



Utilização de dados LiDAR em aplicações florestais

Luís Gonçalves Seco

ISMAI / FCUP

A Deteção Remota como um instrumento de gestão e apoio à decisão

13 de Março 2012



Ordem dos Engenheiros
REGIÃO NORTE

lgs@fc.up.pt

Sumário

- Introdução à tecnologia LiDAR
- Aplicações florestais
- Processamento de dados LiDAR
- PNOA
- Software



Introdução à tecnologia LiDAR



Ordem dos Engenheiros
REGIÃO NORTE

VIDEO

Market development

- **1989-1990**: Experimental laser profiling test flights (Institute for Photogrammetry, University Stuttgart, Special research group)
- **1993**: First Airborne Laser Terraing Mapping (ALTM) system in operation
- **1999**: Worldwide approx. 30 ALTM instruments commercially operated
- **2001**: Worldwide approx. 60 ALTM instruments commercially operated
- **2007**: Worldwide approx. 150 ALTM instruments commercially operated worldwide approx. 95 companies (Incl. Manufacturers & software developers)





Active remote sensing techniques are more capable of resolving the vertical structure of vegetation

LiDAR vs. Traditional Photogrammetry

LiDAR	Photogrammetric
Day or night data acquisition	Day time collection only
Direct acquisition of 3D collection	Complicated and sometimes unreliable procedures
Vertical accuracy is better than planimetric*	Planimetric accuracy is better than vertical*
Point cloud difficult to derive semantic information; however, <u>intensity</u> values can be used to produce a visually rich image like product (example of an intensity image)	Rich in semantic information

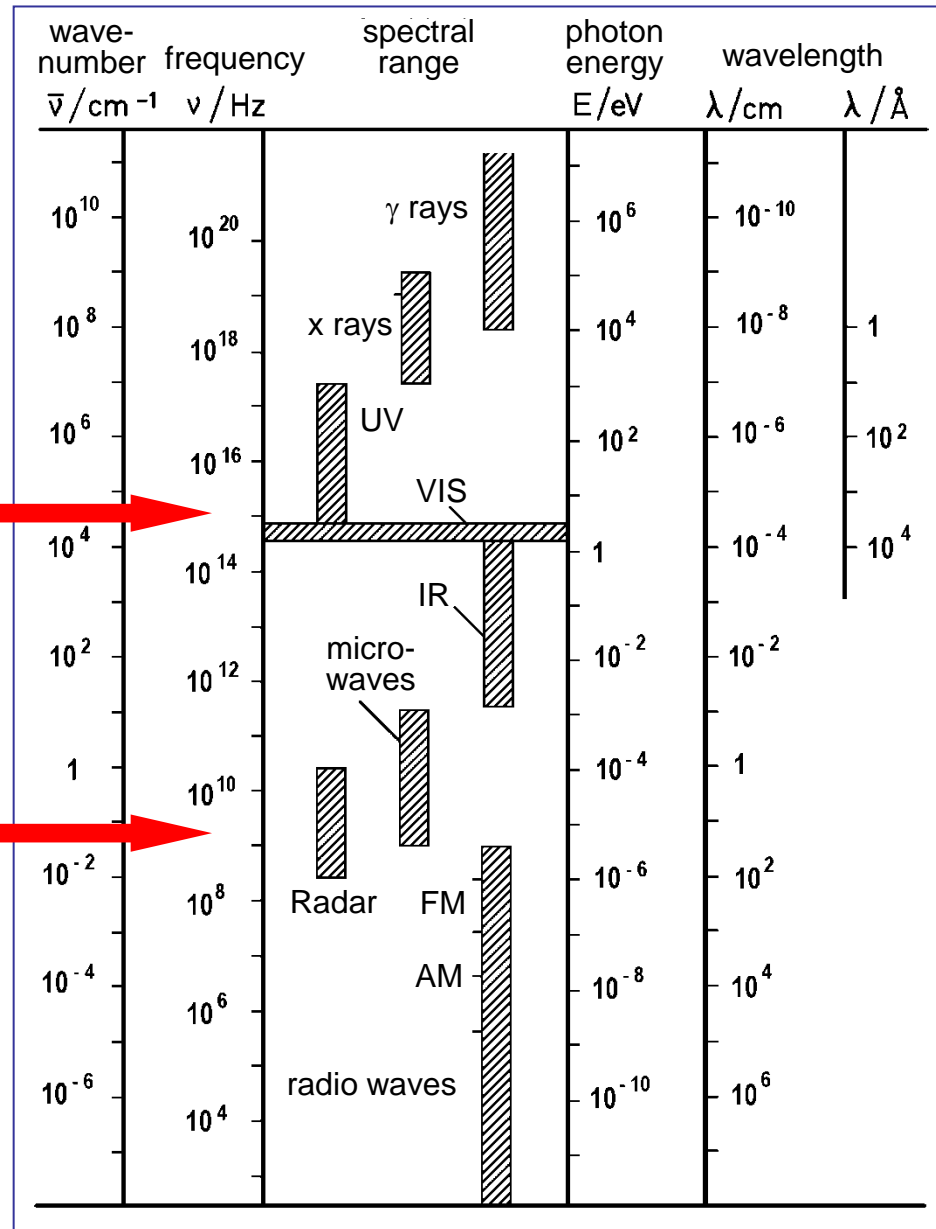
***Complementary characteristics suggest integration**



