

Estimativa de biomassa em uma floresta tropical no município de Maués – AM, Brasil

Carlos Henrique Souza Celes¹
Yosio Edemir Shimabukuro²
Moacir Alberto Assis Campos¹
Niro Higuchi¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA
Av. André Araújo, 2936, Aleixo, 69060-001, Manaus –AM, Brasil
{carlos.celes, moacir.campos, niro}@inpa.gov.br

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
yosio@dsr.inpe.br

Abstract. The remote sensing, geographic information system (GIS) and global positioning system (GPS) are important tools for the several steps of forest inventories, including estimates of biomass. The objective of this work was to consolidate a methodology for mapping or spatialization of the biophysical variables using field data and remote sensing techniques. The field data were available from continuous forest inventory system (IFC) in Maués (AM) region conducted by the Forest Management Laboratory at the National Institute of Amazonian Research (INPA-LMF). The remote sensing data were obtained from TM sensor of Landsat-5 satellite, and digital surface elevation model (MDS) of the SRTM mission. It was adjusted the equations and performed the classifications for the estimates and spatialization of the biophysical variables. The study area presented an average of $485.3 \pm 1.9\%$ individuals per hectare and $578.3 \pm 3.4\%$ tons per hectares of fresh biomass. The adjusted equations not fit the data. The highest adjusted R^2 was 0.24 for the volume and the density presented the best residual distribution. The spatialization of biomass was performed using the isocluster classification of the topography, including elevation, slope and curvature. The extrapolation of the biomass and carbon was 662,6 $\pm 13\%$ 189,2 million tons, respectively were estimated for the forest (11,6 km²) in study area.

Palavras-chave: forest inventories, remote sensing, image processing, carbon, inventário florestal, sensoriamento remoto, processamento de imagens, carbono.

1. Introdução

A quantificação da biomassa da vegetação é importante para compreensão dos fluxos de Carbono, principalmente devido ao desmatamento e distúrbio nas florestas. Necessário para compreender a suscetibilidade das florestas as mudança. projetos para geração de créditos de Carbono como por exemplo da modalidade REED geram demanda para a elaboração de métodos que quantifiquem o Carbono estocado na vegetação (Myneni *et al*, 2001; Foody *et al.*, 2003). Esses métodos ainda precisam ser confiáveis, replicáveis e auditáveis para estarem no padrão do IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) (Ally *et al.*, 2007). O desenvolvimento da geotecnologia ou geoprocessamento no inventário florestal de Carbono é essencial para se alcançar a qualidade esperada.

Zerbine *et al.* (1995), Bernardes (1998), Araujo (1999), Matos (2006) geraram equações correlacionando a biomassa em florestas tropicais com dados espectrais do sensor TM do Landsat-5. Os índices de vegetação são frequentemente usados nestas estimativas. O Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) é outra ferramenta de processamento digital usada. Ele considera que a radiação detectada por um sensor é resultado de uma combinação ou mistura de alvos presentes na superfície terrestre, adicionada a contribuição atmosférica (Shimabukuro e Smith, 1991). As análises de texturas baseadas na média e na variância e assim como a classificação não supervisionada isocluster também podem ser utilizadas nos ajustes de equações.

Na Amazônia Central, cerca de 30% da variação espacial da biomassa está relacionada com a textura do solo e com a topografia (Laurance *et al.*, 1999; Castilho *et al.*, 2006). Os modelos digitais de elevação fornecem a altitude do terreno (MDE) ou da superfície (MDS) em forma digital, possibilita gerar diversos subprodutos como redes hidrográficas, bacias, declividade e classificação das topo sequencias. A missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) realizada em 2000, derivou em MDS em que os dados digitais possuem grande congruência com dados de elevação medidos em campo (Schietti *et al.*, 2007).

O trabalho de Salimon *et al.* (2011) e Saatchi *et al.* (2010) estima o Carbono para as florestas tropicais. A semelhança entre os métodos é a utilização de uma classificação para a realização das estimativas de médias pelas classe. As dificuldades é a falta de um sistema de parcelas padronizadas e bem distribuídas para a realização das estimativas de biomassa em campo.

