

# MÉTODO DE ANÁLISE DE BIOMASSA EM UM FRAGMENTO FLORESTAL DE PINUS UNCINATA

<https://doi.org/10.4215/rm2021.e20001>.

Sidney Henrique Campelo de Santana <sup>a\*</sup> - Luis Fernando Sánchez Sastres <sup>b</sup> - Salvador Hernández Navarro <sup>c</sup> - Elisabeth Regina Alves Cavalcanti Silva <sup>d</sup> - Maria Lucielle Silva Laurentino <sup>e</sup> - Josiclêda Domiciano Galvêncio <sup>f</sup>

(a) Doutorando em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife (PE), Brasil

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-9744-5062>. **LATTES:** <http://lattes.cnpq.br/9273365682139897>.

(b) Dr em Engenharia. Professor Universidad de Valladolid, Valladolid, Espanha.

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-1994-5736>. **LATTES:**

<https://www.researchgate.net/scientific-contributions/Luis-Fernando-Sanchez-Sastre-2127784644>.

(c) Dr. em Engenharia. Professor Universidad de Valladolid, Valladolid, Espanha

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-6556-8567>. **LATTES:** <https://dialnet.unirioja.es/servlet/autor?codigo=1823102>.

(d) Doutora em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Universidade Federal de Pernambuco (PE), Brasil

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-0998-6190>. **LATTES:** <http://lattes.cnpq.br/3591530170527406>.

(e) Mestre em Engenharia. Universidade de Valladolid, Valladolid, Espanha.

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1305-115X>. **LATTES:** <http://lattes.cnpq.br/8854747595616757>.

(f) Doutora em Recursos Naturais. Professora Universidade Federal de Pernambuco (PE), Brasil

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-7367-6587>. **LATTES:** <http://lattes.cnpq.br/7217736964361440>.

## Article history:

Received 13 December, 2017.

Accepted 19 November, 2020.

Publisher 15 January, 2021.

## (\* ) CORRESPONDING AUTHOR

**Address:** UFPE. Depart. de Ciências Geográficas, Cidade Universitária, CEP: 50670901, Recife (PE), Brasil. Tel:(81) 21267375.

**E-mail:** sidneysantana.geo@gmail.com

## Resumo

As florestas têm um papel vital na captura de carbono da atmosfera. Por essa razão, este trabalho tem como objetivo principal quantificar e analisar a biomassa de um fragmento florestal de um *Pinus uncinata* que pertence ao Alinya Mountain Natural Space, através de ferramentas de dados Light Detection and Ranging. A área natural está localizada no município de Figòls y Alinyà, na província de Lleida, localizada na Catalunha-Espanha. Usando os dados Light Detection and Ranging (LIDAR), os Modelos de Terrenos Digitais foram gerados, e foram feitos cálculos estatísticos relevantes para posteriormente calcular a biomassa florestal. Como resultado, os modelos de regressão linear para biomassa tiveram uma correlação satisfatória com os dados de estoque para 2 das 5 áreas consideradas. Nesse sentido, foi possível estimar essas variáveis florestais para a área de estudo. O cálculo da biomassa florestal com dados LIDAR resultou em 9.138.6 toneladas para uma área de 69.04 ha, enquanto os cálculos de estoque resultaram em 11.638.4 toneladas.

**Palavras-chave:** Variáveis Florestais, Recursos Naturais, Sensoriamento Remoto, LiDAR.

## Abstract / Resumen

### BIOMASS ANALYSIS METHOD IN A FOREST FRAGMENT OF PINUS UNCINATA

The forests have a vital role in carbon capture from the atmosphere. Thus, this work has as its main objective to quantify and analyze biomass of a forest fragment of a *Pinus uncinata* that belongs to Alinya Mountain Natural Space, through of Light Detection and Ranging (LIDAR) data tools. The natural area is located in the County of Figòls y Alinyà, in the Lleida province, located in Catalonia-Spain. In this sense, using the LIDAR data, the Digital Terrain Models were generated, and relevant statistical calculations were made to subsequently calculate the forest biomass. The linear regression models for biomass had a satisfactory correlation with the inventory data for 2 of the 5 areas considered. In this sense, it was possible to estimate these forest variables for the study area. The calculation of forest biomass by LIDAR data resulted in 9.138.6 tons to an area of 69.04 ha, while the inventory calculations resulted in 11.638.4 tons.

**Keywords:** Forest Variables, Natural Resources, Remote Sensing, LiDAR.

### MÉTODO DE ANÁLISIS DE BIOMASA EN UN FRAGMENTO FORESTAL DE PINUS UNCINATA

Los bosques tienen un papel vital en la captura de carbono de la atmósfera. Así, este trabajo tiene como objetivo principal cuantificar y analizar la biomasa de un fragmento forestal de un *Pinus uncinata* que pertenece al Alinya Mountain Natural Space, a través de herramientas de datos Light Detection and Ranging (LIDAR). El área natural está ubicada en el municipio de Figòls y Alinyà, en la provincia de Lleida, ubicada en Cataluña-España. En este sentido, usando los datos LIDAR los Modelos de Terrenos Digitales fueron generados, y se realizaron cálculos estadísticos relevantes para posteriormente calcular la biomasa florestal. Como resultado, los modelos de regresión lineal para biomasa tuvieron una correlación satisfactoria con los datos de stock para 2 de las 5 áreas consideradas. En ese sentido, fue posible estimar esas variables forestales para el área de estudio. El cálculo de la biomasa florestal por datos LIDAR resultó en 9.138.6 toneladas para un área de 69.04 ha, mientras que los cálculos de stock resultaron en 11.638.4 toneladas.