The electromagnetic spectrum

**Light Detection And Ranging
LiDAR**

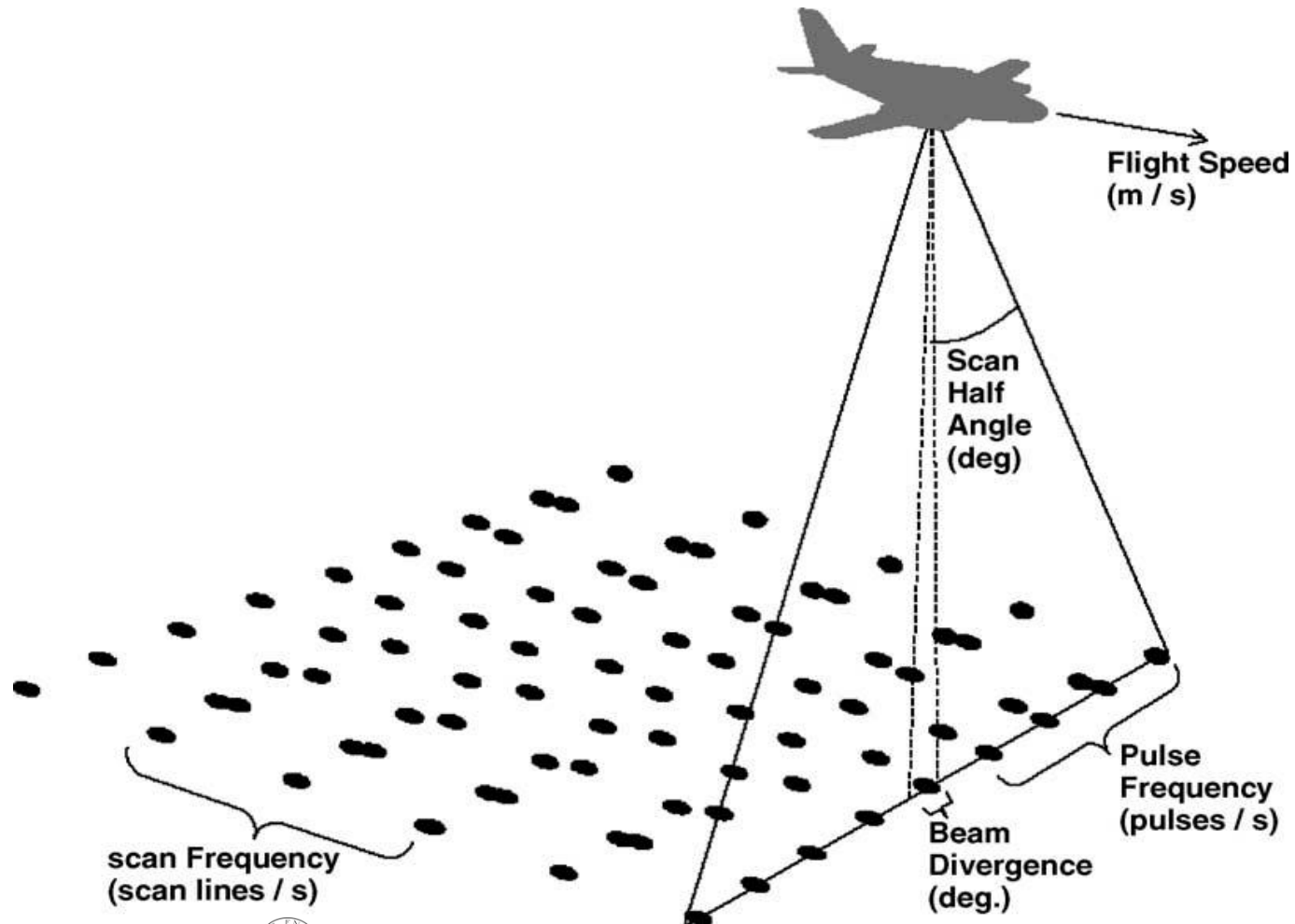
**Radio Detection And Ranging
RaDAR**



Ordem dos Engenheiros
REGIÃO NORTE

LiDAR can more easily achieve a fine resolution in both the horizontal and vertical directions.

