

APLICAÇÕES FLORESTAIS DO LIDAR AEROTRANSPORTADO NO BRASIL – UMA REVISÃO

Caciane Peinhopf Mega ¹, Tatiana Mora Kuplich ^{1,2}

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM), caciane@unc.br; ²Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais (CRS), tatiana.kuplich@inpe.br

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo fornecer uma visão geral dos trabalhos publicados no Brasil nos últimos anos (2010 a 2018) com aplicações florestais e extração de parâmetros da floresta por meio de dados LiDAR (*Light Detection and Ranging*). Os artigos selecionados que envolvem pesquisas relacionadas a florestas plantadas (*Eucalyptus* e *Pinnus*) são 11, com algumas das variáveis mensuradas envolvendo número de árvores, altura, volume, carbono e biomassa. Para as florestas nativas as avaliações são mais complexas, dada a heterogeneidade das espécies, principalmente em ambientes tropicais. Foram encontradas 8 publicações para ambiente nativo, que envolvem individualização de copas, estratificação da floresta e volume. Ainda não existem metodologias consolidadas no Brasil que permita a substituição de inventário florestal tradicional por aquisição de informações a partir de dados LiDAR, mas com a fusão das duas informações as estimativas podem ser mais precisas e eficientes.

Palavras-chave — Sensoriamento Remoto, ALS, floresta nativa, floresta plantada, publicações.

ABSTRACT

This paper aims to provide an overview of the works published in Brazil in recent years (2010 to 2018) with forest applications of LiDAR (*Light Detection and Ranging*) data. Eleven articles involving research related to planted forests (*Eucalyptus* and *Pinnus*) were selected, and the measured variables were: number of trees, height, volume, and biomass. For native forests, with more complex structures due to the species diversity, 8 publications were found and the measured variables were: individualization of trees, forest stratification, and volume. There are still no consolidated methodologies in Brazil that allows the replacement of traditional forest inventory information with LiDAR data, but with the combination of the two types of information (field and LiDAR) the estimates are certainly more accurate and efficient.

Key words — *remote sensing, LiDAR, ALS, forestry.*

1. INTRODUÇÃO

O sensoriamento remoto, com diferentes tipos de dados, é amplamente utilizado para identificação, caracterização, mapeamento, fiscalização e monitoramento de florestas naturais e plantadas. O desenvolvimento de novas tecnologias tem contribuído com a qualidade e disponibilidade de dados e imagens, que se tornaram mais acessíveis nos últimos anos. As técnicas e estudos geralmente estão focados em minimizar os trabalhos de campo. No caso das florestas, os trabalhos de campo são caros e demandam mão de obra especializada, como por exemplo, o inventário florestal. Dentre as técnicas mais atuais e que vem ganhando aplicações na área florestal, são dados baseados em emissões de *laser* obtidos a bordo de aeronaves ou por varredura dentro da área de interesse (*Laser Scanner* terrestre).

O LiDAR (*Light Detection and Ranging*) também conhecido como ALS (*Airborne Laser Scanner*) ou varredura a *Laser*, é um sensor ativo, porque possui sua própria fonte de energia, operando com radiação eletromagnética na faixa de ondas curtas [1]. O funcionamento do sistema LiDAR utiliza uma plataforma como base, de onde são emitidos os pulsos de *Laser*. Juntamente com o sistema de GPS para a correção da posição e o sistema de Unidade de Medição Inercial (IMU), o qual registra a velocidade e orientação do sensor [2]

O ALS, com sua densidade de pontos e nível de precisão posicional, faz com que o sistema se mostre atraente para medir diretamente informações como altura das árvores e número de indivíduos e de forma indireta variáveis quantitativos de florestas e de árvores individuais como volume, biomassa, índice de área foliar e mais recentemente o estoque de carbono.