**Palabras-clave:** Variables Forestales, Recursos Naturales, Detección Remota, LiDAR.

## INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, novas ferramentas de sensoriamento remoto ganharam popularidade ao adquirir informações espacialmente contínuas sobre a disposição geográfica dos recursos florestais. Nesse sentido, a detecção remota é importante, pois os custos associados ao inventário e a necessidade de monitoramento florestal são altos (JIMÉNEZ et al., 2016).

Entre essas ferramentas, encontra-se a Light Detection and Ranging (LiDAR), ou também conhecido como Scanner a Laser. A partir da emissão de pulsos de laser, essa ferramenta mede o tempo de retorno para estimar diretamente a altura e a estrutura das florestas (PILLODAR et al., 2017; LIU et al., 2017).

A tecnologia LiDAR emergiu recentemente como uma tecnologia significativa para aplicações de medição florestal, incluindo superfícies de solo e vegetação, que são usadas para avaliar a altura da árvore, volume e medidas de biomassa (EDSON & WING, 2011; KRAMER et al., 2016). A tecnologia LiDAR, acima de tudo, fornece uma variedade de dados indiretos sobre elementos terrestres que são usados em modelos estatísticos.

O potencial da técnica, que leva em consideração informações tridimensionais, com precisão de dados maior que o Radar e não sofre com o efeito da atmosfera, fornecendo dados mais específicos sobre os elementos terrestres que podem servir de base para estudos sobre as mudanças dos padrões vegetativos de certas áreas.

Portanto, este estudo foi realizado em um fragmento de floresta no Espaço Natural da Montanha Alinyà, caracterizado por uma paisagem particular, diversidade florística e faunística, contendo massas florestais de grande interesse ambiental, como sumidouros de carbono em potencial. Uma dessas massas corresponde a um fragmento florestal de *Pinus uncinata* que foi selecionado como objeto de estudo para este trabalho, com o objetivo de quantificar e analisar a biomassa florestal usando as ferramentas LiDAR.

## MATERIAL E MÉTODOS

### CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Espaço Natural da Montanha Alinyà se estende por 5352,13 ha através do município Figols i Alinyà, pertencente à província de Lérida, localizada na Comunidade Autônoma da Catalunha, Espanha. Suas coordenadas centrais correspondem a E 1°25'22" e N 42°10'49". Localizada entre a Sierra del Cadí e o rio Segre, esta área natural compreende a maior área privada da Catalunha, pertencente à Fundação Catalunya-La Pedrera (FCP, 2015).

O arranjo altitudinal, variando de 608 a 2739 metros, o relevo e a orientação das encostas, dão origem a diferentes zonas com microclima característico, o clima pré-pirenaico. As temperaturas variam de 8° C a 16° C. Essas características climáticas incluem a área da região euro-siberiana, incluindo também áreas tipicamente mediterrâneas. A vegetação presente nas porções baixas e médias é caracterizada por bosques de azinheiras e pinhais do Mediterrâneo, entre eles o pinheiro silvestre (*Pinus sylvestris*). Na parte mais alta do vale, o ecossistema subalpino se estende, no qual predomina o substrato herbáceo (MOISÉS et al., 2004).

### DADOS DO INVENTÁRIO

Para este estudo, foram utilizados como referência os dados do Inventário Florestal elaborado pela Fundação Catalunya - La Pedrera, de junho a setembro de 2013. Os dados fornecidos por este inventário constituem, por um lado, as coordenadas centrais, o raio e a área total das 123 parcelas circulares agrupadas em zonas, bem como o número de pés por classe de diâmetro e, por outro, os dados referentes à biomassa de cada uma das zonas inventariadas de acordo com a metodologia do CREAM (Centro de Investigação Ecológica e Aplicações Florestais) (Generalitat de Catalunya).

Como base para comparação com os dados LiDAR e modelos de regressão subsequentes, foram

escolhidas 5 zonas (1a, 1b, 1c, 1d e 3c) de florestas homogêneas ou predominantemente de Pinus uncinata. Essas zonas compreendem as 60 parcelas circulares de raio médio de 12 metros e uma superfície ideal de 452,39 m<sup>2</sup>. Das 60 parcelas selecionadas, 13 pertencem à zona 1a, 12 à zona 1b, 9 à zona 1c, 16 à zona 1d e 11 à zona 3c. O fragmento de floresta selecionado para estimar a biomassa por meio dos dados LiDAR compreende a zona 1a.

## PROCESSAMENTO DOS DADOS LIDAR

Para trabalhar com os dados do LiDAR, as cartas originadas pelo voo com a varredura a laser foram adquiridas sobre a área de estudo, executada entre 2009 e 2011 pelo Instituto Nacional de Geografia [da Espanha] pelo Plano Nacional de Ortofotografia Aérea (PNOA). Durante o processamento dos dados do LiDAR, foi feita uma correção com os fatores de crescimento anuais do Inventário Nacional de Florestas 3 (IFN3).

O software livre FugroViwer™ (Fugro) foi usado para visualizar a nuvem de pontos. Por outro lado, o software FUSION / LDV desenvolvido pelo Serviço Florestal do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos - Serviço Florestal - USDA foi usado para filtrar e gerenciar esses pontos. Assim, as classes consideradas foram as correspondentes ao terreno, vegetação baixa, vegetação média, vegetação alta e ponto chave do modelo. Em seguida, a ferramenta lasclip foi usada para selecionar e extrair as informações contidas no arquivo (\*.las) correspondente à zona de interesse.