Os Inventários florestais contínuos (IFC) do Laboratório de Manejo Florestal (LMF-INPA) cobrem grandes extensões em diversos pontos do estado do Amazonas com mais de duas mil parcelas alocadas. Somada a grande disponibilidade de imagens de sensores remoto como a do TM Landsat-5 e MDS do SRTM é muito provável que estes projetos de Carbono para a floresta tropical sejam viáveis, que atenda as exigências do IPCC. O presente trabalho teve como objetivo consolidar uma metodologia para a espacialização ou mapeamento das variáveis biofísicas em uma floresta tropical no município de Maués-AM, Brasil utilizando os dados acima apresentados.

2. Metodologia do trabalho

A área de estudo compreendendo os rios Paraconi, Apoquetaua e Parauari no município de Maués no estado do Amazonas próximo à divisa com o estado do Pará (Figura 1), apresenta o predomínio do Latossolo Amarelo Distrófico e da Floresta Ombrófila Densa de terras baixas (Veloso *et al.*, 1991). O clima “Am,” da classificação de Köppen-Geiger, (“A”) megatérmico, em que o mês mais frio é acima dos 18°C com (“m”) precipitações anuais acima dos 1500 mm mais um período com precipitação mensais menores de 60 mm, (Kottek *et al.*, 2006). Apesar do período de menor precipitação, a situação é de ausência de um período biologicamente seco (Veloso *et al.*, 1991).

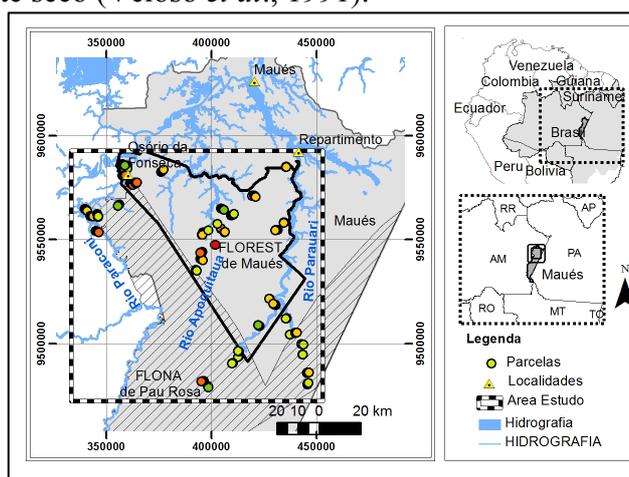


Figura 1: Localização das parcelas alocadas na FLONA de Pau Rosa e na FLOREST de Maués.

2.1 Dados de campo - Inventário Florestal (IF)

Os dados de campo são provenientes de três inventários florestais, dois realizados na Floresta Nacional (FLONA) de Pau Rosa, no mês de fevereiro de 2009 e agosto de 2011, e um na Floresta Estadual (FLOREST) de Maués no mês de maio de 2010. Parcelas de 20 x

125 m foram sistematicamente alocadas na forma de transectos ou na forma de conglomerados. Um receptor de GPS, Modelo GPSmap 60CSx da Garmim, foi empregado para registro da localização das parcelas. A quantidade de parcelas com pontos de GPS foi de 57, 46 e 74 em cada inventário, totalizando 177 parcelas.

Todos os indivíduos arbóreos vivos, com DAP maior ou igual a 10 cm foram mensurados com uma fita diamétrica e identificada pelo seu nome popular. Coletas botânicas foram realizadas para análise no herbário do INPA. A cubagem das árvores caídas, naturalmente ou derrubadas foi realizada para o ajuste de uma equação volumétrica e cálculo da altura dominante, tendo em vista a correção da equação de biomassa.

A Área Basal (AB), o volume comercial (VOL), a biomassa fresca total (BIO), densidade (DENS) e o número de indivíduos, foram calculadas para cada parcela. No cálculo do volume foram utilizadas as equações ajustadas com os dados da cubagem das madeiras caídas para cada inventário. (Tabela 1). No cálculo da biomassa fresca total foi utilizada a Equação 1 ajustada por Silva (2007) para a região de Manaus corrigido por um fator de correções “*fc*” (Equação 2), que utiliza a Altura dominante (*Hdom*) da floresta. Segundo Silva, (2007) o conteúdo de Carbono é obtido, retirando-se o teor de água (41,6%) e multiplicando-se a massa seca pelo teor de Carbono (48,9%), resultando na Equação 3.