How does it work?



Instrument development

1993

2 kHz

1000 m max. AGL height

$\pm 20^\circ$ scan angle

First or last return

4-5 m point spacing

2007

Up to ~200 kHz

Up to 4500 m max. AGL height

Up to $\pm 32^\circ$ scan angle

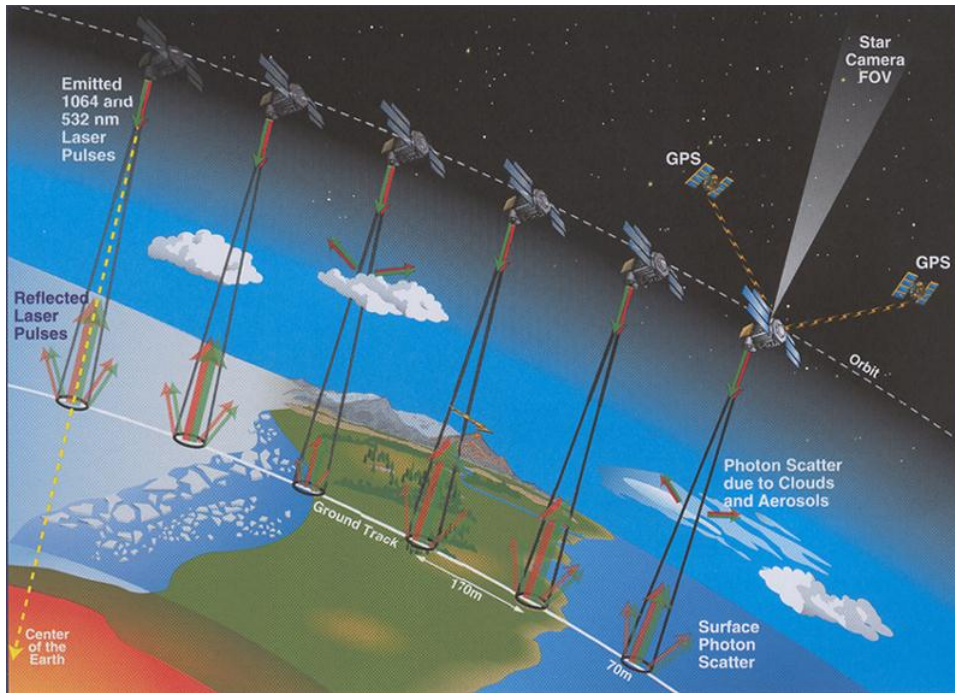
Multiple returns to full waveform

8-16 bit intensity values

< 1m point spacing



Plataforms



GLAS will provide continuous global measurements of the Earth's land surface topography

GLAS (Geoscience Laser Altimeter System)



Ordem dos Engenheiros
REGIÃO NORTE

Technical characteristics

■ Status	launched Jan. 2003
■ Altitude	590 km
■ Platform	space-borne
■ Wavelength	1064 nm (vegetation)
■ Pulse frequency	40 Hz
■ Pulse width	5 ns
■ Pulse form	Gaussian
■ Footprint diameter	60-70 m
■ Transmit energy	5 mJ
■ Along-track separation	170 m
■ Cross-track max	15 km
■ Cross-track min	2.5 km
■ Repeat cycle	183 days
■ Life-time	3 years

Plataforms



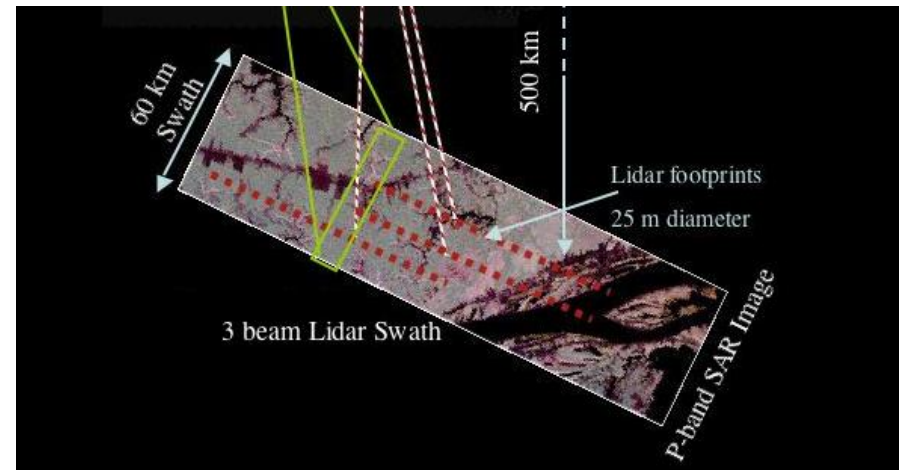
- Launch 2010-2013
 - Applications
 - Vegetation Height
 - Ice sheet
 - Surface deformation

desdyni.jpl.nasa.gov

700-800 km, sun-synchronous orbit

8-day revisit period

5 year time life



Deformation, Ecosystem Structure, and Dynamics of Ice (DESDynI)

