

# POTENCIAL DO USO DE SAR AEROTRANSPORTADO PARA MODELAGEM DO TERRENO E DA BIOMASSA ACIMA DO SOLO EM REGIÃO DE FLORESTA TROPICAL

Marcus Vinicio Neves d'Oliveira <sup>1</sup>, Charton Jahn Locks <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Embrapa Acre, Rio Branco-AC, marcus.oliveira@embrapa.br; <sup>2</sup>Serviço Florestal Brasileiro, Brasília-DF, charton.locks@florestal.gov.br

## RESUMO

Neste trabalho apresentamos uma comparação entre modelos digitais de terreno (MDT), de superfície e de altura (MDA) produzidos a partir de dados LiDAR e SAR aerotransportado, e verificamos a possibilidade de escalonar estimativas de biomassa (BSAS) a partir de dados LiDAR para SAR. Os resultados mostraram uma forte correlação entre os MDTs estudados. A correlação entre os MDS e MDA foi sempre significativa. O modelo de predição de BSAS produzido apresentou elevada acurácia. Embora os resultados obtidos necessitem de validação de campo e testes em outras áreas amostradas por LiDAR e SAR, permitem recomendar o uso dos MDT produzidos por SAR aerotransportado para o planejamento florestal e a combinação de dados LiDAR e SAR para a estimativa de biomassa em florestas tropicais.

**Palavras-chave** — LiDAR, SAR aerotransportado, Biomassa, Modelo digital de terreno, Modelo de altura do dossel.

## ABSTRACT

*In this work we compare digital terrain (DTM), surface (DSM) and height (CHM) models produced by LiDAR and Airborne SAR data, and verified the possibility of upscale biomass estimative (AGB) from LiDAR to SAR. The correlation among the DTM, DSM and CHM were always significant. The AGB prediction model produced presented height accuracy. Although the obtained results still demand ground validation and more tests in different areas covered by LiDAR and SAR, they allow us to recommend the use of DTM produced by airborne SAR to forest planning and the combination of LiDAR and SAR to the biomass estimative in tropical forests.*

**Keywords** — LiDAR, Airborne SAR, Above ground biomass, Digital terrain model, Canopy height model.

## 1. INTRODUÇÃO

Desde de meados dos anos 2000 produtos de sensoriamento remoto vem sendo largamente utilizados no planejamento, operação e monitoramento das atividades de Manejo Florestal Sustentável (MFS) na Amazônia. A utilização destes produtos tem contribuído para a redução de custos, aumento do rendimento e diminuição dos impactos produzidos por estas operações nas florestas manejadas. Em

especial a possibilidade de obtenção de Modelos Digitais de Terreno (MDT) aumentou a eficiência da alocação de estradas florestais, pátios de estocagem de toras e a determinação das Áreas de Preservação Permanente (APP) [1]. Até momento os modelos de maior acurácia são construídos por meio das métricas derivadas da nuvem de pontos geradas por LiDAR aerotransportado. Esta ferramenta também vem sendo bastante utilizada para a estimativa de parâmetros estruturais da floresta, como a biomassa seca acima do solo (BSAS) [2]. Porém, os custos destes levantamentos na amazônia brasileira ainda são de maneira geral elevados.

Existem Modelos Digitais de Superfície (MDS) produzidos por sensores orbitais disponíveis gratuitamente e disponibilizados por agencias espaciais como a NASA [3]. No entanto MDT derivados destes sensores carecem de acurácia, especialmente em áreas de florestas tropicais e para a produção de estimativas de BSAS se faz necessária a calibração com dados LiDAR [4]. A utilização de imagens produzidas por sensores radar de abertura sintética (SAR) aerotransportado (bandas X e P), têm sido usadas para obter informações do terreno, mesmo em áreas de densa cobertura florestal para a produção de MDT, MDS e estimativas de BSAS [5]. Por meio dessa tecnologia é possível a cobertura de grandes áreas a custos mais baixos do que o perfilhamento a laser, tornando-a ideal para aplicação em áreas de interesse estratégico como Florestas Nacionais destinadas à concessão florestal.

