

ESTIMATIVAS DE BIOMASSA ACIMA DO SOLO EM UMA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL NO ESTADO DO ACRE, BRASIL UTILIZANDO UAV-GARTOREYE LIDAR E CRITÉRIO DE INFORMAÇÃO STEPWISER

Karla da Silva Rocha¹, Ana Paula Dalla Corte², Lucas Henderson de Oliveira Santos², Júlio Roberto da Rocha Almeida³, Ezaque Saraiva do Nascimento¹, Eben North Broadbent⁴

¹ Universidade Federal do Acre, Laboratório de Geoprocessamento – UFAC/LAGEOP, karla.rocha@ufac.br; ezaquesn@gmail.com; ² Universidade Federal do Paraná – UFPR/BIOFIX, {[anapaulacorte.lucashendersonohs](mailto:anapaulacorte.lucashendersonohs@gmail.com)}@gmail.com;

³ Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, julio.almeida@ibama.gov.br;

⁴ University of Florida – UF, eben@ufl.edu

RESUMO

A necessidade de se obter estimativa precisa da biomassa acima do solo (AGB) tem crescido nos últimos anos, devido ao aumento na demanda por estas informações visando geração de créditos de carbono. Isto tem levado a uma procura por novas metodologias e tecnologias para suas estimativas. Este trabalho testou o uso do sistema remoto LiDAR para estimar AGB em uma área de floresta nativa da Amazônia. Observou-se que os modelos produzidos foram de grande importância para ajudar a compreender os processos ecológicos que impulsionam as funções florestais. Os resultados, são importantes, para subsidiar pesquisas e técnicos de campo com informações relacionadas a estimativas de estoques de carbono uma vez que, observar a dinâmica da biomassa terrestre é um grande desafio e uma das principais fontes de incertezas no ciclo global do carbono.

Palavras-chave — Amazônia, Biomassa, Carbono, Lidar, Stepwise.

ABSTRACT

To obtain accurate estimate of aboveground biomass (AGB) has grown in recent years, due to the increase demand for this information to generate carbon credits. This has led to a search for new methodologies and technologies for their estimates. We tested the use of the LiDAR remote system to estimate AGB in an area of native forest in the Amazon. It was observed that the models produced were of great importance in helping to understand the ecological processes that drive forest functions. Results are important to support research and field technicians with information related to carbon stock, since observing the dynamics of terrestrial biomass is a great challenge and one of the main sources of uncertainty in the global carbon cycle.

Key words — Amazon, Biomass, Carbon, Lidar, Stepwise.

1. INTRODUÇÃO

A floresta amazônica tem aproximadamente 5,7 milhões de km² e é considerada a floresta tropical mais rica do mundo.

Ela é responsável por 13% de todas as árvores (diâmetro à altura do peito, DAP > 10 cm) do mundo e em 49% em florestas úmidas tropicais [1]. No entanto, esta diversidade e riqueza não está livre dos impactos do desmatamento [2], da ação do fogo e de outros impulsos humanos que contribuem para com as mudanças climáticas [3,4,5]. Isto, coloca, o monitoramento e conservação das florestas tropicais como uma estratégia central para o fortalecimento de políticas públicas relacionadas ao manejo sustentável, ciclo global de carbono, no contexto de mitigação das mudanças ambientais globais.

Os impactos causados pelo desmatamento e uso do fogo têm tornado o estabelecimento de áreas protegidas importante estratégia de conservação [6]. No Brasil, uma extensa rede de áreas protegidas foi estabelecida para preservar áreas de alta biodiversidade, incluindo corredores de biodiversidade, e para proteger ecossistemas específicos da Amazônia. No entanto, o que se tem observado nos últimos anos é uma crescente perda da cobertura florestal em áreas que deveriam ser protegidas na Amazônia [7]. Isto levanta questões sobre métodos que podem contribuir com as estimativas sobre estrutura das florestas, informação esta que pode inferir perda de diversidade e riqueza das florestas.