Tabela 1: Equações de volume, número de árvores caídas medidas (N), Altura dominante do sítio inventariado, (*Hdom_{inv}*) e fator de correção para biomassa (*fc*) dos Inventários Florestais.

Mês/Ano	Inventário	Equação VOL	N.	<i>Hdom_{inv}</i>	<i>fc</i>
02/2009	FLONA de Pau Rosa	$VOL = 0,000567 * DAP^{2,1462}$	303	30,2	1,0559
05/2010	FLOREST Maués	$VOL = 0,000740 * DAP^{2,068801}$	202	30,4	1,0629
08/2011	FLONA de Pau Rosa	$VOL = 0,000695 * DAP^{2,050465}$	162	28,6	1

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

$$fc = \frac{Hdom_{inv}}{Hdom_{ref}} \quad (2)$$

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

Onde: *fc* é a razão entre as alturas dominantes do sítio inventariado (*Hdom_{inv}*) e do sítio da equação (*Hdom_{ref}* = 28,6 m). Neste caso, como a variável altura dos indivíduos em pé é de difícil mensuração, a altura dominante é a média da altura de 20% das árvores caídas com maior DAP (Tabela 1).

2.2 Dados do Sensoriamento Remoto

Os dados das 6 bandas na região óptica do sensor TM do satélite Landsat-5 foram utilizados e obtido gratuitamente pela USGS (*United States Geological Survey*), com correção geométrica pelo terreno, produto “L1T”, órbita/ponto 229/63 e de 17/08/2011. A segunda fonte de dados foi o Modelo Digital da Superfície (MDS) da missão SRTM da NASA em 2000. Dados disponibilizados pela Embrapa CNPM e foram selecionadas as cartas SA-21-Y-D e SB-21-V-A, de acordo com a nomenclatura de cartas correspondentes. Outra fonte de dados utilizado foram os vetores elaborados pelo projeto PRODES-INPE.

Todos os dados tiveram suas projeções ajustadas para UTM Zona 20 M, Datum WGS84. Nas 6 bandas TM foi aplicada a correção atmosférica do FLAASH, disponível no *software* ENVI. Em seguida foram calculados sete índices de vegetação: Razão simples (SR), Índice de Vegetação por diferença normalizada (NDVI), Índice de Vegetação Ajustado ao Solo

(SAVI), Índice de Vegetação realçado (EVI), Índice de Umidade por Diferença Normalizada (NDWI), Índice de Vegetação Triangular (TVI) e Transformação Kauth-Thomas (Brightness (B), Greenness (G), and Wetness (W)). A análise de mistura espectral foi aplicada utilizando as 6 bandas espectrais do TM para produzir as imagens fração vegetação, solo e sombra. Os *endmembers* puros foram determinados pelas curvas espectrais (*Z-profiles*) mais características de cada *endmembers* na imagem estudada.

A declividade (DECLI) e as imagens curvatura do terreno (CRUVA) foram geradas a partir do MDS. Uma classificação não supervisionada *isocluster* foi aplicada nas 6 imagens-reflectância, com 100 (ISO_100) e 20 (ISO_20) diferentes classes, e nas três imagens derivadas do SRTM (MDS, DECLI e CRUVA) com 20 diferentes classes (ISO_SRTM). A análise de textura com matriz de ocorrência 3 x 3 e 5 x 5 células, calculando a média, a variância, o desvio padrão, a soma e a amplitude dos *pixels* também foi aplicada para todas as imagens originais e derivadas. Todas as imagens foram sobrepostas aos centróides das parcelas e o valor do pixel coincidente foi coletado para cada parcela.