Posteriormente, um Modelo Digital de Superfície (MDS) foi gerado com os dados de todas as cartas, para que fosse possível separar as informações relacionadas à terra das informações relacionadas à vegetação e, em seguida, realizar os cálculos correspondentes à biomassa da floresta. Um processo semelhante foi adotado para gerar o Modelo Digital de Altura de Vegetação (modelo MDHV ou Canopy), desta vez apenas o fragmento florestal da zona 1a. Em seguida, ambos os modelos foram convertidos para o formato ASCII, para receber a sequência no processamento de dados.

As etapas a seguir consistiram na extração e cálculo da pilha estatística LiDAR dos pontos relativos às parcelas circulares, com raio semelhante aos delimitados no terreno (raio de 12 m e superfície ideal de 542 m<sup>2</sup>), tendo como centro de cada circunferência seus respectivos pontos entre os 60 selecionados. Esse processo foi realizado usando o comando FUSION Gridmetrics para obter os dados LiDAR referentes às dimensões da vegetação que seriam confrontadas com dados inventariados em campo para gerar os modelos lineares e, depois, as equações.

Este comando calcula os dados estatísticos em células retangulares de tamanho ajustável pelo usuário, neste caso 20 m de lado, para obter superfícies semelhantes às parcelas de campo. No entanto, ao executar o Gridmetrics, o FUSION comete alguns erros que resultam em células corrompidas, que são eliminadas.

Ao final deste processo, as equações de regressão linear foram obtidas modelando a relação entre uma variável dependente (biomassa) e as variáveis independentes (dados estatísticos do LiDAR). Para a execução dos modelos e construção das equações que estimaram as variáveis florestais, foi utilizado o software livre R, desenvolvido na Universidade de Auckland e atualmente aprimorado pelo R Development Core Team. Por esse programa, as relações de correlação entre as variáveis estavam sendo testadas e os modelos estavam sendo refinados até altos coeficientes de determinação e baixos erros padrão.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### MODELO DIGITAL DE TERRENO

Através do processamento das informações obtidas no voo LiDAR foram gerados Modelos Digitais do Terreno, um de superfícies e outro da altura da vegetação.

A Figura 1 corresponde ao Modelo Digital de Superfícies ou Elevações da zona 1a, gerado pela ferramenta GridsurfaceCreate de FUSION.

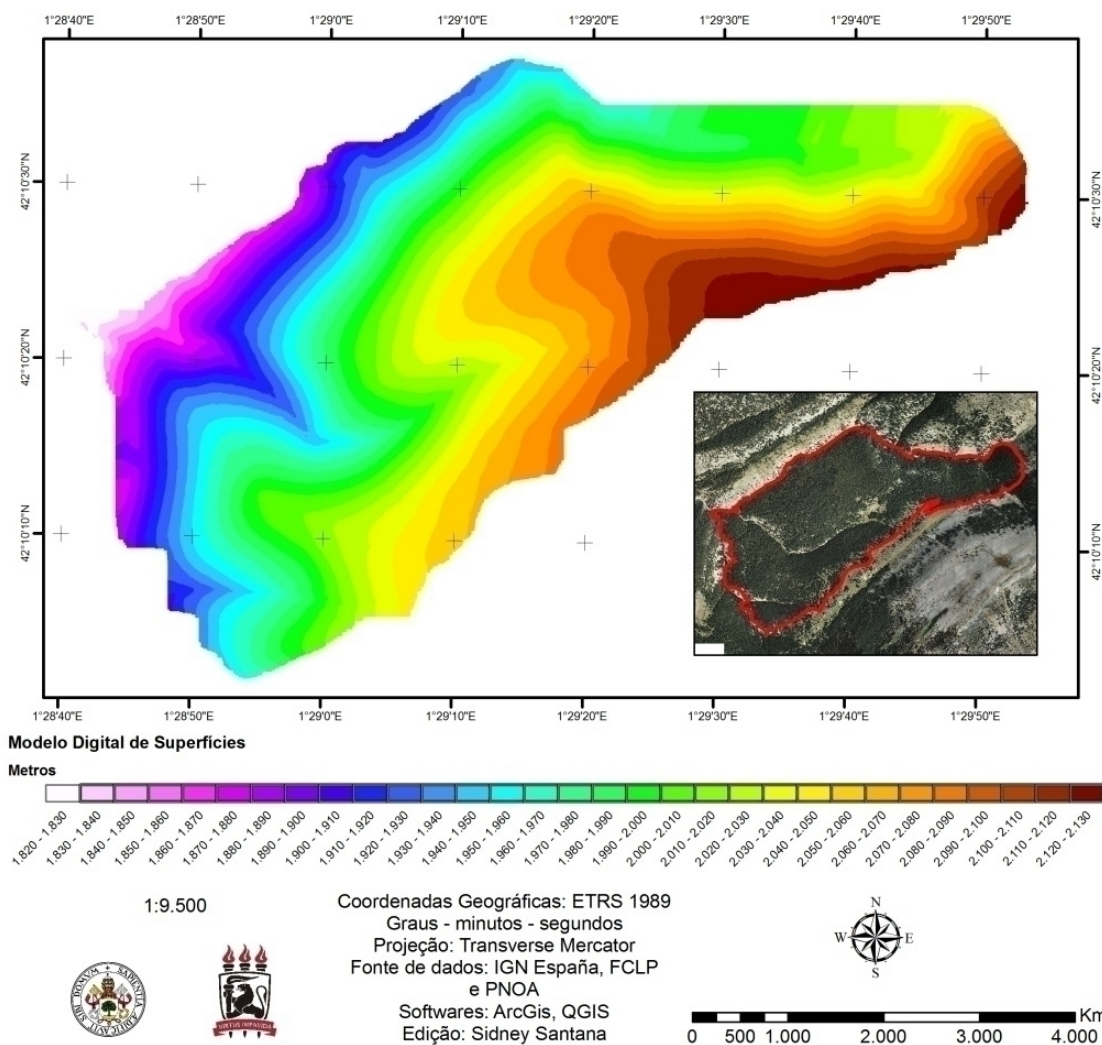


Figura 1 - Modelo Digital de Superfície da zona 1a.