Ranson, 2008



Ordem dos Engenheiros
REGIÃO NORTE

Plataforms



(© NERC ARSF)

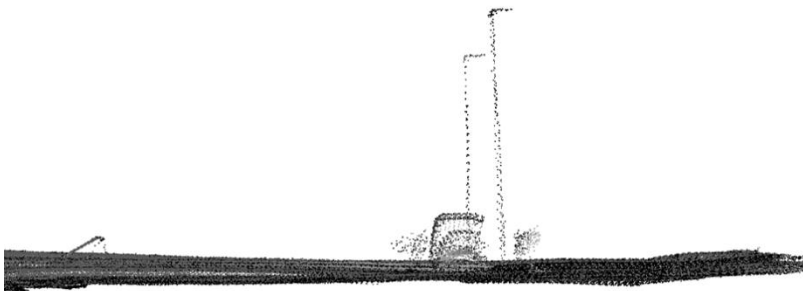
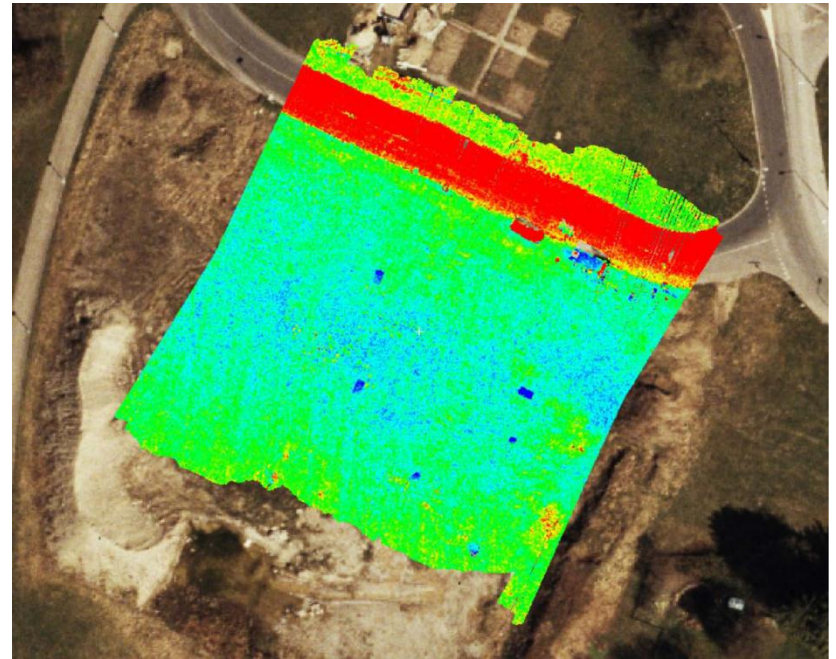


(© Fugro EarthData
Inc)



Ordem dos Engenheiros
REGIÃO NORTE

Plataforms

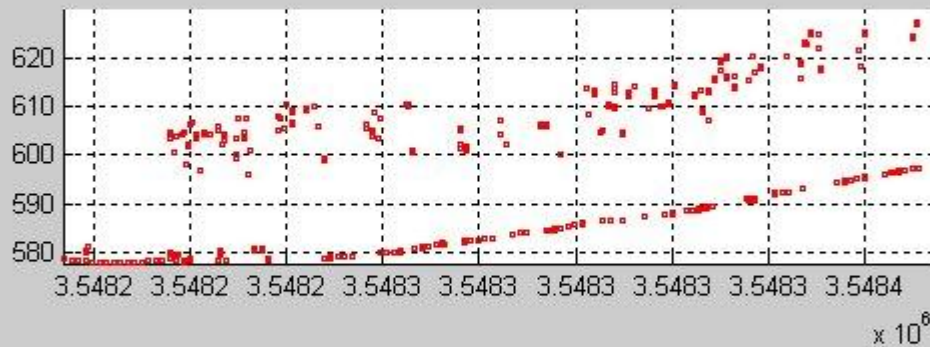
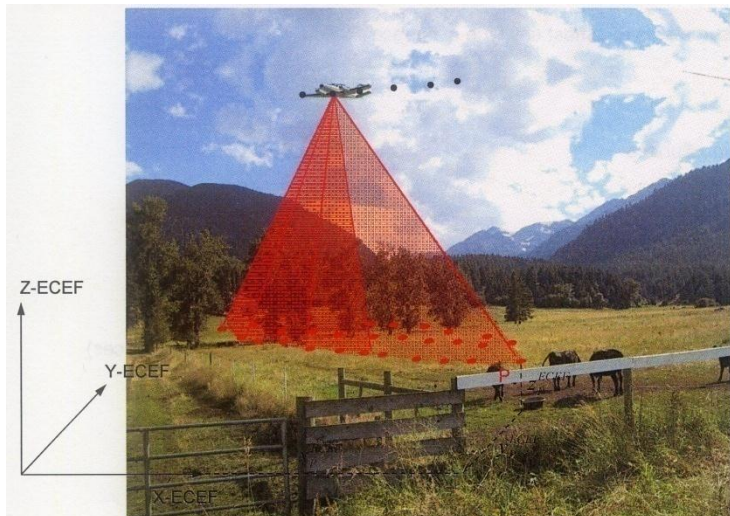