2.3 Análise estatística

Equações foram ajustadas para o melhor entendimento das relações entre as variáveis biofísicas (dependentes) e as variáveis derivadas de sensores remotos (independentes). O algoritmo *Stepwise backward* foi utilizado para escolha das variáveis independentes mais significativas. Os parâmetros para seleção das variáveis independentes foram: valor de tolerância maior que 0,5, afim de evitar a multicolineariedade e valor de *p* maior que 0,05 para remoção das variáveis menos representativas. Os valores de tolerância foram sendo mais restritos até a obtenção de 3 a 4 variáveis independentes por equação.

O método de classificação não supervisionada foi utilizada para a espacialização das variáveis biofísicas. Neste caso foi utilizado somente as imagens ISO_20 e ISO_SRTM. O primeiro ISO_20 são as Classe espectrais de 1 a 20 e o segundo ISO_SRTM são classes topográficas de 1 a 20. A média foi calculado para cada classe. Posteriormente foi utilizado estas estimativas para a espacialização da biomassa, utilizando também os dados do PRODES-INPE para isolar as área de hidrografia, desflorestamento e da vegetação não florestal da floresta. As classes topográficas que não possuíram mais de 4 parcelas formaram as classes sem dados.

3. Resultados e discussão

O inventário na FLONA 2009 e no inventário na FLOREST obtiveram valores semelhantes das variáveis biofísicas (629,3 t/ha \pm 5,48% e 594,0 t/ha \pm 4,65%). Já no inventário na FLONA em 2011, região de maiores altitudes, mostrou-se com menores valores das variáveis biofísicas (490,0 t/ha \pm 6,12%). Assim como o valor da Altura dominante que foi menor na região com a topografia mais movimentada (Tabela 1). Keller *et al.* (2001), trabalhando na Floresta Nacional de Tapajós, estimaram uma biomassa acima do solo, para DAP > 35 cm, de 372 t/ha. Higuchi *et al.* (1993) ajustaram um modelo de biomassa para região de Manaus e aplicando a equação em duas regiões, uma no sul do Pará e outra no sul de Roraima, estimaram uma biomassa de 306,8 t/ha e 377,4 t/ha, respectivamente para DAP > 25 Considerando as diferenças no método do cálculo da biomassa, os valores encontrados neste trabalho foram próximos. O trabalho de Lima (2010) avaliando o Sistema de Inventário Florestal Contínuo (IFC) do LMF-INPA, apresenta uma lista de 16 sítios no Estado do Amazonas com os valores de biomassa fresca variando de 404 t/ha em uma área manejada de Lábrea, a 687 t/ha em uma área em Manaus.

3.1 Análise das regressões

A equação para a variável Volume foi o que obteve o melhor coeficiente de determinação e pior erro padrão da estimativa ($R^2 = 0,26$ e $EPE\% = 24,5$); seguido pela Área Basal (G) com $R^2 = 0,21$ e $EPE\% = 21,5$; Biomassa com $R^2 = 0,19$ e $EPE\% = 20,6$; e Densidade com $R^2 = 0,07$ e melhor $EPE\% = 12,5$. Os valores de tolerâncias das variáveis independentes são altos, indicando que não há multicolineariedade. O comportamento semelhante entre as variáveis G, VOL, e BIO era esperado, entretanto as imagens escolhidas para as equações foram diferentes (Tabela 2).

Tabela 2: Equações ajustadas de cada uma das variáveis biofísicas, com os respectivos valores de coeficiente, tolerância e probabilidade das variáveis independentes.

$DENS = 445,3 + 0,4443.B1_REF_MEAN_3X3 - 0,1954.ERRO_MMS_VAR_3X3 + 7,219.SLOPE_MEAN_5X5$			
Tolerância	0,89	0,99	0,89
P	0,015	0,035	0,011
$G = 63,1 - 27,48.EVI_MEAN_3X3 - 0,000093.B_CAP_VAR_5X5 + 0,1018.ALT - 0,9491.SLOPE_SD_5X5$			
Tolerância	0,83	0,96	0,81
P	0,00000	0,013	0,0011
$VOL = 419,3 + 1,502.B1_REF_MEAN_5X5 - 6,426.SR + 0,363.T_CAP_MEAN_3X3 - 4,002.ISO_RANG_5X5$			
Tolerância	0,94	0,92	0,90
P	0,00000	0,013	0,039
$BIO = 1831,3 - 695,358.EVI_MEAN_5X5 - 0,61193.T_CAP_MEAN_3X3 - 6,9373.ISO_RANG_5X5$			
Tolerância	0,914	0,917	0,99
P	0,00000	0,0349	0,0079