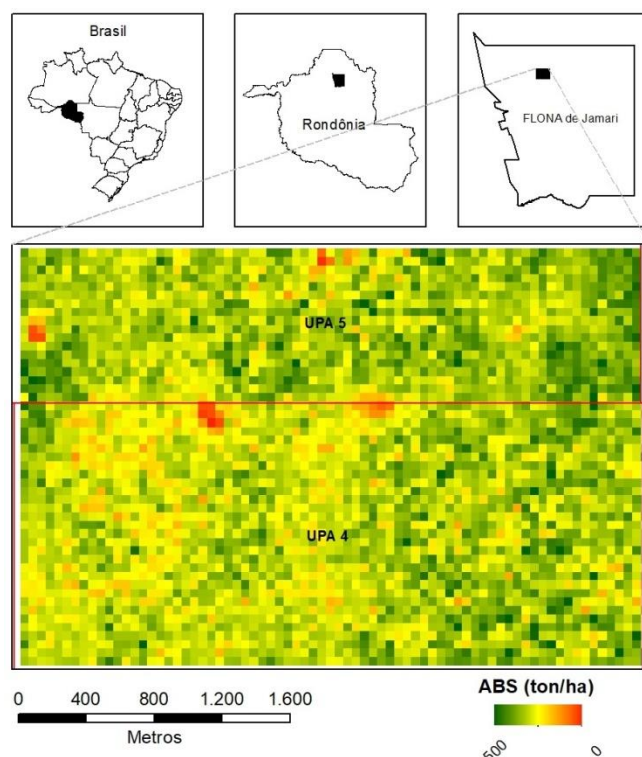
Nesse trabalho com base em imagens SAR e LiDAR obtidas sobre a FLONA Jamari: (i) comparamos MDT, MDS e modelos digitais de altura (MDA) produzidos a partir de métricas LiDAR aerotransportado com os mesmos modelos produzidos por imagens SAR aerotransportado; (ii) a partir da estimativa de BSAS produzidas por métricas LiDAR ajustamos um modelo estimativa de biomassa utilizando como base modelos digitais do terreno e superfície produzidos por imagens SAR aerotransportado.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Área de estudo

A Floresta Nacional do Jamari, localizada no estado de Rondônia, possui 220.000 hectares e abriga o primeiro edital de concessão florestal realizado no Brasil. Lá duas empresas privadas receberam o direito de realizar o MFS por 40 anos. Neste estudo foi considerada a área da Unidade de Manejo Florestal (UMF) I, que possui pouco mais de 17.000 hectares,

onde foram realizadas coletas tanto de dados LiDAR aerotransportado quanto de SAR aerotransportado (bandas X e P), com uma área total coberta pelos dois sensores de 875 hectares, coincidentes com as Unidades de Produção Anual (UPA) 04 e 05, objetos de exploração seletiva de madeira nos anos de 2013 e 2014 respectivamente (Figura 1).



**Figura 1** – No topo, detalhe da localização da área de estudo na Floresta Nacional do Jamari/RO. Abaixo mapa de BSAS produzido com dados LiDAR aerotransportado.

## 2.2. Dados utilizados

Os dados LiDAR aerotransportados foram adquiridos em 20 de setembro de 2013, utilizando um sensor Optech Orion 09SEN243, com frequência de escaneamento de 100 KHZ. A altura de voo foi de 850 metros e o ângulo de inclinação máximo de 9,8°. Os dados consistem numa nuvem de pontos com densidade média de 15,31 pontos/m<sup>2</sup>, de onde foram extraídos os Modelos Digitais de Terreno (MDT), Modelo Digital de Superfície (MDS), o Modelo de Altura do Dossel (MDA) e o Modelo de Altura Média (ELEV\_MEAN) com 1 metro de resolução espacial, utilizando o software FUSION [6].