(Eisenbeiss 2009)



Ordem dos Engenheiros
REGIÃO NORTE

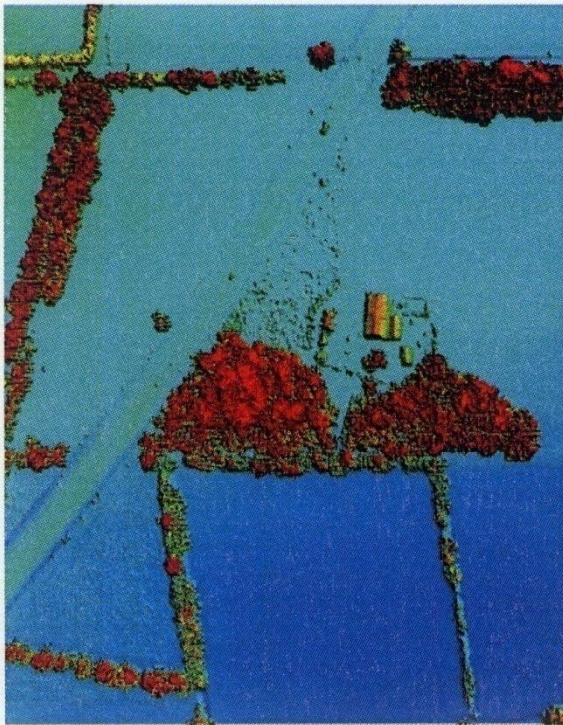
Information acquired



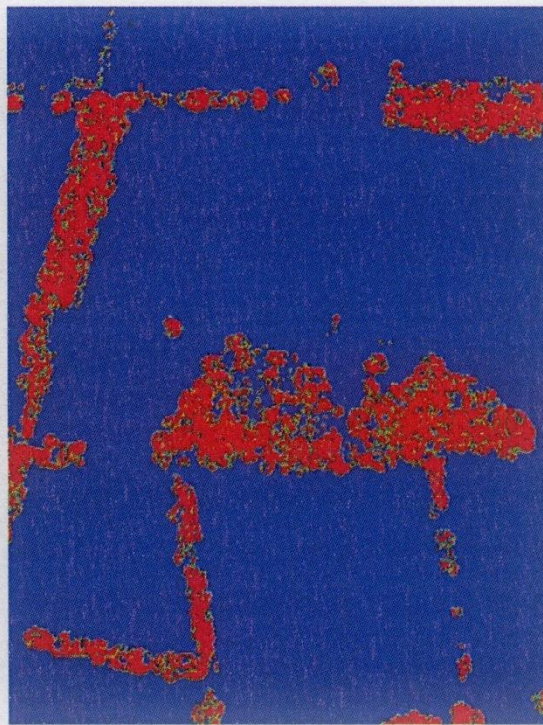
Information acquired

Some examples of data acquired by a LiDAR system

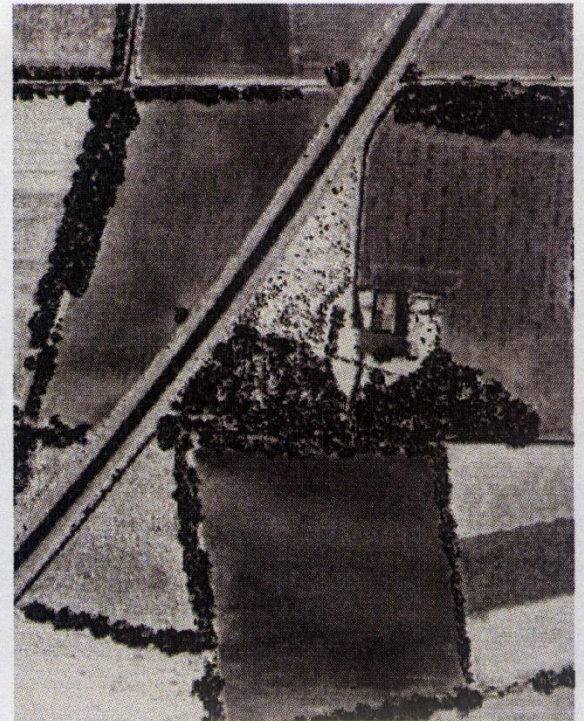
Height



Return

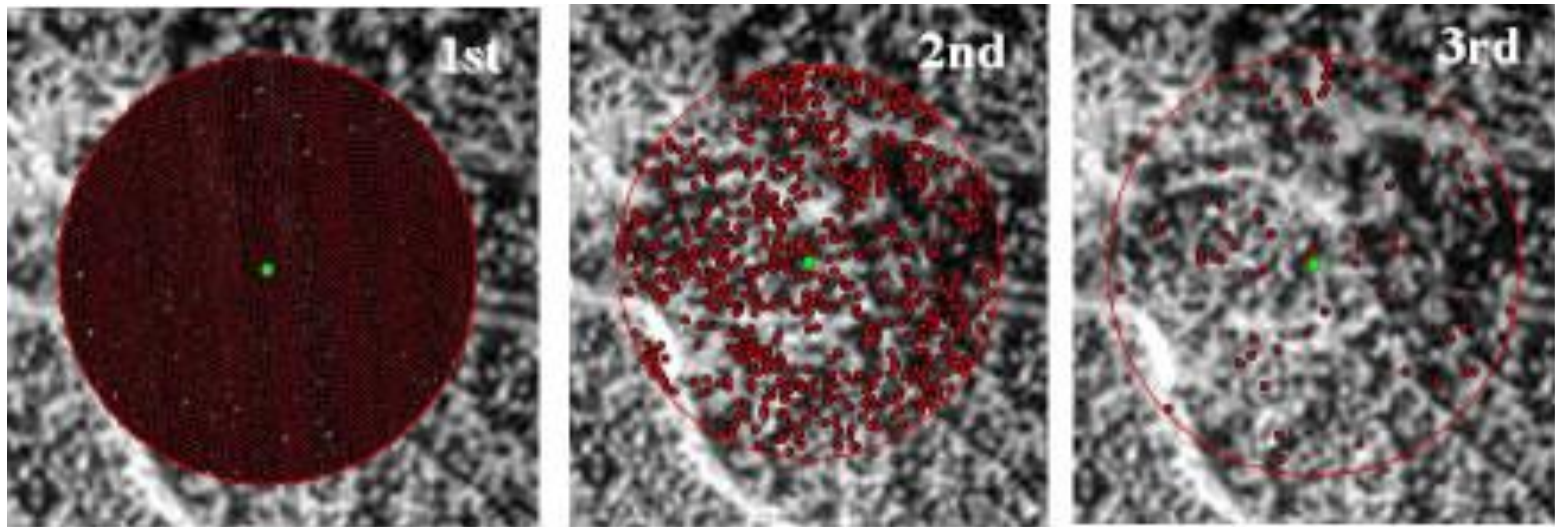


Intensity