A aplicação dos dados LiDAR na ciência florestal tem seu pioneiro, Erik Naesset, norueguês, que no ano de 1997 publicou dois trabalhos: o primeiro tratava de medição de altura média de um povoamento florestal [3] e o segundo apresentou a estimativa do volume de madeira da floresta. [4]

O objetivo deste estudo foi fornecer aos profissionais e pesquisadores do ramo florestal uma visão geral dos trabalhos que apresentam o uso de dados LiDAR recentemente publicados no Brasil, com aplicações em florestas plantadas e nativas. O ano de início da busca dos

artigos, de 2010, tem intuito de atualizar, pelo menos parcialmente, a revisão presente em “LiDAR: princípios e aplicações florestais” de Giongou et al. (2010) [2]

2. DADOS LIDAR PARA ESTUDOS FLORESTAIS

Após a leitura completa dos 19 artigos que fazem parte desta revisão, julgamos pertinente classificá-los em dois grupos, (i) florestas plantadas e (ii) florestas nativas. A descrição de cada artigo levou em consideração o ano de publicação e também o autor, caso o mesmo autor tenha duas publicações em períodos diferentes, eles foram citados atrelados. A Tabela 1 resume os materiais, métodos e resultados encontrados nos artigos pesquisados.

2.1. Florestas plantadas

As publicações de uso de dados LiDAR em florestas apresentam uma tendenciosidade para aplicações em plantios de *Eucalyptus* sp., encontrada em 11 dos 19 artigos selecionados. No ano inicial da busca, 2010, encontraram-se resultados positivos e alta capacidade preditiva dos dados para estimativas de variáveis usualmente estimadas em atividades de inventário florestal [5].

Com base na importância da altura da floresta para fins de inventário, predição de variáveis e definição de sítios florestais, a altura média e a altura dominante foram determinadas a partir de dados LiDAR. Os resultados mostraram uma tendência em subestimar o valor real. As aplicações para altura em povoamentos homogêneos são de alta precisão, sendo uma característica importante para diminuir as atividades de campo [6].

No período de 2012 a 2014, Oliveira *et al.* publicaram três trabalhos envolvendo dados LiDAR para floresta. Na primeira publicação utilizaram interpolação e filtro de máxima local para contagem de árvores [7]. Em 2014 determinaram por detecção automática o número de fustes em plantios de 3, 5 e 7 anos, com a técnica de primeiro retorno de toda a vegetação (Classe 1) e a segunda utilizando dados de retorno 10 m acima do solo (Classe 2). Na comparação com o censo, encontrou pouca diferença entre as idades para o número de fustes na Classe 1 e na Classe 2, observou uma tendência de subestimativa dos valores [8]. A terceira publicação, ainda no ano de 2014, foi com dados de uma floresta com 7 anos de idade para estimativa de volume. Utilizaram um filtro de máxima local para comparar com o inventário, percebeu uma tendência de subestimativa, aceitável.

Para detectar o topo das árvores através de máximas locais, foi aplicada modelagem da área da copa a partir do crescimento de regiões e validação das estimativas em relação aos dados obtidos em inventário florestal [10].

Verificando que o maior custo da aplicação dos dados LiDAR é em função da necessidade de um voo para obtenção dos dados, foram avaliados 8 configurações de voo com variação de altura, frequência, largura e número de faixas imageadas. A configuração de voo com altura de

700m e densidade 2,98 pontos/m² foi adequada para a análise de informações do povoamento de *Pinnus*, já para *Eucalyptus* os dados do voo de 2000 m de altura foram satisfatórios, apresentando uma densidade de 3,31 pontos/m². A conclusão demonstra que as maiores densidades de pontos não minimizaram os erros e que a idade do plantio influencia nas avaliações.

Os primeiros artigos com estimativas de carbono acima do solo com definição de 6 modelos para estimar dados da floresta com dados LiDAR e compará-los com inventário florestal são de 2014. A conclusão dos autores foi que dados LiDAR são precisos para estimativas de carbono acima do solo e, ainda, que existe um potencial para monitorar o crescimento e a fixação de carbono [12].

Estimativas de biomassa acima do solo a partir de modelagem dos dados foram apresentadas em [13]. O modelo final, preditor da biomassa, foi composto pelas métricas LiDAR de altura no percentil 99 (H99TH), coeficiente de variação e assimetria da altura. Estas possuíam baixa correlação entre si, e forneceram os maiores valores de Razão de Melhoria do Modelo. Os resultados foram considerados satisfatórios para estimativas em florestas plantadas

A inclusão da geoestatística para estimar volume de madeira a partir dos dados LiDAR com a modelagem da circunferência das árvores foi aplicada por [14]. O resultado foi preciso, quando comparado com o inventário florestal convencional.