As imagens da análise de textura, tanto da média, como da variância, foram frequentes nas equações. Mas neste caso, as regiões com maiores variâncias estão na porção da topografia mais movimentada. As variáveis texturas, variância, desvio e amplitude aparecem com sinal negativo nos coeficientes das quatro equações (Tabela 3), demonstrando a tendência da região mais alta e mais acidentada possuir menor biomassa. Apesar da forte significância das equações, elas explicam pouco a variação da dependente em todas as equações.

O resultado dos ajustes foram mais baixos que os encontrados 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. Encontrou-se uma equação linear entre a biomassa e o SAVI com um R^2 de 0,74. Foi determinado também que o índice SAVI cai de 0,47 para 0,36 na floresta secundária, após determinado ponto de amadurecimento. O trabalho de Bernardes (1998) também fez uso de floresta primária e secundária, em diferentes estágios de sucessão. Entretanto, o comportamento somente para as florestas primárias pode ser bem diferente como se pode inferir dos gráficos de Bernardes (1998). E Matos (2006), encontrou um R^2 que decaiu com o aumento da área, indo de 0,546 para uma área de 400 m², $R^2 = 0,451$ para área de 900 m² e $R^2 = 0,24$ para área de um hectare

A distribuição dos resíduos da densidade foi a que apresentou os menores valores, variando entre $\pm 40\%$ do valor estimado. Enquanto que para as outras variáveis, os resíduos foram maiores, chegando a variar $\pm 70\%$ das estimativas. A distribuição dos resíduos colabora para justificar o baixo desempenho no ajuste das equações. Alguns fatores que podem estar influenciando são: As poucas variações (Variância) que os dados espectrais e das variáveis biofísicas apresentam, a qualidade do sensor TM do Landsat-5, problemas de brumas e ruídos na imagem e a função de distribuição bidirecional da reflectância (BRDF – do inglês, *bidirectional reflectance distribution function*) (Toivonen *et al.*, 2006).

3.2 Espacialização

A distribuição das parcelas pelas classes espectrais e topográficas foram desuniforme. O número de parcelas foi maior do que 4 para as classes espectrais 12, 14, 15, 16, 17 e 18 e para as classes topográficas de 4 a 16 (Figura 3-A). A classe espectral 18 com valores de biomassa mais baixos, representa as feições nas imagens correspondentes às florestas secundárias e das regiões de maior iluminação por causa da topografia, com algumas florestas de igapó com dossel fechado e plantios (Figura 3-B). A classe espectral 12 representa área florestada nas regiões sombreadas do relevo que se confundem com campinaranas e florestas de igapó com dossel mais aberto (água preta aparente). Essa classe ocorre com mais frequência na região mais acidentada da área de estudo.

A Figura 3-C demonstra o gráfico da média da biomassa pelas classes topográficas, que apresenta um comportamento polinomial de terceira ordem, explicando 75% da variação da média da biomassa nas classes. Nota-se que quando o terreno é declivoso a tendência é de possuir menor biomassa. Entretanto, para a variável densidade, as relações com as imagens das classes topográficas não foram tão nítidas. A tendência geral é de diminuir o número de indivíduos com o aumento das classes topográficas (Figura 3-C).