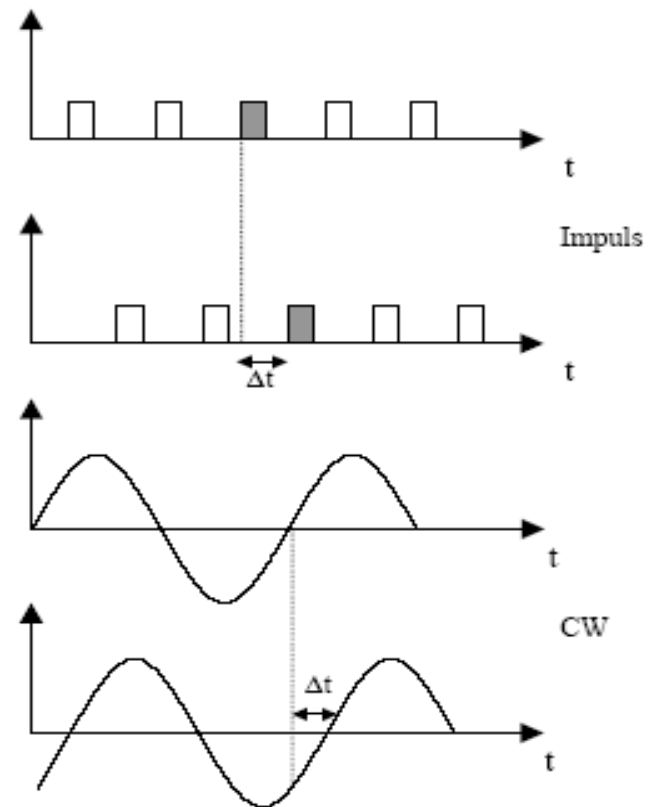
Accuracy

- GPS/INS → main error source (Maas, 2001)
10-20 cm in Z, up to 50 cm in X,Y
- In LiDAR the footprint size decreases with increasing post-spacing and importantly the last return from a discrete return system is not always the ground
- LiDAR sensor systems vary in the number of returns from a surface