A área de estudo apresenta 315,29 metros de altura, sendo seu ponto mais alto para 2135,46 metros de altitude ao nível do mar. Por meio da tonalidade das cores com os correspondentes valores de altitude, como mostra a descrição da Figura 1, observa-se que a porção leste compreende a porção mais alta da zona 1a, representada pela cor marrom.

Os valores altitudinais diminuem na direção oeste; os níveis mais baixos representados pela cor rosa claro. Vê-se que a zona 1a compreende uma área inclinada voltada para a direção oeste. A zona 1a é atravessada longitudinalmente por um vale na sua porção central. Da mesma forma, percebe-se que na parte sul outro vale atravessa a zona.

## CANOPY MODEL

A Figura 2 corresponde ao Modelo Digital de Altura da Vegetação, ou modelo de copa, da área de estudo criada pela função CanopyModel do software FUSION.

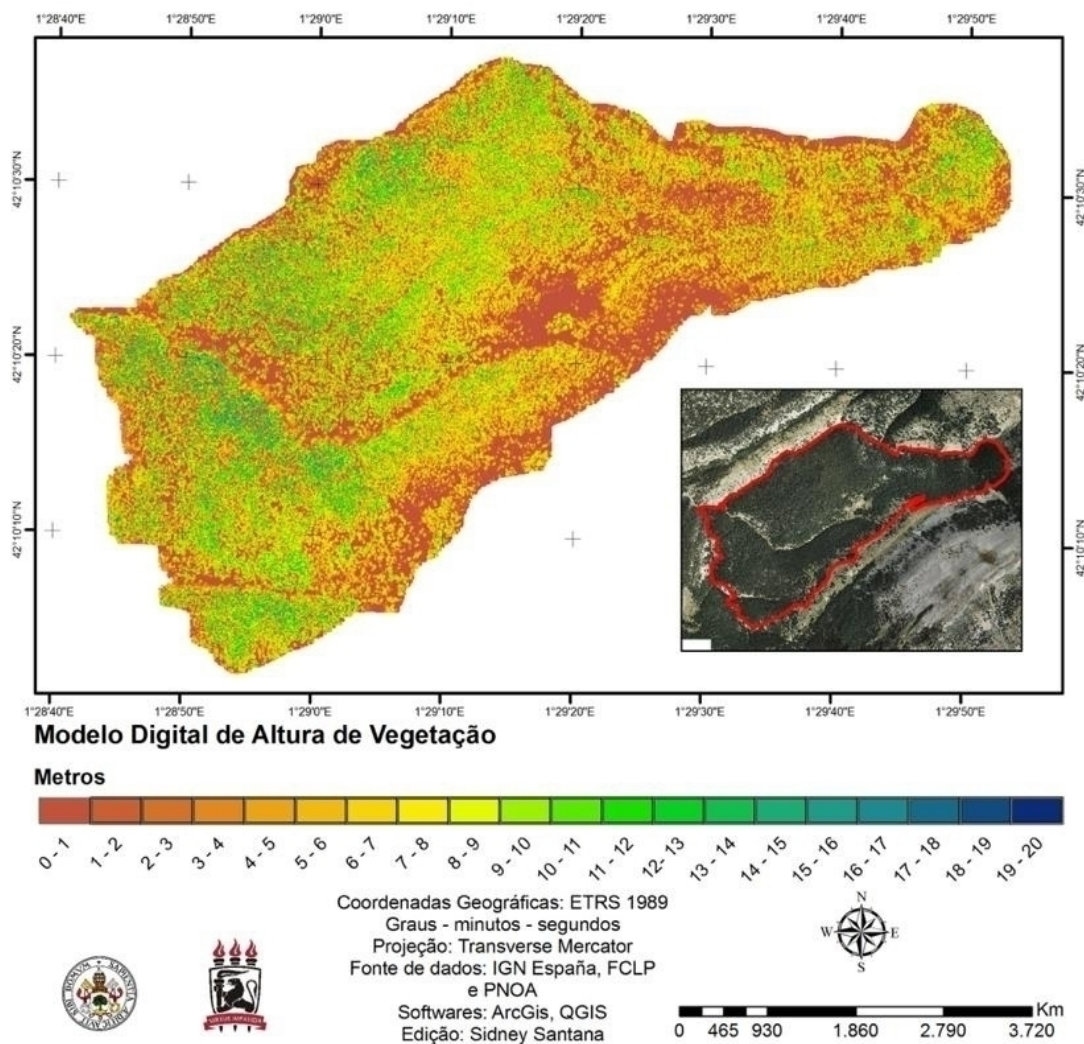


Figura 2 - Modelo Digital da Altura da Vegetação da zona 1a.

Tomando como referência a gradação de cor correspondente às alturas da vegetação, pode ser visto na Figura 2 que as concentrações das maiores massas de vegetação estão aparentemente distribuídas em quatro porções: na porção nordeste extrema da zona, na porção central norte do vale, na parte central ao sul do vale e na parte correspondente ao extremo sul da zona.