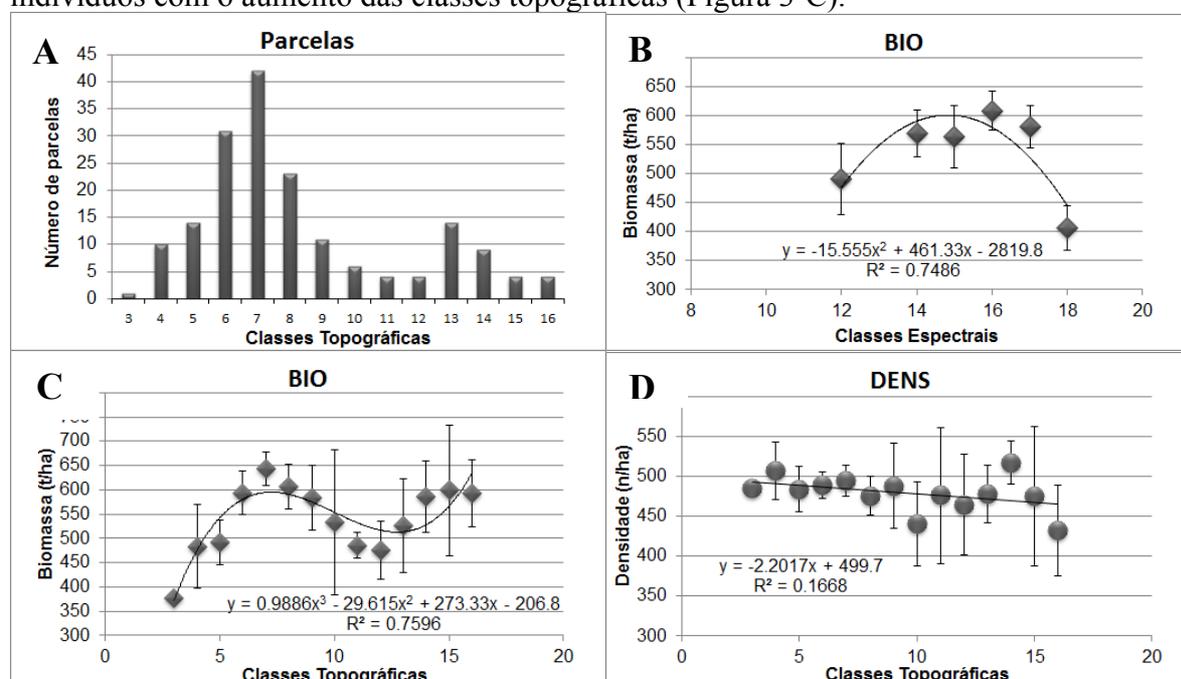


Figura 3: Gráficos A números de parcelas e B numero de árvores por classe; C biomassa por classes espectrais e D por classes topográficas; E Relação da biomassa com a altitude e declividade das classes topográficas para a região de Maués.

As classes topográficas demonstram duas regiões bem distintas, sendo uma de topografia mais suave na porção noroeste e outra mais movimentada a sudeste. Na região mais suave, a biomassa vai crescendo à medida que se afasta dos rios até alcançar as porções mais altas com as menores incertezas (Figura 4). Quando a altitude e a declividade do terreno fica mais acentuada a biomassa diminui. A biomassa volta a crescer quando chega nas áreas altas de platô ou chapadões, mais próximo dos divisores d'água n porção sudeste onde a topografia é mais movimentada, com as maiores incertezas (Figura 4). As áreas com altitude maior de 100 metros não foram amostrados. Empiricamente podemos realizar uma extrapolação nestas regiões mais altas considerando que a média da biomassa não deve ser estatisticamente diferente da média das ultimas classes, entretanto uma verificação de campo nesta região é importante pois são região de difícil acesso, podendo representar uma floresta com estrutura singular, devido sua conservação.

