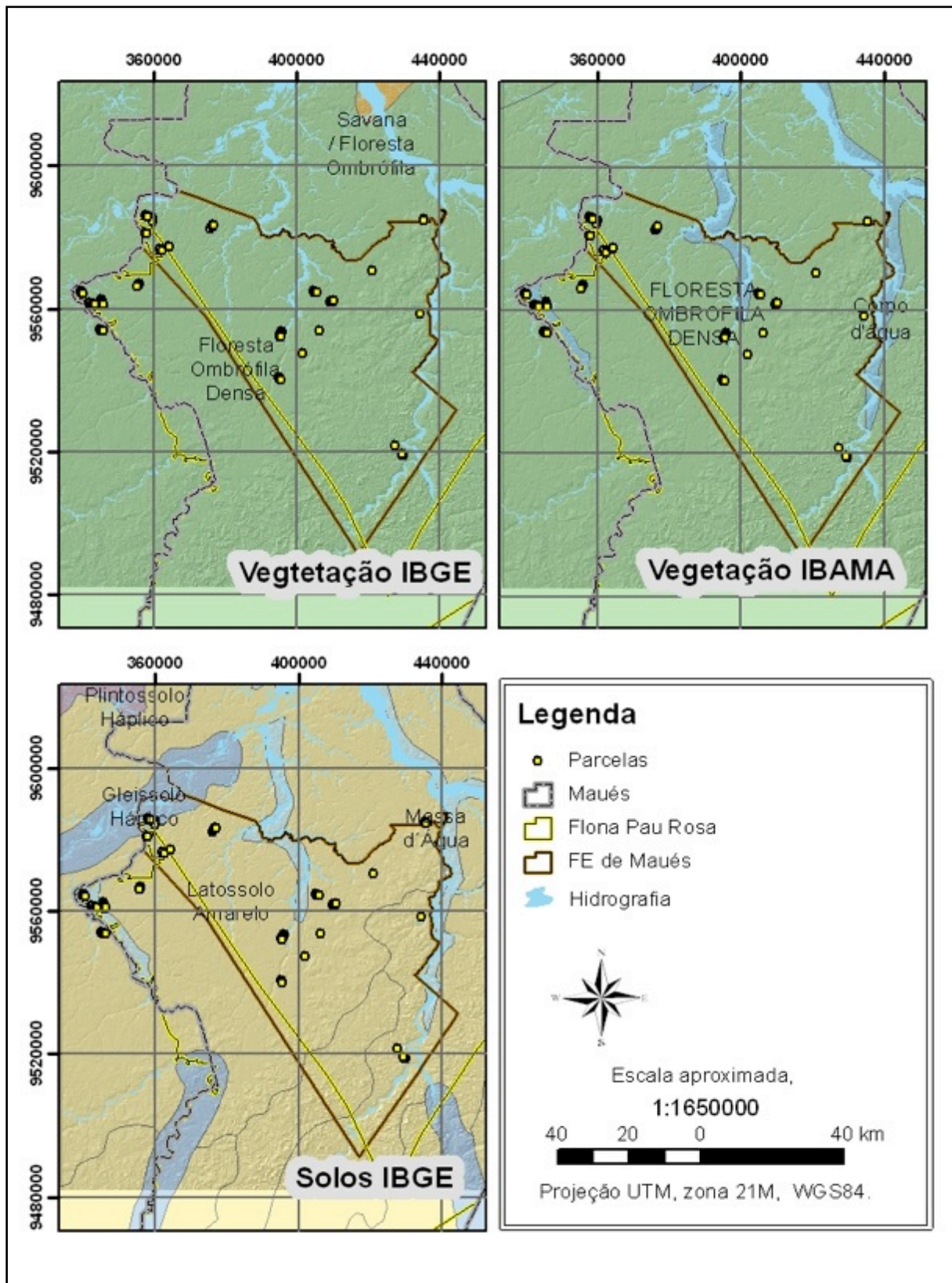


Figura C.1: Caracterização da vegetação e do solo da área de estudo