Os dados SAR aerotransportados foram adquiridos em 7 de março de 2014, utilizando o sistema OrbiSAR-RFP. Este sistema adquire três imagens complexas, de forma simultânea, a partir de três antenas da banda X e uma imagem complexa a partir da antena da banda P. Com este sistema, além das imagens de intensidade, foram obtidas também, valores de diferença de fase, relacionados com o modelo de

superfície e terreno, por interferometria. A partir da banda X foi gerado o MDS com 1 metro de resolução espacial e utilizando a banda P foi obtido o MDT com 2,5 metros de resolução espacial. O modelo digital de altura (MDA) foi calculado por meio da subtração de MDS e MDT.

## 2.3. Comparação dos MDT MDS e MDA

Para a comparação dos modelos, foram escolhidas ao acaso áreas de tamanho variável, na medida do possível, cobrindo o gradiente topográfico das áreas amostradas por LiDAR e SAR sobre a Flona Jamari. Dentro destas áreas foram criados modelos SAR e LiDAR variando de 2,5 a 100 m de resolução (2,5 X 2,5 m; 10 x 10 m; 25 X 25 m; 50 X50 m e 100 X 100 m). Os valores da elevação do terreno (MDT), elevação do dossel (MDS) e de altura (MDA) LiDAR e SAR foram comparados por meio de análise de regressão linear simples.

## 2.4. Modelagem da BSAS

Dado a falta de informação de campo para a calibração de um modelo de BSAS específico para a FLONA Jamari, utilizamos o modelo ajustado por d'Oliveira et. al, 2012 (eq.1) na Floresta Estadual do Antimary que possui estrutura semelhante a da área de estudo (Figura 1).

$$BSAS = (3.119 + 0.564 * P25 + 0.062 * VAR)^2 + 1.74$$

Onde:

BSAS = biomassa seca acima do solo (Mg. ha<sup>-1</sup>)

P25 = altura média no primeiro quartil (m)

VAR = variância da altura

O modelo de BSAS SAR foi construído com a utilização do algoritmo Random Forest considerando as estimativas de BSAS LiDAR como variável resposta e os modelos MDT e MDA SAR variáveis predictoras. A resolução do modelo (50 x 50 m) foi a mesma do modelo original (d'Oliveira et al., 2012).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de regressão entre os modelos revelou uma elevada correlação entre os MDT produzidos em todas as resoluções estudadas. Embora sempre significativa a correlação entre os MDS não foi tão boa quanto os MDT. O MDS produzido pelo SAR não conseguiu explicar a superfície do dossel com o mesmo nível de detalhe que o LiDAR sendo necessária a degradação da resolução espacial para que os modelos produzidos por LiDAR e SAR apresentasse valores de R<sup>2</sup>aj. próximos ao obtidos pelo MDT. Por ser um modelo derivado do MDS o MDA apresentou a mesma tendência, com resultados para R<sup>2</sup>aj. variando de 0,07 (2,5 X 2,5 m) a 0,80 (100 X 100 m). O resumo dos resultados da análise de regressão entre os modelos é apresentado na tabela 1.