Os níveis mais baixos de altura são encontrados ao longo dos talwegues dos dois vales que cruzam a zona e na porção leste, onde são encontradas os maiores níveis altimétricos. Além de especificar os valores de altura, o modelo fornece mais detalhes visuais da área através da classificação de cores de toda a massa da floresta.

O Modelo Digital de Superfície foi essencial para o desenvolvimento do estudo, uma vez que somente foi possível calcular as variáveis LiDAR após a separação da vegetação do solo. Além disso, o MDS serviu como parâmetro de comparação com os outros produtos no momento da análise da massa florestal.

## CÁLCULO DOS MODELOS ESTATÍSTICOS BASEADO NOS DADOS LIDAR

Inicialmente, foram realizados testes com modelos lineares com todas as 60 zonas pontos 1a, 1b, 1c, 1d e 3c; no entanto, as correlações não foram satisfatórias, atingindo um valor R quadrado de 0,5 em média. Em seguida, novos testes foram realizados, às vezes excluindo uma zona de cada vez, às vezes considerando os pontos de duas zonas. Nesse processo, buscou-se sempre incluir a zona 1a, uma vez que é o objeto deste estudo.

Finalmente, ao gerar modelos com os pontos da zona 1a e 1d, foi atingido um valor quadrado de R de 0,82, com alto grau de significância na maioria dos parâmetros. Com a "união" dos pontos dessas duas zonas, foram somadas 29 parcelas circulares.

Nos estudos de Zhao et al. (2009), Salas et al. (2010) e Zolkos et al. (2013), os métodos de regressão foram eficazes para modelar a biomassa com as métricas derivadas dos sensores aéreos. Nesses casos, as equações alométricas foram usadas para relacionar medidas da biomassa florestal no campo com as características físicas das árvores fornecidas pelos dados do LiDAR.

No entanto, na tentativa de entender por que as correlações anteriores não eram altas, foi levantada a hipótese de que a biomassa florestal das zonas 1a e 1d poderia estar mais relacionada à altura das árvores, uma vez que os dados fornecidos pelo LiDAR se referem em grande parte à elevação. Por outro lado, os valores de biomassa das outras zonas podem estar associados à quantidade de árvores por parcela. Portanto, foram calculados os valores médios da biomassa do inventário e da elevação máxima gerada pelos dados do LiDAR e comparados entre si (Tabela 1).

Zone	Forest Biomass	Max. Elevation
1a	6.87 tons	14.36 m
1b	5.22 tons	11.00 m
1c	4.89 tons	12.16 m
1d	6.31 tons	13.92 m
3c	9.04 tons	16.03 m

Tabela 1 - Valores médios de biomassa e elevação máxima.

Pode-se observar na Tabela 1 que as zonas 1a e 1d apresentam valores mais altos na biomassa e valores máximos de elevação das zonas pertencentes ao grupo 1. No entanto, a zona 3c é a que obtém maior quantidade de biomassa florestal e maior vegetação, de acordo com os dados do LiDAR.

A propósito, como os testes com a zona 3c não resultaram em uma correlação satisfatória, a hipótese lançada é posta em cheque. Uma vez determinado o modelo linear de biomassa florestal das zonas 1a e 1d, modelos similares foram utilizados para estimar o teor de carbono, considerando que a correlação para esses outros três parâmetros também foi satisfatória, com uma média de R<sup>2</sup> de 0,82.

A partir desses modelos, foram definidas equações no Microsoft Excel para estimar a biomassa florestal dos 29 pontos considerados nesta etapa. A tabela 2 apresenta a eq. 1 e 2, resultantes das regressões lineares realizadas entre os dados de biomassa florestal e o teor de carbono do inventário com os dados adquiridos pelo LiDAR.

Forest Biomass Model	Equations
Correlations	
Residual standard error = 0.753	Forest biomass = -8.420533 - (17.284783 * Elev.mean) +
Multiple R-squared = 0.825	(0.090872 * FCC) + (3.321942 * Elev.Kurtosis) +
Adjusted R-squared = 0.693	(4.383122 * Elev.p70) + (3.582299 * Elev.p50) -
	(1.322206 * Elev.p95) + (4.407623 * Elev.p05) +
	(3.959646 * Elev.p75) + (2.871198 * Elev.p90) -
	(1.757112 * Elev.p01) + (0.002919 * All returns above mean) + (6.719745 * Canopy relief ratio) (1)
Carbon Content Model	
Correlations	
Residual standard error = 0,389	Carbon content = -4,5731132 + (1,8312510 * Elev.Kurtosis) - (9,6776788 * Elev.mean) - (0,5139935 * Elev.P01) + (2,1626610 * Elev.P05) + (2,2162177 * Elev.P50) + (2,7347885 * Elev.P70) + (1,7112347 * Elev.P75) + (1,7414060 * Elev.P90) - (0,7976353 * Elev.P95) + (0,0450736 * FCC) + (0,0015026 * All returns above mean) + (2,9105467 * Canopy relief ratio) (2)

Tabela 2 - Equações geradas para estimar os parâmetros florestais e suas respectivas correlações.

Ao ler a Tabela 2, nota-se que os valores do quadrado R e do quadrado R ajustado das três variáveis foram próximos, sendo mais altos para a biomassa da floresta, 0,825 e 0,693, respectivamente. Resultados semelhantes entre as correlações dos cálculos alométricos em relação à biomassa foram obtidos por Estornell et al. (2012), em que obtiveram o R-quadrado de 0,87 e o R-quadrado ajustado de 0,79 na zona do Mediterrâneo.

A Tabela 3 mostra os valores das variáveis florestais do inventário e os valores estimados pelas equações, referentes à biomassa florestal, área basal e teor de carbono.