Types of LiDAR systems

- Criteria:
 - Ranging principle:
 - Pulsed
 - Continuous wave

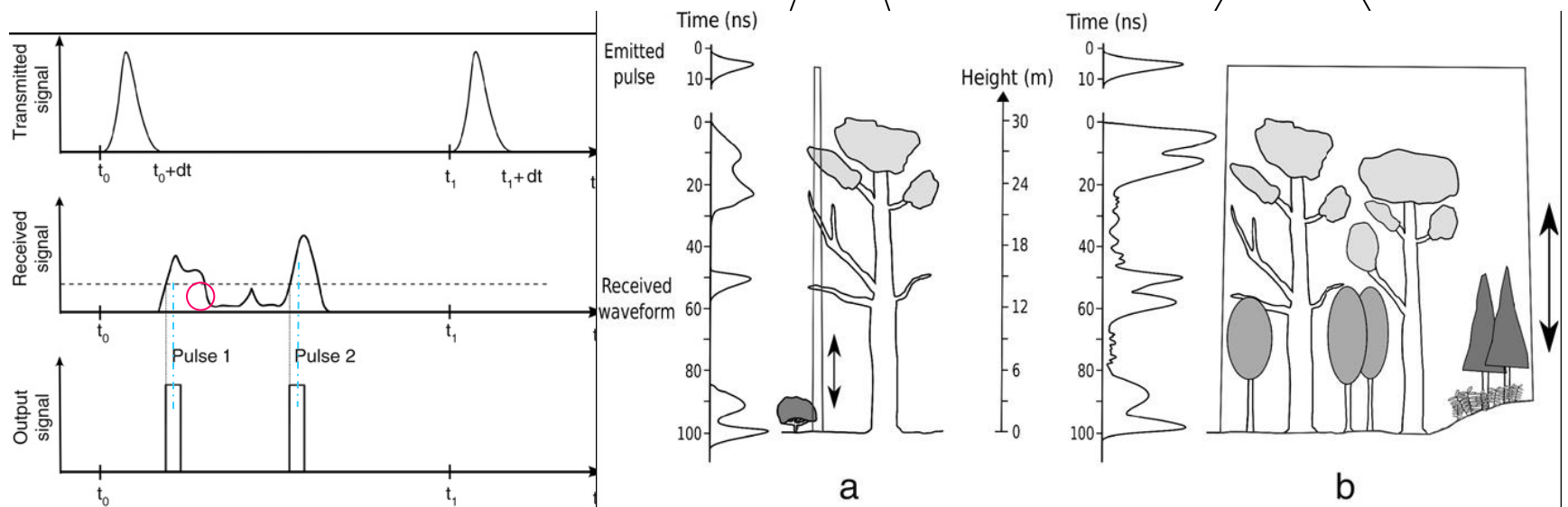


Wehr y Lohr, 1999



Types of LiDAR systems

- Criteria:
 - Recording capability (discrete vs. full waveform)
- Criteria:
 - Footprint size (small vs large)