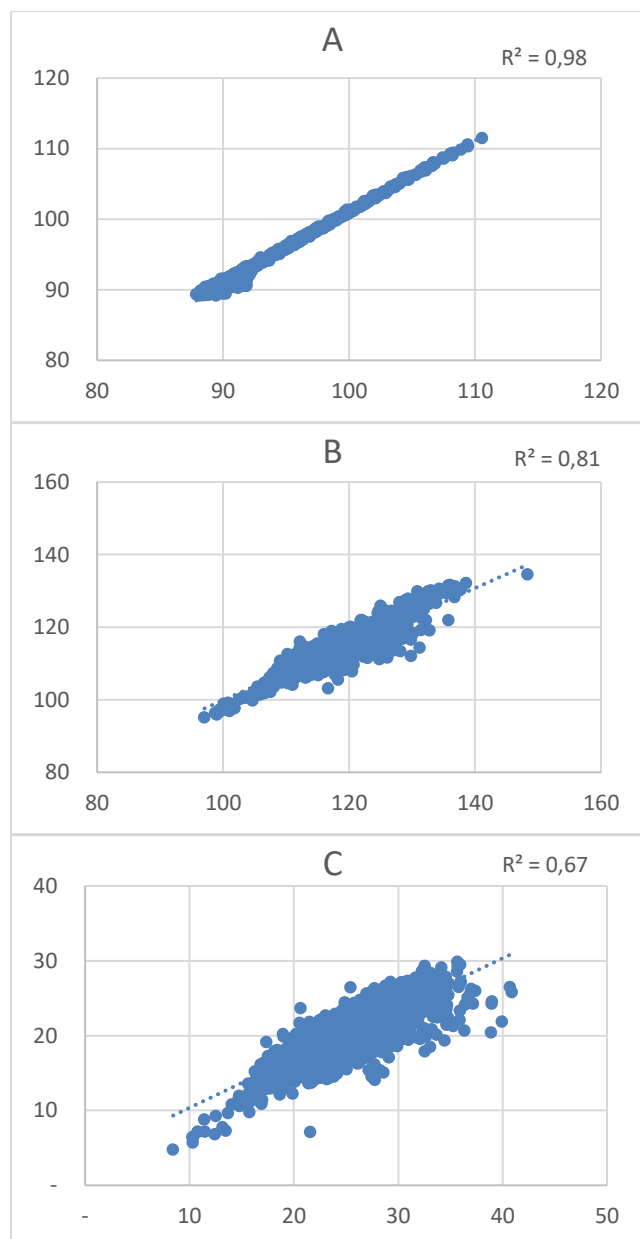
A análise de regressão entre os MDT LiDAR e SAR aerotransportado, reamostrados para a mesma resolução do

modelo de BSAS adotado como referência para este estudo (50 x 50 m), apresentou elevada correlação ( $R^2_{aj.} = 0,98$ ; EP = 0,33; N = 3.311), confirmando a acurácia do modelo produzido a partir de imagens SAR (Figura 2A). Na comparação entre os MDS, apesar do coeficiente de determinação mais baixo (0,81; EP = 1,98; N = 3.311; Fsig.  $\cong 0$ ) a correlação entre os modelos também foi altamente significativa (Figura 2B). A comparação entre os MDA, com resolução de 50 m, resultou em uma correlação mais fraca que a obtida para o MDT porém altamente significativa ( $y = 1,00x + 4,64$ ;  $R^2_{aj.} = 0,67$ ; EP = 2,02; N = 3.311; Fsig.  $\cong 0$ ) (Figura 2C).

Estes resultados denotam que o MDS SAR, derivado da banda X, não foi capaz de representar tão bem o dossel florestal quanto o MDT (banda P) foi capaz de representar o terreno, produzindo no MDA uma subestimativa da altura média da floresta de aproximadamente 4 m (MDA SAR 20,39 m  $\pm$  2,87m; MDA LiDAR 24,00 m  $\pm$  3,47m).

**Tabela 1. Resumo da análise de regressão entre MDT, MDS e MDA produzidos por LiDAR e SAR aerotransportado na FLONA Jamari**

MDT						
Resolução (m)	Inter.	$\alpha$	$R^2_{aj.}$	EP	N	Fsig.
2,5 x 2,5	3,36	0,96	0,98	0,41	6.187	0
10 x 10	3,15	0,96	0,98	0,40	5.000	0
25 x 25	3,23	0,96	0,98	0,37	5.000	0
50 x 50	3,01	0,96	0,98	0,33	3.311	0
100 x 100	2,95	0,96	0,99	0,30	829	0
MDS						
Resolução (m)	Inter.	$\alpha$	$R^2_{aj.}$	EP	N	Fsig.
2,5 x 2,5	53,5	0,56	0,14	7,93	6.187	0
10 x 10	40,9	0,67	0,24	6,21	5.000	0
25 x 25	14,3	0,91	0,53	3,84	5.000	0
50 x 50	-1,2	1,04	0,81	1,98	3.311	0
100 x 100	-3,6	1,07	0,93	1,02	829	0
MDA						
Resolução (m)	Inter.	$\alpha$	$R^2_{aj.}$	EP	N	Fsig.
2,5 x 2,5	16,0	0,44	0,07	7,78	6.187	0
10 x 10	14,0	0,25	0,13	4,18	5.000	0
25 x 25	8,41	0,82	0,38	3,80	5.000	0
50 x 50	4,64	1,00	0,67	2,02	3.311	0
100 x 100	4,01	1,03	0,80	1,14	829	0