Os dados LiDAR podem ser utilizados juntamente com o inventário para melhorar as estimativas de variáveis florestais [15]. O inventário convencional necessitava de uma amostragem de 35 parcelas para atender o erro de no máximo 5% para a validação das estimativas dos parâmetros florestais. Os dados LiDAR, foram utilizados para estratificar a floresta e delineamento das unidades de produção. O resultado foi uma redução do erro para 3,4% com uma amostragem de apenas 10 parcelas de campo. Neste caso os dados LiDAR foram aliados na melhoria da qualidade das informações e redução de amostragens [15].

2.2. Florestas Nativas

Dados de floresta nativa da França foram utilizados para estimar a altura dominante de áreas com diferentes estruturas. O modelo final incluiu métricas máximas e densidade local, que explicou 98% da variabilidade observada nas parcelas de campo. [16]

Em trabalho desenvolvido na Áustria com objetivo principal de aplicação de modelo empírico de regressão para derivar o volume de madeira, foram determinadas três formas de medição da estrutura da floresta: (i) a segmentação das copas, (ii) compactidade de manchas de vegetação, (iii) estratificação visual das manchas com a cobertura do dossel. Foi verificado que com o aumento da área de estudo ocorreu a melhora nas estimativas a partir do modelo de volume de caule [17]. Em outro artigo, com dados de floresta nativa de alta densidade, foi encontrado

uma redução do erro das estimativas com o aumento do tamanho das sub-parcelas [18].

Uma metodologia para individualização de árvores em floresta nativa em Belo Horizonte- MG foi proposta a partir da segmentação de crescimento de regiões em modelos digitais com valores das alturas das árvores [19].

Figueiredo (2014) propôs a estimativa de volume do fuste de árvores dominantes e co-dominantes incluindo dados de DAP. Concluiu ser possível estimar o volume do fuste e com mais precisão quando for adicionado valores de DAP. [20]

Tabela 1- Dados e resultado de artigos publicados utilizando dados LiDAR para floresta

Ano	Tipologia Florestal	Densidade (ptos/m ²)	Variáveis florestais	Resultados	Referência
2010	Eucalyptus sp.	1,5	Diâmetro Altura media Altura dominante Área basal Volume	R ² =0,88 R ² =0,94 R ² =0,96 R ² =0,92 R ² =0,95	Zonete et al
2010	Eucalyptus sp.	1,5	Altura media e dominante	Tendência subestimar	Rodriguez et al.
2012	Eucalyptus sp.	1,5	Número de árvores	R ² =97,36%	Oliveira et al
2013	Eucalyptus sp.	5	Área da copa Número de árvores Altura total	83,53% 96,35 97,50	Macedo et al
2014	Eucalyptus sp. /Pinnus	2,98 e 3,31	Número de árvores Altura Volume individual		Muller et al
2014	Eucalyptus sp.	10	Carbono total acima do solo Toras comerciais Resíduo de colheita	R ² -adj= 0,81; RMSE = 7,70 Mg.ha ⁻¹ ; R ² -adj= 0,83; RMSE = 5,26 Mg.ha ⁻¹ ; R ² -adj = 0,71; RMSE = 2,67 Mg.ha ⁻¹	Silva C. A. Et al
2014	Eucalyptus sp.	1,5	Número de árvores	Subestimativa	Oliveira et al
2014	Eucalyptus sp.	0,5 a 5	Diâmetro Medir altura Volume	Subestimativa Erro 5% Erro 11,4%	Oliveira et al
2015	Eucalyptus sp.	5	Volume Número de árvores	Erro 0,7% Erro 0,18%	Carvalho et al
2015	Eucalyptus sp.	10			Laranja et al
2017	Pinnus	4	Biomassa	R ² ajustado=0,98	Silva C.A. et al
2010	Floresta de Haye (França)	10 a 64			Martins et al
2012	Conífera e Decídua	Variável para as diversas áreas testadas	Volume Coníferas Decíduas	(Subestimativa) R ² = 0,81 R ² = 0,70	Hollaus et al
2012	Mata Atlântica	-	Altura média copa		Giongo et al
2013	Semi Decídua e Cerrado	0,99	Individualização copa	superestimativa	Ribas et al
2014	Amazônia	43,03	Volume Com DAP Sem DAP	R ² aj = 92,92% R ² aj = 79,44%	Figueiredo et al
2015	Mata Atlântica	22	Classes altura		Conto et al
2017	Coníferas (EUA)	7,34	Nº árvores Densidade floresta	Subestimativa Superestimativa	Silva,I. et al
2018	Floresta Ombrofila Mista	4	Deteccção copas	Acerto 88,4%	Rex et al

Um projeto desenvolvido pela EMBRAPA e o Serviço Florestal Norte Americano disponibilizaram dados LiDAR de diversas áreas no Brasil. Com estes dados, foram feitos agrupamentos hierárquicos para concatenar classes de altura que resultaram em 8 estratos de floresta. Para cada classe foi determinado um grupo de perfil vertical, verificando-se que os grupos apresentavam distribuição espacial coerente com topografia e fitofisionomia da região [21].