O Light Detection and Ranging (LiDAR) vem se destacando como uma tecnologia inovadora e promissora que combina os benefícios do monitoramento terrestre e por satélite, fornecendo dados de alta precisão em áreas extensas a um custo relativamente baixo. O LiDAR, tem se mostrado confiável e preciso para se obter informações de espécies florestais, tais como: altura do dossel, índice de área foliar e densidade de área foliar, [8,9]. Também tem se mostrado confiável na obtenção de informações sobre biomassa acima do solo - AGB, devido ao potencial de penetração no dossel da floresta [10], e de ser um instrumento poderoso em florestas de alto estoque de biomassa onde os sensores ópticos passivos apresentam problemas de saturação [11]. Neste sentido, este estudo teve como objetivo testar estimativas de AGB produzidas pelo uso de sensores LiDAR, utilizando modelagem stepwise e avaliar o desempenho dos dados produzidos quando comparados com dados coletados em campo em uma área de proteção ambiental localizada no Sudoeste do estado do Acre.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado na Reserva Extrativista Chico Mendes (RECM), no Seringal Filipinas (Figura 1). Esta área, é uma das cinco reservas extrativistas federais do Estado do Acre e a segunda maior do Brasil. É um tipo de área protegida de uso sustentável criada por seringueiros para garantir os direitos à terra e proteger as florestas das quais eles obtêm seu sustento.

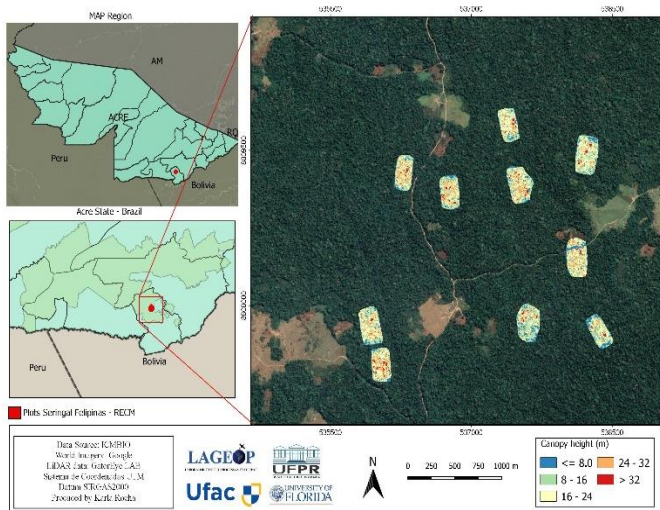


Figura 1: Parcelas de 1 ha (100 × 100 m) distribuídas aleatoriamente no Seringal Filipinas, localizado na Reserva Extrativista Chico Mendes. Os lotes à direita foram adquiridos pela GatorEye-Lidar.

2.2 Aquisição de dados

Dados de campo: Foram coletados e disponibilizados por pesquisadores da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária do estado do Acre e são referentes ao mês de março de 2017. Contemplam 160 subparcelas de amostras permanentes medindo 0.0625 ha (25 x 25m) distribuídas em 10 parcelas de 1 ha (100 × 100 m). Os limites das parcelas foram definidos usando uma bússola para azimutes e uma fita métrica para comprimento. As coordenadas GPS dos cantos da parcela foram calculadas usando GPS. Todos os fustes lenhosos com mais de 10 cm de diâmetro a 1,30m de altura (DAP) foram marcados, medidos e identificados. Para cada árvore foi realizada a estimativa de AGB utilizando uma equação, que foi desenvolvida para uma floresta semelhante no sul da Amazônia [12].

Dados espaciais: O conjunto de dados LiDAR utilizados neste estudo foram adquiridos em 2017 pelo UAV- GatorEye Unmanned Flying Laboratory, da Universidade da Flórida disponíveis para download através do link www.gator-eye.org. Foram adquiridos no sistema de projeção plana UTM, zona 19 S, datum WGS 84 e um datum vertical do ITRF-2014, com todas as unidades em metros.

2.3. Processamento e análise de dados digitais

Processamento da nuvem de pontos: O processamento dos dados LiDAR foi realizado utilizando o *software* R versão 4.1.3. Para tal, foi utilizado o pacote lidR [13]. As nuvens de pontos em formato “laz” foram inspecionadas para checagem de seus parâmetros espaciais. Em seguida, o comando *catalog* foi utilizado para produzir o relatório descritivo do conjunto de dados LiDAR para as 160 subparcelas. Posteriormente foi realizada a filtragem com a função *filter_duplicates* e classificação dos pontos de solo com a função *classify_ground*, que se baseia no código-fonte original do *software* R por meio do pacote RCSF. Foram gerados os Modelos Digitais de Terreno (MDT) por meio da função *rasterize_terrain* e Modelo Digital de Superfície (MDS) utilizando a função *rasterize_canopy*. Foi realizada a normalização da nuvem de pontos utilizando o comando *normalize_height*. Com a nuvem normalizada, gerou-se o modelo digital das alturas (CHM) por meio do comando *rasterize_canopy*.