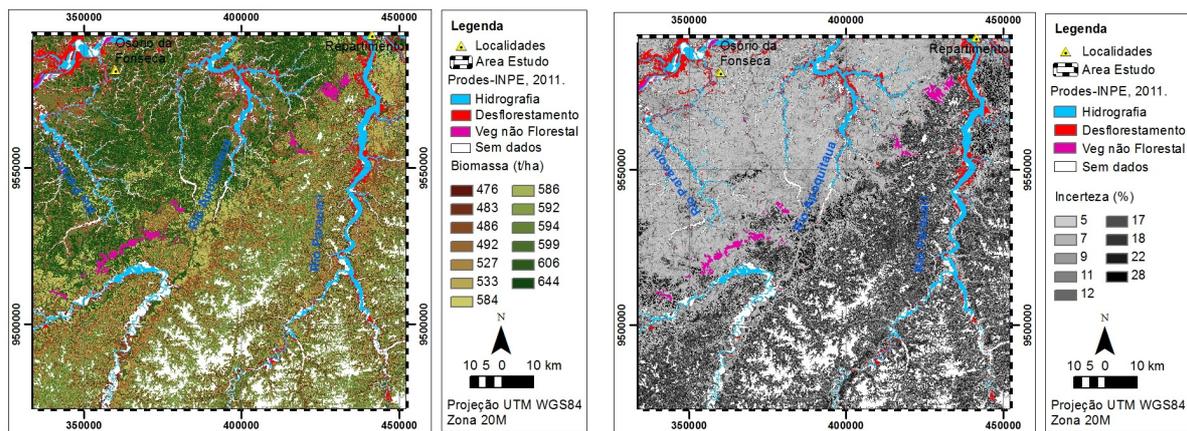


Figura 4: Estimativas e incertezas dá média do estoque de biomassa por classes topográficas.

Os estoques de biomassa e carbono para uma área de estudo, que possui um total 14,4 mil km² e uma área de floresta amostrada de 11,6 mil km² foram de 662,5 e 189,2 milhões de toneladas, respectivamente. O estoque total da área de estudo pela classificação foi menor que pela simples extrapolação do valor médio da variável biomassa (672,9 milhões de toneladas) para uma a mesma área. Esta diferença foi de 10 milhões de toneladas de carbono que representa a 1,48% do estoque de carbono da área. A vantagem da classificação é a utilização desta informação para projetos menores, subsidiando os planos de manejo das unidades de conservação de acordo com o carbono estocado. Esta estimativa especializada de biomassa podem ser utilizado juntamente com os dados de desmatamento para elaboração de linha de base para um projeto de carbono.

4. Conclusões

A distribuição da biomassa na área de estudo é heterogênea. Áreas mais planas e mais baixas (altitude média de 50 metros) possuem maior biomassa que áreas planas mais altas (~90 metros). A altura do lençol freático das regiões planas baixas deve explicar a maior biomassa nestas regiões. Enquanto que regiões mais declivosas são naturalmente mais instáveis devido a gravidade atuando nestas áreas favorecendo a queda dos indivíduos, diminuindo a sua biomassa da área, mais isto não influem no numero de indivíduo.

O método da classificação não supervisionada da topografia utilizando a altitude, a declividade e a topografia da região é simples, demanda pouco processamento e explicou bem a variação da biomassa nesta regiões.

A replicação deste método em outras áreas, com os mesmos tipos de dados de campo e imagens pode ser executada devido ao método de IFC consolidado do LMF-INPA através do projeto CADAF e a disponibilidade de imagens gratuitas do SRTM e Landsat TM. Este fato é importante para aplicabilidade do método para uma região similar ou de maior tamanho.

Agradecimentos

Agradecemos às pessoas envolvidas diretamente nos inventários de campo, que com perseverança permanecem meses inteiro dentro da floresta. Às instituições LMF, INCT, CADAF, INPA, INPE, CNPQ, FAPEAM, ICMbio, CEUC-AM que viabilizam a execução destes inventários. Muito importante lembrar de agradecer o papel dos comunitários que vivem nestas regiões, além do suporte logístico e o contato social que fortalece a importância da conservação da floresta.