Pontos das zonas	Biomassa	Biomassa	Área	Área	Estoque	Estoque
	Florestal	Florestal	Basal	Basal	Carbono	Carbono
	Inventário	Modelo	Inventário	Modelo	Inventário	Modelo
1a1	8,53	8,33	2,16	2,21	4,40	4,49
1a2	5,93	6,02	1,57	1,63	3,30	3,37
1a3	7,82	6,98	2,11	1,90	4,28	3,84
1a4	6,00	6,53	1,65	1,72	3,34	3,51
1a5	7,60	7,26	2,06	1,97	4,16	3,98
1a6	4,81	5,08	1,35	1,45	2,73	2,92
1a7	6,65	7,39	1,80	2,00	3,67	4,06
1a8	5,98	6,68	1,64	1,84	3,33	3,76
1a9	7,38	8,29	1,98	2,28	4,05	4,62
1a10	4,71	4,00	1,32	1,19	2,68	2,42
1a11	6,37	5,92	1,73	1,70	3,53	3,44
1a12	8,34	7,32	2,22	2,03	4,54	4,15
1a13	9,16	8,69	2,44	2,31	4,97	4,69
1d2	5,90	6,20	1,71	1,77	3,46	3,58
1d3	6,26	5,72	1,80	1,63	3,65	3,28
1d4	4,26	5,51	1,31	1,58	2,61	3,18
1d5	4,00	4,51	1,24	1,38	2,48	2,76
1d6	8,31	8,59	2,31	2,34	4,71	4,74
1d7	4,96	4,97	1,48	1,47	2,98	2,95
1d8	5,74	6,72	1,68	1,90	3,38	3,86
1d9	5,82	5,43	1,68	1,54	3,42	3,10
1d10	6,30	5,77	1,81	1,62	3,67	3,31
1d11	8,79	8,55	2,45	2,36	4,95	4,79
1d12	6,89	6,77	1,97	1,92	3,97	3,88
1d13	6,64	6,38	1,90	1,79	3,84	3,63
1d14	7,92	7,76	2,22	2,11	4,51	4,31
1d15	6,05	6,01	1,57	1,61	3,12	3,22
1d16	7,14	6,77	2,04	1,98	4,10	3,99
1d17	6,03	6,17	1,76	1,74	3,53	3,51

Tabela 3 - Valores biométricos para o inventário e os resultados dos cálculos LiDAR.

Pode-se observar na tabela 3 que os valores resultantes das equações com os dados do LiDAR se aproximam dos valores das variáveis florestais fornecidas pelo Inventário da Fundação La-Pedreira. Para verificar essa correlação, foram gerados gráficos de dispersão entre os valores (por parcela) das

variáveis provenientes do inventário e os gerados pelo modelo estatístico aplicado aos dados do LiDAR.

Constata-se que a correlação entre os valores inventariados da biomassa florestal e do conteúdo de carbono e os resultantes dos modelos aplicados apresenta uma boa correlação, 0,825, 0,817 e 0,817, respectivamente. Assim, a biomassa florestal é a variável que apresenta a maior correlação entre os dados, enquanto o teor de carbono mostra os resultados do R ao quadrado bastante aproximados.

Nas células localizadas na área de estudo estão os pontos com as informações das variáveis LiDAR geradas pelo GridMetrics. Cada célula tem um tamanho de 400 m<sup>2</sup> e, naquelas que fazem parte da zona 1a, as equações foram aplicadas para estimar a biomassa florestal.

## BIOMASSA FLORESTAL

Na zona 1a, excluindo as que apresentaram erros, existem 1.727 células correspondentes a 69,08 ha de área. Tomando essa dimensão como referência e considerando as parcelas do inventário como amostras, foi estimada a biomassa florestal total da área, usando dados da Fundação La-Pedreira. O cálculo resultou em um valor de 11.638,4 toneladas de biomassa florestal para a zona. Por outro lado, o cálculo da biomassa total da área utilizando a equação aplicada aos dados do LiDAR resultou em 9.138,6 toneladas de biomassa florestal.

Ao se comparar as duas estimativas da biomassa total da floresta da área de estudo, constata-se que foram alcançados valores aproximados, em que o resultado obtido pelo modelo é menor, 2.499,8 toneladas a menos. Indica-se que essa diferença seja consequência de que o método utilizado para calcular a biomassa da zona toma como amostras as parcelas do inventário, as quais incluem partes da floresta onde as árvores são menores e até espaços onde não há vegetação arbórea, como foi possível observar no modelo Canopy.

Estudos também foram realizados por Silva et al. (2015a) sobre a importância de estimar a biomassa através de sensores remotos e Silva et al. (2015b) sobre o uso de novas tecnologias para a conservação dos recursos naturais. Desse modo, enfatiza-se a importância dos dados LiDAR na projeção mais confiável do objeto de estudo, uma vez que o sensor captura informações de toda a zona, com cobertura vegetal diferente, enquanto as parcelas do inventário servem como amostras, tendendo a homogeneizar o informações sobre o espaço considerado. Portanto, a Figura 3 apresenta o mapa de distribuição da biomassa florestal por quadrícula na área de estudo.

Ao analisar a Figura 3, nota-se que as altas concentrações de biomassa florestal não se condensam em uma região da zona, mas são distribuídas em várias partes. Um alto conteúdo de biomassa florestal se estende pela porção central norte da zona, embora não ocorra uniformemente. Ao sul da divisão feita pelo fundo do vale, também é observada uma distribuição mais densa de biomassa e, no extremo sul da zona, é observada uma densificação mais concentrada dessa biomassa florestal.