Extração de métricas: Após o processamento da nuvem de pontos, foram obtidas as métricas para explicar o AGB estimado pelos dados do levantamento de campo. Para isto, fez uso do comando *ClipROI* para realizar o recorte espacial das sub-parcelas (n=160) medidas em campo da nuvem de pontos obtidas pelo LiDAR-GatorEye. As métricas foram então extraídas para cada sub-parcelas utilizando o comando *CloudMetrics* no *software* R.

Regressão Linear Stepwise: Após a análise exploratória de correlação, técnicas de regressão linear foram usadas para refinar relações entre métricas geradas a nível de subparcela e AGB medida em campo a partir de inventário florestal. Para isto, foram utilizadas as mesmas variáveis independentes utilizadas no cálculo de correlação. Vários fatores podem ser utilizados para escolha do melhor modelo de regressão. [14] destaca os resultados estatísticos (R^2 , *p-value*, análise de resíduos, ou ainda pela escolha do modelo mais parcimonioso) ou seja, aquele que envolve menos variáveis preditoras e apresenta boa explicação da variável resposta sem que haja multicolinearidade entre variáveis.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Modelagem de regressão Stepwise

Um grande número de variáveis biofísicas pode ser obtido a partir de dados de sensoriamento remoto, estas variáveis quando associadas a dados dendrométricos coletados em trabalho de campo são de grande importância para estimar AGB. Das 27 variáveis candidatas extraídas da nuvem de pontos, 25 foram selecionadas para executar a função *ols_step_both_p* do pacote *olsrr* [15], sendo estas: (*Elev.minimum*, *Elev.maximum*, *Elev.mean*, *Elev.mode*, *Elev.stddev*, *Elev.variance*, *Elev.CV*, *Elev.kurtosis*, *Elev.AAD*, *Elev.MAD.mode*, *Elev.P01*, *Elev.P05*, *Elev.P10*,

Elev.P20, Elev.P25, Elev.P30, Elev.P40, Elev.P50, Elev.P60, Elev.P70, Elev.P75, Elev.P80, Elev.P90, Elev.P95, Elev.P99). Uma descrição detalhada de cada uma dessas métricas pode ser encontrada em [16]. Estas métricas fornecem informações sobre a distribuição vertical dos pontos lidar ao longo do perfil da floresta e a forma e heterogeneidade dessa distribuição.

Das 25 variáveis apenas 2 (*Elev.minimum e Elev.P20*) foram indicadas como preditoras para variável independente AGB pelo método *stepwise Both*. Os modelos de regressão *stepwise* têm sido usados para selecionar variáveis explicativas dentro da ecologia e da ciência comportamental [17]. Este método de seleção permitiu simplificar o modelo utilizado para um número mínimo de duas 02 variáveis preditoras as quais operam por adição ou eliminação sucessiva de variáveis significativas ou não significativas.

O método utilizado permitiu assim superar um desafio: “seleção de variáveis-chave” que são capazes de explicar as variações nos modelos de regressão e fornecer estimativas AGB para uma área de floresta nativa tropical, podendo assim ser utilizada para dar suporte às tomadas de decisão. O modelo *stepwise Both* mostrou-se mais parcimonioso, ou seja, utilizou menos variáveis preditoras e apresentou boa explicação da variável resposta sem que houvesse multicolinearidade entre variáveis [15].

3.2 Avaliação da regressão

Os resultados do teste de Shapiro-Wilk utilizado para avaliar a normalidade dos resíduos da variável AGB apresentou $w = 2,1496$ e $p\text{-value} = 0,324$, ou seja, $p > 0,05$ demonstrando que os resíduos seguem uma distribuição normal (Tabela 1). Com relação aos outliers, de modo a checarmos se existem resíduos que possam ser considerados como outliers, analisamos os valores de Z-score, com abrangência de ± 3 desvios padronizados. Também foi analisada a média e mediana, as quais devem apresentar valores próximos de zero. Neste trabalho obtivemos uma média e mediana igual a 0,002881 e 0,210797 respectivamente.

Tabela 1: Resultado do teste de normalidade para as duas variáveis utilizadas no modelo.