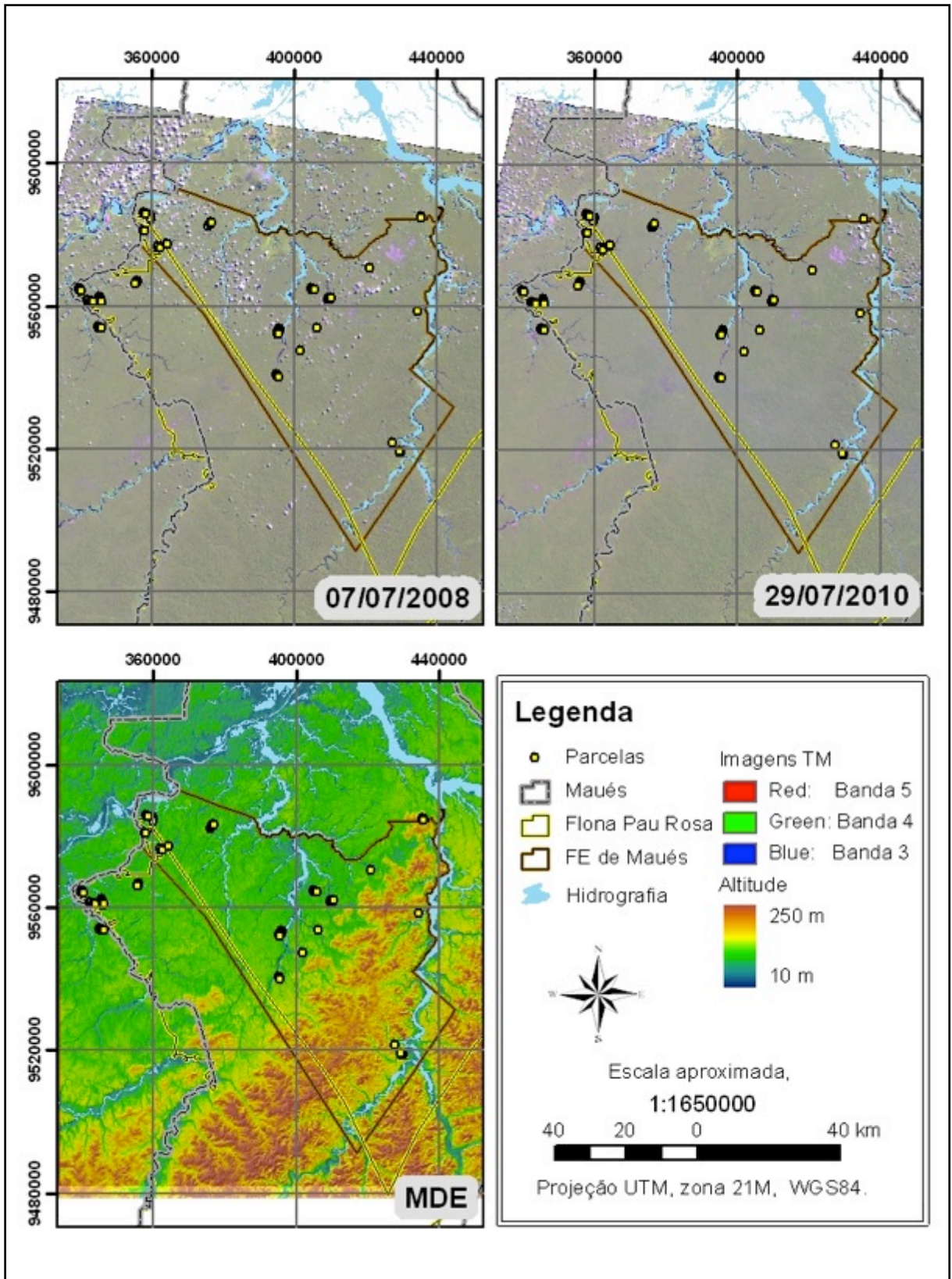


Figura C.2: Dados espectrais, imagens TM do Landsat 5 e MDE do SRTM