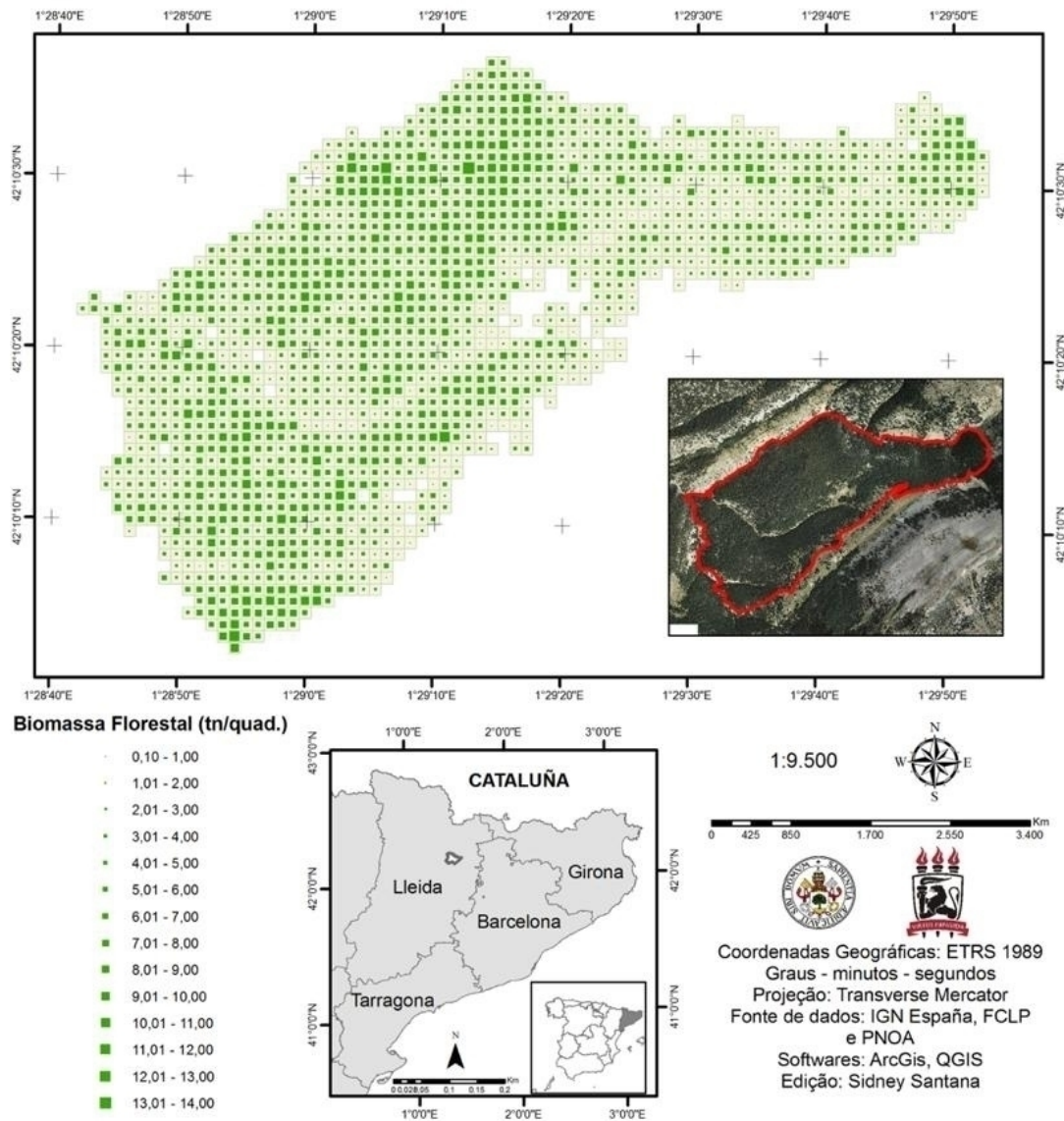


Figura 3 - Distribuição de biomassa florestal na zona 1a

Também é possível notar que no nordeste da zona, ao redor das coordenadas  $1^{\circ} 29' 50''$  E e  $42^{\circ} 10' 30''$  N, há uma concentração de biomassa florestal. Nas áreas correspondentes ao talvegue de vale, que atravessam as porções central e sul da zona, nota-se uma considerável ausência de biomassa florestal. Isso pode ser causado pela estrutura pedológica nessas áreas, com acúmulos de detritos rochosos transportados por agentes naturais adicionados à ação da gravidade.

Observa-se também a baixa concentração de biomassa entre a porção norte central e nordeste da zona, incluindo as áreas mais altas do local, que podem ser causadas por solos pouco profundos e afloramentos rochosos, o que dificulta o desenvolvimento de uma vegetação arbórea. Na área pode-se notar a presença de afloramentos rochosos próximos à porção leste da zona. A efeito de comparação nos estudos de Montero et al. (2005), o teor de carbono para a biomassa de pinheiro preto (*Pinus nigra*) foi de 50,9%, enquanto para o zimbro espanhol (*Juniperus communis*) e azinheira (*Quercus ilex*) o teor de carbono foi estimado em 47,5% da biomassa total.

## CONCLUSÃO

1.O modelo de copa mostrou-se um produto viável para analisar a estrutura da biomassa florestal, pois diferencia claramente os valores de altura entre as árvores.

2.Os dados LiDAR, relacionados aos dados do Inventário Florestal, foram muito úteis, levando em consideração os resultados estatísticos. Nesse sentido, essa bateria de dados apresentou correlação satisfatória com os dados do Inventário para as 29 parcelas das zonas 1a e 1d, com valores do R quadrado acima de 0,8. Dessa forma, possibilitaram a criação de uma equação para estimar a biomassa florestal da área de estudo.