Variáveis	Teste de Shapiro-Wilk	
	W	p-value < 0,05
Elev.P20	2,15	0,32
Elev.minimum		

Os dados também foram analisados com relação a possibilidades de apresentarem multicolinearidade. Para isto foi calculado o Fator de Inflação de Variância (FIV), do inglês (VIF - variance inflation factor). Este fator mede o quanto da variância de cada coeficiente de regressão do modelo desenvolvido se encontra inflado em relação à situação em que as variáveis independentes não estão correlacionadas. Assim os dados analisados apresentaram o valor de $VIF = 1,04$, demonstrando assim que não existe

indicação de multicolinearidade significativa, uma vez que o VIF encontrado foi menor que 10.

3.3 Estimativa biomassa

As estimativas médias de AGB Total obtidas com os dados coletados em campo (13.56 Mg ha⁻¹) e pelo sistema GatorEye considerando as 160 subparcelas e duas variáveis preditoras foi de (16.42 Mg ha⁻¹). Embora possa ser observada variação entre estimativa modelada e estimativas derivadas de campo, pode-se observar que a média obtida com os dados de campo foi bem próxima da obtida pelo LiDAR Figura 2. A Eq. (1) foi desenvolvida para obtenção da disposição de biomassa levando em consideração as subparcelas e as duas variáveis preditoras selecionadas pela modelagem *stepwise Both*.

$$\text{AGB total estimado} = (-127.508 + 0.292 * (\text{Elev.P20} + 67.955 * \text{Elev.minimum}))$$

Eq. (1)

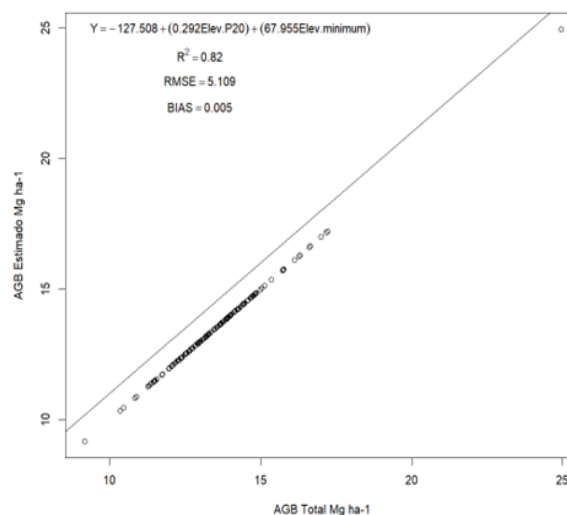


Figura 2: Valores de biomassa acima do solo (Mg·ha⁻¹) preditos e total para modelos produzido pelo sistema GatorEye.

A pesquisa encontra-se em andamento e diferentes ajustes nos modelos ainda estão sendo testados. Porém, é possível dizer que as estimativas de AGB utilizando dados LiDAR e dados de inventário, podem ser utilizados de forma eficaz. Alguns trabalhos, destacam modelos utilizando dados LiDAR para obtenção de AGB. [18] por exemplo, em trabalho realizado na mesma região destaca o uso de LiDAR e nuvens de pontos de alta densidade, como possibilidade de indicação de estrutura da floresta, estoques e dinâmica de AGB.

4. CONCLUSÕES

A utilização de variáveis preditoras do LiDAR e modelagem a partir de regressão linear *stepwise* apresentaram grande potencial na estimativa de AGB. O *Stepwise* permitiu reduzir o número de variáveis preditoras significativamente de 27, correlação simples, para 2, superando assim a fase crucial de seleção de variáveis que são capazes de explicar as variações

nos modelos de regressão e fornecer estimativas AGB. Além de fornecer resultados preliminares que possam ser utilizados em trabalho de campo auxiliando na tomada de decisões mais assertivas com relação às estimativas de AGB. Embora existam vários estudos que mostram técnicas e cálculos para estimar biomassa utilizando sensores ópticos, radar, LiDAR e utilizando outras variáveis, existem ainda muitos desafios a serem superados no que se refere a popularização no processamento e aquisição desses dados para auxiliar na estimativa de AGB no campo. O uso e manipulação desta tecnologia com aplicações de técnicas de forma simples tornará estas ferramentas mais acessível para estimativas de AGB e cálculo de carbono uma vez que estudos como este puder ser estendido para outras áreas, produzindo estimativas mais rápidas e econômicas visando uma melhor gestão ambiental.