Com objetivo de detecção de árvores individuais e avaliar a homogeneidade da floresta baseado nas estimativas

de altura com dados LiDAR. foram testadas 9 janelas de filtro e suavização dos dados sendo o mais indicado 7x7 e 3x3 respectivamente. Foi identificado uma subestimativa de número de copas, quando aumentava a densidade de árvores menores que 20 metros e a superestimativa ocorreu quando não houve suavização ou a mesma foi insuficiente [22].

Com dados de um fragmento florestal em Curitiba-PR, foi feita a classificação, suavização, detecção de picos e a segmentação de copas de 279 indivíduos, sendo os resultados considerados satisfatórios [23].

3. CONCLUSÕES

A partir dos artigos selecionados para avaliar as aplicações do sistema LiDAR no Brasil foi possível verificar que houve uma evolução na extração dos dados e suas aplicações, a fim de minimizar os extensos trabalhos de campo, necessários para obter tais informações.

Inicialmente as publicações se limitavam à busca de metodologias para identificação do número de árvores ou alturas, sendo essas medidas diretas a partir das informações do LiDAR. Com o avanço das técnicas percebeu-se a inclusão de estimativas como volume, biomassa e carbono acima do solo, sendo essas mais complexas para serem derivadas a partir dos dados LiDAR.