3.O estudo com dados de LiDAR provou ser vantajoso ao trabalhar com medidas biométricas não destrutivas. No entanto, os métodos de aplicação de dados provenientes desta tecnologia precisam ser desenvolvidos para atender às diversas realidades de biomas e florestas em todo o mundo.

## REFERÊNCIAS

EDSON, C.; WING, M.G. Airborne Light Detection and Ranging (LiDAR) for Individual Tree Stem Location, Height, and Biomass Measurements. *Remote Sens.* [s.l.], v. 3, n. 11, p.2494-2528, 2011. 2494-2528. 10.3390/rs3112494. 2011.

ESTORNELL, J.; RUIZ, L.A.; VELÁZQUEZ-MARTÍ, B.; HERMOSILLA, T. Estimation of biomass and volume of shrub vegetation using LiDAR and spectral data in a Mediterranean environment. *Biomass & Bioenergy*, Oxford, v. 46, p. 710-721, Nov. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.06.023>. 2012.

FUNDACIÓ CATALUNYA – LA PEDRERA. 2015. <http://www.fundaciocatalunya-lapedrera.com/ca/content/espai-natura-muntanya-d%E2%80%99aliny%C3%A0>. Acessado em Julho de 2016.

JIMÉNEZ, E.; VEJA, J.A.; FERNÁNDEZ-ALONSO, J.M.; VEGA-NIEVA, D.; ORTIZ, L.; LÓPEZ-SERRANO, P.M.; LÓPEZ-SÁNCHEZ, C.A. Estimation of aboveground forest biomass in Galicia (NW Spain) by the combined use of LiDAR, LANDSAT ETM+ and National Forest Inventory data. *iForest Biogeosciences and Forestry.* [s.l.], v. 10, pp. 590-596, 2016. doi: 10.3832/ifer1989-010. 2016.

KRAMER, H.A.; COLLINS, B. M.; GALLAGHER, C.V; KEANE, J.J.; STEPHENS, S.L.; KELLY, M. Accessible light detection and ranging: estimating large tree density for habitat identification. *Ecosphere.* [s.l.], v. 7, n. 12, p.1-15, 2016. <https://doi.org/10.1002/ecs2.1593>. 2016.

LIU, L.; PANG, Y.; LI, Z.; SI, L.; LIAO, S. Combining Airborne and Terrestrial Laser Scanning Technologies to Measure Forest Understorey Volume. *Forests*, [s.l.], v 111, n.8, p.1-14, abril de 2017. doi:10.3390/f8040111. 2017.

MOISÉS, J.; IBÁÑEZ, M.; RODRÍGUEZ, R.; OLARIETA, J.R. Estudi climatològic de la Vall d'Alinyà. En: *Els sistemes naturals de la vall d'Alinyà*. Barcelona: Institució Catalana d'Història Natural, p. 17-45, 2004.

MONTERO, G.; RUIZ-PEINADO, R.; MUÑOZ, M. Producción de biomasa y fijación de CO2 por los bosques españoles. 120f. Monografías INIA, Serie Forestal; Madrid, 2005.

PILLODAR, O.; MERO, D.C.; MOSTRALES, D. S.; ASTILLERO, S.G.C.; IGNACIO, M. T. T. Estimation of Aboveground Biomass and Carbon Stock of Bacolod Protected Landscape and Seascape Using LiDAR Data and GIS Fejaycris. *Int'l Journal of Advances in Agricultural & Environmental Engg. (IJAAEE).* [s.l.], v. 4, Issue 1. p.1-5, 2017. <https://doi.org/10.15242/IJAAEE.C0117003>. 2017.

SALAS, C.; ENE, L.; GREGOIRE, T. G; NÆSSET, E.; GOBAKKEN, T. Modelling tree diameter from airborne laser scanning derived variables: a comparison of spatial statistical models. *Remote Sensing of Environment.* [s.l.], v.114 n.6, p.1277-1285, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.01.020>. 2010.

SILVA, E.R.A.C.; GALVÍNCIO, J.D.; BRANDÃO NETO, J.L.; MORAIS, Y.C.B. Space-Time Analysis of Environmental Changes and your Reflection on the Development of Phenological of Vegetation of Mangrove. *Journal of Agriculture and Environmental Sciences.* [s.l.], v. 4, p. 245-253. 2015a. doi: 10.15640/jaes.v4n1a30. 2015a.

SILVA, E.R.A.C.; MORAIS, Y.C.B.; SILVA, J.C.; GALVÍNIO, J.D. Consumo de água na irrigação para cultivo da bananeira nas condições edafoclimáticas da bacia do riacho do Pontal no Semiárido de Pernambuco. *Revista Brasileira de Geografia Física, Pernambuco, Brasil*. v. 08, n. 03. P. 921-937. 2015b. <http://dx.doi.org/10.5935/1984-2295.20150087>. 2015b.

ZHAO, K.; POPESCU, S.; NELSON, R. Lidar remote sensing of forest biomass: A scale-invariant estimation approach using airborne lasers. *Remote Sensing of Environment*. [s.l.], v. 113, Issue 1, p. 182-196, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.09.009>. 2009.

ZOLKOS, S.G.; GOETZ, S.J.; DUBAYAH, R. A meta-analysis of terrestrial aboveground biomass estimation using lidar remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, [s.l.], v. 128. p. 289-298, 2013. ISSN 0034-4257, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2012.10.017>. 2013.