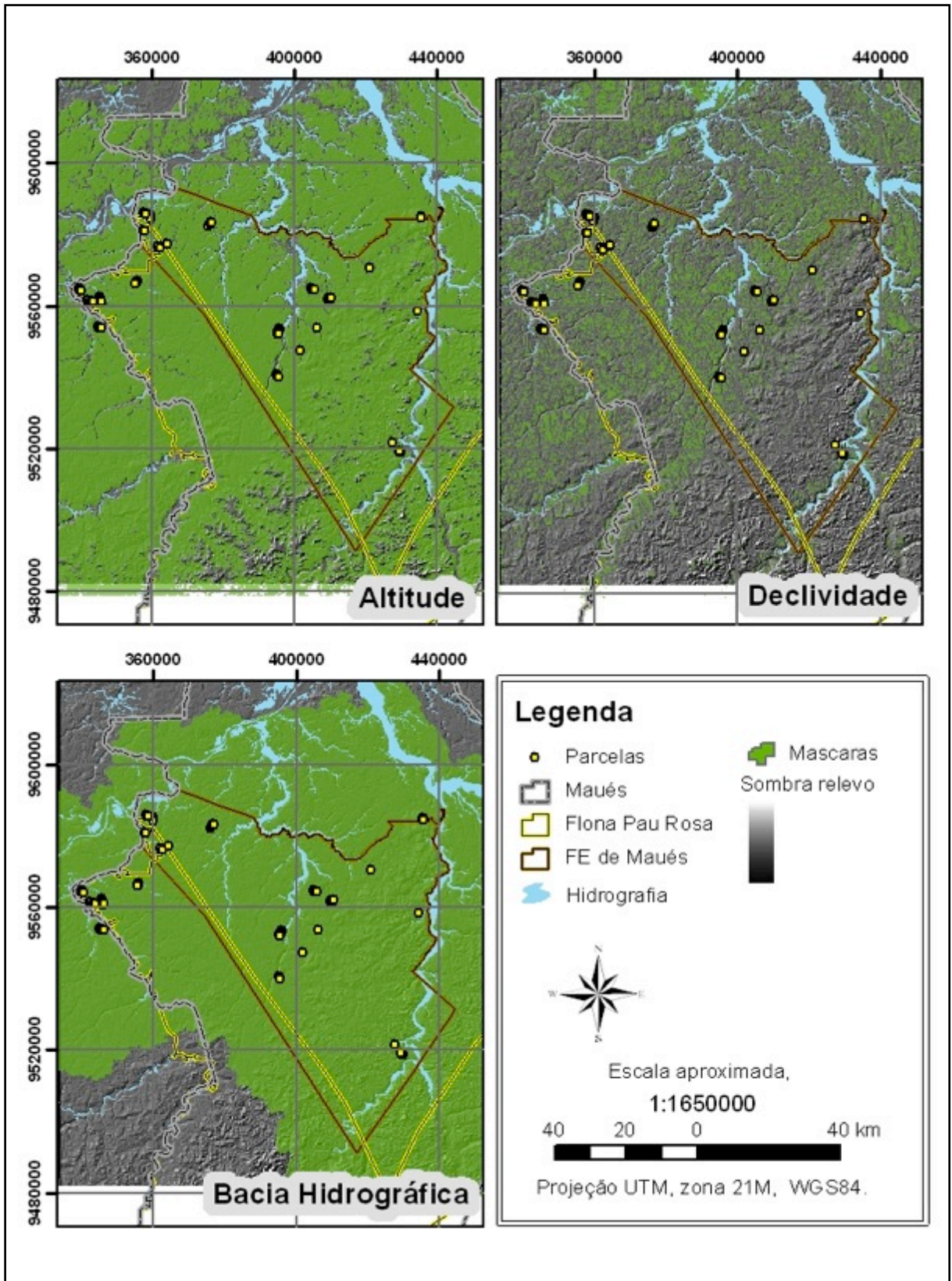


Figura B.3: As três máscaras derivado dos dados do MDE do SRTM.