5. REFERÊNCIAS

- [1] Gomes, V. H. F., Vieira, I. C. G., Salomão, R. P., e Hans ter Steege. (2019). Amazonian tree species threatened by deforestation and climate change. *Nature Climate Change*. vol 9. July, pp 547–553.
- [2] Laurance, W.F.; Cochrane, M.A.; Bergen, S.; Fearnside, P.M.; Delamônica, P.; Barber, C.; D'Angelo, S. & Fernandes, T. 2001. The Future of the Brazilian Amazon. *Science* 291: 438-439.
- [3] Xaud, H.A.M., da Martins, F., Santos, S.R.V., dos, J.R. 2013. Tropical Forest degradation by mega-fires in the northern Brazilian Amazon. *Ecol. Manage.* 294, 97–106. Supplementary material.
- [4] Souza, J., Siqueira, J.V., Sales, M.H., Fonseca, A.V., Ribeiro, J.G., Numata, I., Cochrane, M.A., Barber, C.P., Roberts, D.A., Barlow, J., 2013. Ten-year landsat classification of deforestation and forest degradation in the Brazilian Amazon. *Remote Sens.* 5, 5493–5513
- [5] Fearnside, P.M., 2020. Changing climate in Brazil's "breadbasket". *Frontiers in Ecology and the Environment*. Available at <https://www.esa.org/frontiers-in-ecology-and-the-environment/>.
- [6] Soares-Filho, B. et al. 2010. Role of Brazilian Amazon protected areas in climate change mitigation. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 107, 10821–10826.
- [7] Reis S. F. S. Rocha, K. S. 2021. Áreas protegidas e o desmatamento no Sudoeste Amazônico: Método remoto de avaliação. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v.7.12.
- [8] Almeida, D.R.A., Broadbent, et. all. 2019. Monitoring the structure of forest restoration plantations with a drone-lidar system. *Int J Appl Earth Obs Geoinformation*. 192–198 2019.
- [9] Longo, M., Keller, M., dos-Santos, M.N., Leitold, V., Pinagé, E.R., Baccini, A., Saatchi, S., Nogueira, E.M., Batistella, M., Morton, D.C. 2016. Aboveground biomass variability across intact and degraded forests in the Brazilian Amazon. *Glob. Biogeochem. Cycles* 30, 1639–1660.
- [10] Lefsky, M. A. et al. 2002. Lidar remote sensing for ecosystem studies: Lidar, an emerging remote sensing technology that directly measures the three-dimensional distribution of plant canopies, can accurately estimate vegetation structural attributes and should be of particular interest to forest, landscape, and global ecologists. *BioScience*, v. 52, n. 1, p. 19-30.
- [11] Chen, Q; Laurin, G. V; Valentini, R. 2015. Uncertainty of remotely sensed aboveground biomass over an African tropical forest: Propagating errors from trees to plots to pixels. *Remote Sensing of Environment*, v. 160, p. 134-143.
- [12] De Melo, A.W.F. 2017. Alometria de Árvores e Biomassa Florestal na Amazônia Sul-Occidental. Ph.D. Thesis.
- [13] Roussel J-R; Auty D. 2021. Airborne LiDAR data manipulation and visualization for forestry applications R package version 3.1.2. Available at <https://cran.r-project.org/package=lidR>.
- [14] Corte, A. P. D.; Broadbent, E. N.; Santos, L. H. O.; Karasinski, M. A.; Sanqueta, C. R.; Prata, G. A.; Almeida, D. R. A.; Silva, C. A. 2022. Aplicações do LiDAR para o inventário florestal. Enfoque unidade de área. 1. ed. Ponta Grossa: Atena Editora. v. 1. 118p.
- [15] Hebbali, A. 2020. olsrr: Tools for Building OLS Regression Models. R package version 0.5.3. <https://CRAN.R-project.org/package=olsrr>.
- [16] McGaughey, R.J. 2018. FUSION/LDV: Software for LIDAR Data Analysis and Visualization; United States Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station: Washington, DC, USA. 154p.
- [17] Whittingham, M.J.; Stephens, P.A.; Bradbury, R.B.; Freckleton, R.P. 2006. Why do we still use stepwise modelling in ecology and behaviour? *J. Anim. Ecol.* 75, 1182–1189.
- [18] D'Oliveira, M. V. N. et al. Aboveground Biomass Estimation in Amazonian Tropical Forests: a Comparison of Aircraft- and GatorEye UAV-borne LiDAR Data in the Chico Mendes Extractive Reserve in Acre, Brazil. *Remote Sensing*, v. 12, p. 1754, 2020.