**Figura 2: - Análise de regressão entre os valores obtidos para: A – MDT; B – MDS e C – MDA produzidos a partir de dados LiDAR (eixo y) e SAR (eixo x) aerotransportado na FLONA Jamari. Considerando a resolução espacial de 50 m.**

O modelo de predição de BSAS produzido com base nos MDT e MDA SAR a partir das estimativas do modelo LiDAR adotado, apresentou elevada correlação ( $R^2_{aj.} = 0,85$ ) com as estimativas produzidas pelo LiDAR (Figuras 4 e 5). A média de BSAS estimada para a área de estudo pelo modelo LiDAR e SAR aerotransportados foram quase iguais (LiDAR = 254,5  $\pm$  48,7 Mg. ha<sup>-1</sup> e SAR = 254,2  $\pm$  55 Mg. ha<sup>-1</sup>). As métricas do modelo produzidas pelo algoritmo Random Forest são apresentados na tabela 2.



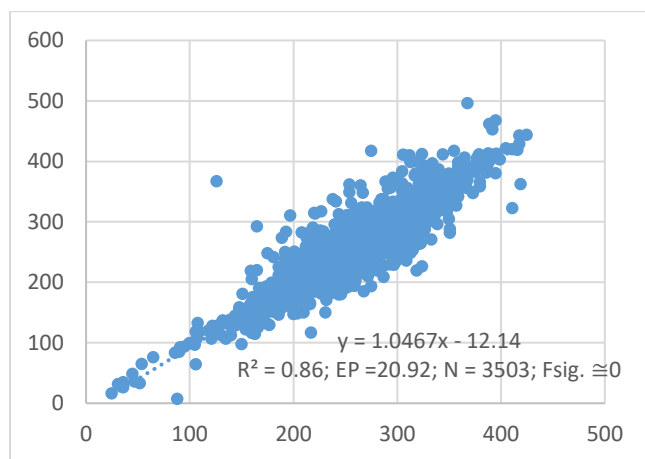


Figura 4 - Regressão entre BSAS estimada pelo modelo LiDAR e estimada pelo algoritmo RF a partir de dados de radar aerotransportado

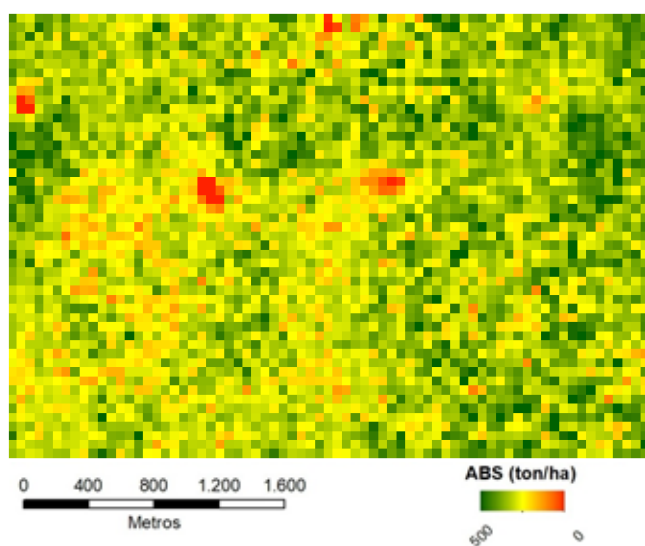


Figura 5 Mapa de predição de biomassa construído com o MDT e MDA SAR aerotransportado como variáveis independentes e as estimativas de BSAS produzidas pelo modelo LiDAR