Referências Bibliográficas

- Alley, R. *et al.* **Contribuição do Grupo de Trabalho I para o Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima: Sumário para os Formuladores de Políticas.** 26/04/2007. Avaliado da Internet: http://www.cptec.inpe.br/mudancas_climaticas/.
- Araujo, L.S.D. **Análise da cobertura vegetal e de biomassa em áreas de contato floresta/savana a partir de dados TM/LANDSAT e JERS-1.** 129p. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 1991.
- Bernardes, S. **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.** 97p. Dissertação de mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 1998.
- Castilho, C.V.; Magnusson, W. E.; Araújo, R. N. O.; Luizão, R. C.; Luizão, F. J.; Lima, A. P.; Higuchi, N. Variation in aboveground tree live biomass in a central Amazonian forest: effects of soil and topography. **Forest Ecology and Management**, v.234, p. 85-96, 2006.
- Foody, G.M.; Boyd, D.S.; Cutler, M.E.J.. Predictive relations of tropical forest biomass from Landsat TM data and their transferability between regions. **Remote Sensing of Environment**, v.85, n.4, p. 463-474, 2003.
- Higuchi, N.; Santos, J.M.D.; Imanaga, M.; Yoshida, S. Aboveground biomass estimate for Amazonian dense tropical moist forests. **Memoirs of the Faculty of Agriculture, Kagoshima**, v.30, n.39, p. 43-54, 1993.
- Keller, M.; Palace, M.; Hurtt, G. Biomass estimation in the Tapajos National Forest, Brazil. Examination of sampling and allometric uncertainties. **Forest Ecology and Management**, 154 371-382, 2001.
- Kottek, M.; Grieser, J.; Beck, C.; Rudolf, B.; Rubel, F. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorol. Z.** V. 15, n.3, p. 259-263, 2006.
- Laurance, W.F.; Fearnside, P.M.; Laurance, S.G.; Delamonica, P.; Lovejoy, T.E.; Rankin-de-Merona, J.M.; Chambers, J.; Gascon, C. Relationship between soils and Amazon forest biomass: a landscape-scale study. **Forest Ecology and Management**. v. 118, p. 127-138, 1999.
- Lima, A. J. N. **Avaliação de um Sistema de Inventário Florestal Contínuo em áreas manejadas e não manejadas do Estado do Amazonas (AM).** 183p. Tese de Doutorado. Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia, Manaus, 2010.
- Matos, F.D.D.A. **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.** 147 pp. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.
- Myneni, R.B.; Dong, J.; Tucker, C.J.; Kaufmann, R.K.; Kauppi, P.E.; Liski, J.; Zhou, L.; Alexeyev, V.; Hughes, M.K. A large carbon sink in the woody biomass of Northern forests. **PNAS**, v.98, n.26, p. 14784-14789, 2001.
- Saatchi S.S.; Harris, N. L.; Brown, S.; Lefsky, M.; Mitchard, E.T. A.; Salas, W.; Zutta, B. R.; Buermann, W.; Lewis, S. L.; Hagen, S.; Petrova, S.; White, L.; Silman, M e Morel, A. Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. **PNAS**, v.108 n.24 p.9899–9904, 2010.
- Salimon, C. I., Putz, F. E., Menezes-Filho, L., Anderson A., Silveira, M., Foster Brown, I., Oliveira, L.C. Estimating state-wide biomass carbon stocks for a REDD plan in Acre, Brazil. **Forest Ecology and Management**, v.262 p.555-560, 2011.
- Schietti, J.; Drucker, D.; Keizer, E.; Filho, A.C.; Magnusson, W. Avaliação do uso de dados SRTM para estudos ecológicos na Amazônia central. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE. **Anais** p. 6949-6955, 2007.
- Shimabukuro, Y.E.; Smith, J.A. The least-squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data, **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.29, n.1 p.16-20, 1991.
- Silva, R.P.D. **Alometria, Estoque e Dinâmica de biomassa de floresta primária e secundária na região de Manaus (AM).** 152p. Tese de doutorado, Instituto Nacional de Pesquisa da Amazonia (INPA) / Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Manaus, 2007.
- Toivonen, T.; Kalliola, R.; Ruokolainen, K.; Malik, R.N. Across-path DN gradient in Landsat TM imagery of Amazonian forests: A challenge for image interpretation and mosaicking. **Remote Sensing of Environment**, v.100, p.550-562, 2006.
- 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. **Manual técnico de vegetação brasileira.** Rio de Janeiro: IBGE, 1991. 92p.
- Zerbini, N.J.; Angelo, H.; Santos, J.R. Relações entre parâmetros de fitomassa, dendrométricos, espectrais e altimétricos na Amazônia Brasileira. **Árvore**, Viçosa-MG, v.19, n.2, p.171-189, 1995.