4. REFERÊNCIAS

- [1] Andersen, H.E.; Reutebuch, S. E.; Mcgaughey, R. J. A rigorous assessment of tree height measurements obtained using airborne LiDAR and conventional field methods. *Canadian Journal of Remote Sensing*, v. 32, n. 5, p. 355-366, 2006.
- [2] Giongo, M., Koehler, H.S., Machado, S.A., Kirchner, F.F., Marchetti, M. LiDAR: princípios e aplicações florestais. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, v. 30, n. 63, p. 231, 2010.
- [3] NÆSSET, E. Determination of mean tree height of forest stands using airborne laser scanner data. *Isprs Journal of Photogrammetry and Remote Sensing [S.I.]*, v. 52, n. 2, p. 49-56, 1997a
- [4] NÆSSET, E. Estimating timber volume of forest stands using airborne laser scanner data. *Remote Sensing of Environment [S.I.]*, v. 61, n. 2, p. 246-253, 1997b.
- [5] Zonete, M. F.; Rodriguez, R. C. E.; Packalén, P. Estimación de parâmetros biométricos de plantios clonais de eucalipto no sul da Bahia: uma aplicação da tecnologia laser aerotransportada. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 225-235, 2010.
- [6] Rodriguez, L.C.E.; Polizel, J.L.; Ferraz, S.F.B.; Zonete, M.F.; Ferreira, M.Z. Inventário florestal com tecnologia laser aerotransportada de plantios de Eucalyptus spp. no Brasil. *Ambiência*, v.6, p.67-80, 2010.
- [7] Oliveira, L.T. De; Carvalho, L.M.T. De; Ferreira, M.Z.; Oliveira, T.C. De A.; Acerbi Junior, F.W. Application of LIDAR to forest inventory for tree count in stands of Eucalyptus sp. *Cerne*, v.18, p.75-184, 2012.
- [8] Oliveira, L.T., Oliveira, T.C.A., Carvalho, L.M.T., Batista, V.T.F.P., Ferreira, M.Z. Influência da idade na contagem de árvores de Eucalyptus sp. com dados de lidar. *Cerne*, v.20, n.4, p.557-565, 2014.
- [9] Oliveira, L.T., Ferreira, M.Z., de Carvalho, L.M.T., Ferraz, A.C., Oliveira, T.C.D., Silveira, E.M.D., et al. Determinação do volume de madeira em povoamento de eucalipto por escâner a laser aerotransportado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. v.49, n.9, p. 692-699, 2014.
- [10] Macedo, R.C., Santos, J.R., Soares, J.V. Treex (tree extractor) – uma ferramenta para análise de dossel florestal e contagem de árvores a partir de dados lidar. *Revista Brasileira de Cartografia*, n.65/4, p.627-634. 2013
- [11] Muller, M., Kersting, APB, Nakajima, NY, Hosokawa, RT e Rosot, nc Influence of flight configuration used for lidar data collection on individual trees data extraction in forest plantations. *Floresta*. V.44, n.2, p.279-290, 2014.
- [12] Silva, C.A., Klauberg, C., Carvalho, S.P.C., Hudak, A.T., and Rodriguez, L.C.E. 2014. Mapping aboveground carbon stocks using LiDAR data in Eucalyptus spp. plantations in the state of São Paulo, Brazil. *Scientia Forestalis*, Vol. 42, n. 104, p. 591–604, 2014.
- [13] Silva, C. A. ; Klauberg, C. ; Carvalho, S. P. C. ; Corte, A. P. D. . Predição da biomassa aérea em plantações de *Pinus taeda* L. por meio de dados LiDAR aerotransportado. *Scientia Forestalis*. v. 45, n. 115, p. 527-539, 2017.
- [14] CARVALHO, S.P.C.; RODRIGUEZ, L.C.E., SILVA, L.D; et al. Predição do volume de árvores integrando Lidar e Geoestatística. *Scientia Forestalis*,. v. 43, n. 107 p.627-637, 2015.
- [15] Laranja, D. C. F.; Gorgens, E. B.; Soares, C. P. B.; Silva, A. G. P. Da; Rodriguez, L. C. E. Redução do erro amostral na estimativa do volume de povoamentos de Eucalyptus ssp. por meio de escaneamento laser aerotransportado. *Scientia Forestalis*, v. 43, n. 108, p. 845–852, 2015.
- [16] Martins, F.S., Bock, J., Dambrine, E., Dez, G., Dupouey, J.-L., Georges-Leroy, M., Renaud, J.-P. Estimativa da altura dominante em povoamentos decíduos através de dados LIDAR com múltiplos retornos. Estimating dominant height in deciduous stands using multi-echo LIDAR data. *Ambiência* v.6 n. 4, p. 115–126, 2010.
- [17] Hollaus, M., Mucke, W., Eysn, L. Forest structure and stem volume assessment based on airborne laser scanning. *Ambiência*. V. 8, Ed. Especial, p.471-482, 2012.
- [18] Giongo, M.; Koehler, H. S.; Vidal, M. R.; Bastos, P.; Santos, A. F.; Santopuoli, G. Estimativa da altura da base das copas com o uso de dados laser scanning aerotransportado (LiDAR). *Journal of Biotechnology and Biodiversity*, v. 3, n. 3, p. 48-57, 2012.
- [19] Ribas, R.P., Elmiro, M.A.T. Individualização de árvores em ambiente florestal nativo utilizando métodos de segmentação em modelos digitais produzidos a partir de tecnologias LIDAR. *Revista Brasileira de Cartografia*. n.645/4. p.717-729, 2013.
- [20] FIGUEIREDO, E.O.; D'OLIVEIRA, M.V.N.; FEARNSSIDE, Philip, M. PAPA, D.A. Modelos para estimativa de volume de árvores individuais pela morfometria da copa obtida com lidar. *CERNE*, v. 20, n. 4, p. 621-628, 2014.
- [21] Conto, T. do, Gørgens, E. B., Silva, A. G. P. da, Laranja, D. C. F., & Rodriguez, L. C. E. (2015). Caracterização do perfil vertical do dossel de um trecho de Mata Atlântica através de escaneamento laser aerotransportado. *Scientia Forestalis*. v. 43, n. 108 p.873-884, 2015.
- [22] Silva, I.L.G., Silva, C.A., Klauberg, C., Mello, J.M. Detecção de árvores individuais em área florestal mista de coníferas por meio de dados LiDAR aerotransportado. *Advances in Forestry Science*. V. 4, n.2, 107-112, 2017.
- [23] Rex, F.E.,Corte, A.P.D, Machado, S.A., Sanquetta, C.R. identificação e extração de copas de Araucária angustifólia (Bertol.) Kuntze a partir de dados LiDAR. *Advances in Forestry Science*. v. 5, n. 2, p.319-323, 2018.