Tabela 2. Métricas resultantes do modelo de predição de biomassa construído com o modelo digital de terreno e modelo digital de altura SAR aerotransportado como variáveis independentes e as estimativas de BSAS produzidas pelo modelo LiDAR como variável resposta

	Métricas de treinamento	Métricas de validação	Métricas da predição
<i>MSE</i>	1080,60	1199,23	437,94
<i>RMSE</i>	32,87	34,63	20,93
<i>nobs</i>	2627	876	3503
<i>r2</i>	0,65	0,60	0,86
<i>mrd</i>	1080,60	1199,23	437,93
<i>mae</i>	24,79	25,78	14,03
<i>rmsle</i>	0,148	0,138	0,092

#### 4. CONCLUSÕES

1. Os MDTs obtidos por perfilamento a laser (LiDAR) e por SAR aerotransportados neste estudo podem ser considerados, para fins práticos, como idênticos, permitindo que nós recomendemos os últimos para o planejamento das operações florestais em planos de manejo na Amazônia.
2. Na resolução estudada também foi encontrada uma forte correlação entre os MDS produzidos.
3. O MDS produzido pelo SAR não conseguiu explicar a superfície do dossel com o mesmo nível de detalhe que o LiDAR sendo necessária a degradação da resolução espacial para que os modelos passassem a se correlacionar.
4. Mesmo com a resolução degradada para um pixel de 50 m o MDA obtido por SAR aerotransportado subestimou a altura da vegetação quando comparado com modelo equivalente obtido com dados LiDAR.
5. Foi possível construir um modelo robusto de predição de biomassa utilizando o MDT e MDA SAR aerotransportado como variáveis independentes e as estimativas de BSAS produzidas pelo modelo LiDAR como variável resposta, indicando a possibilidade do escalonamento das estimativas de parâmetros estruturais da floresta onde houver cobertura LiDAR (em pequena escala) e SAR aerotransportado (em escala de paisagem)

#### AGRADECIMENTO

Ao Projeto Paisagens Sustentáveis, apoiado pela Embrapa, o Serviço Florestal Americano (USFS), a USAID e o Departamento de Estado Americano, pela disponibilização dos dados LiDAR. Ao Serviço Florestal Brasileiro (SFB) pela disponibilização dos dados SAR aerotransportados.

#### 5. REFERÊNCIAS

- [1] Figueiredo, E.O.; Braz, E.M.; D'Oliveira, M.V.N., "Manejo de precisão em florestas tropicais: modelo digital de exploração florestal". Embrapa, Rio Branco-AC, 184p., 2007.
- [2] D'Oliveira, M.V.N.; Reutebuch, S.E.; McGaughey, R.J.; Andersen, H.E., "Estimating forest biomass and identifying low-intensity logging areas using airborne scanning lidar in Antimary State Forest, Acre State, Western Brazilian Amazon". *Remote Sensing of Environment* (v. 124), p. 479-491, 2012.
- [3] Xu, L.; Saatchi, S.S.; Shapiro, A.; Meyer, V.; Ferraz, A.; Yang, Y.; Bastin, J.; Banks, N.; Boeckx, P.; Verbeeck, H.; Lewis, S.L.; Muanza, E.T.; Bongwele, E.; Kayembe, F.; Mbenza, D.; Kalau, L.; Mukendi, F.; Ilunga, F.; Ebuta, D., "Spatial Distribution of Carbon Stored in Forests of the Democratic Republic of Congo". *Nature* (S.R. 7). 2017.
- [4] Farr, T.G., et al., "The Shuttle Radar Topography Mission". *Reviews of Geophysics* (v. 45). 2007.
- [5] Sambatti, J.; Leduc, R.; Lubeck, D.; Moreira, J.; Santos, J., "Assessing Forest Biomass and Exploration in the Brazilian Amazon with Airborne InSAR: an Alternative for REDD". *The Open Remote Sensing Journal* (v. 5). 2012.
- [6] McGaughey, R. J. "FUSION/LDV: Software for LIDAR data analysis and visualization" (v. 3.6). 2016.