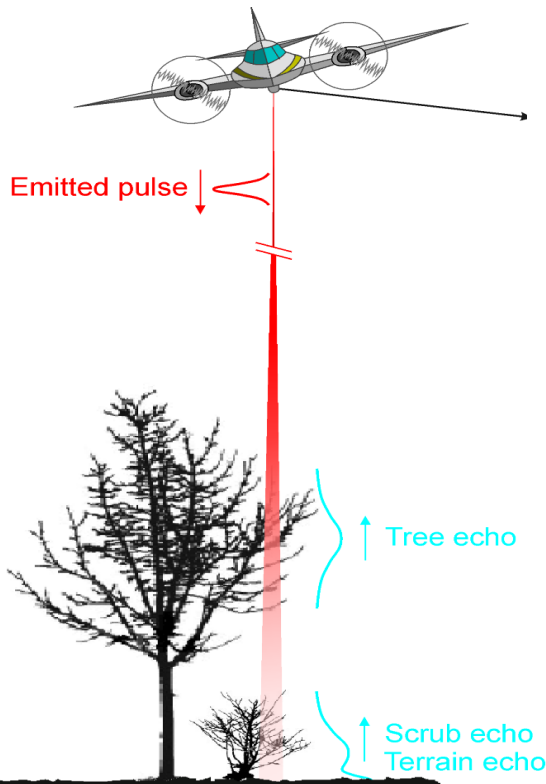
Mallet & Bretar, 2009

440samples x 15 cm \rightarrow 66 m

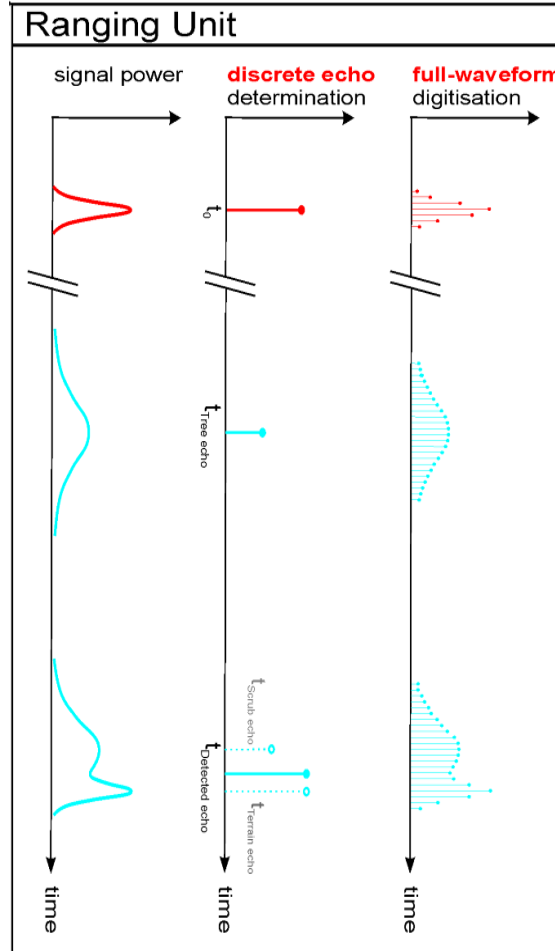


How can we measure the backscattered energy?

Full-waveform Airborne Laserscanning



M. Doneus, C. Briese, M. Fera, M. Janner:
Archaeological prospection of forested areas using full-waveform airborne laser scanning"; Journal of Archaeological Science, **35** (2008), 4; 882 - 893.

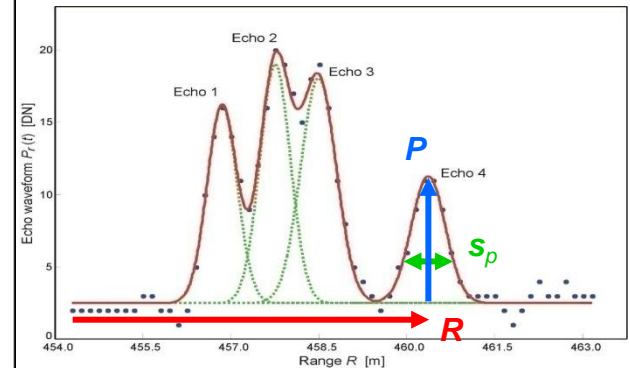


Gaussian Decomposition:

Detection of echoes by fitting a series of Gaussian curves to detected signal

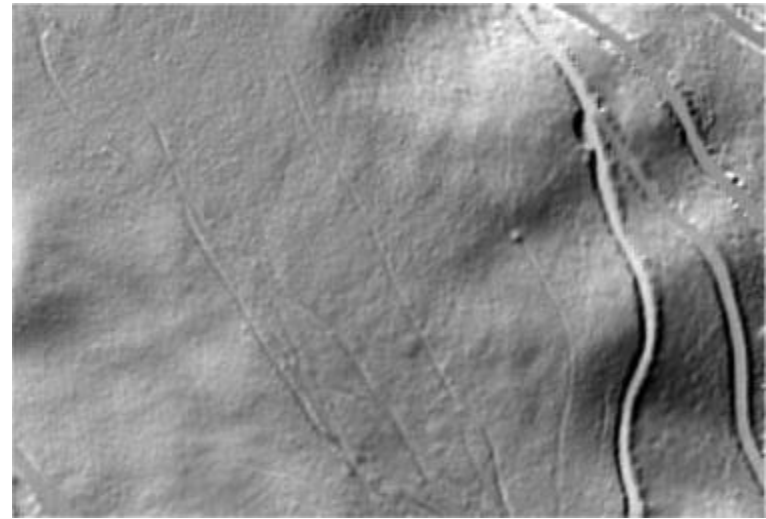
Information per echo:

- Amplitude P [DN]
- Range R [m]
- Echo width s_p [ns]

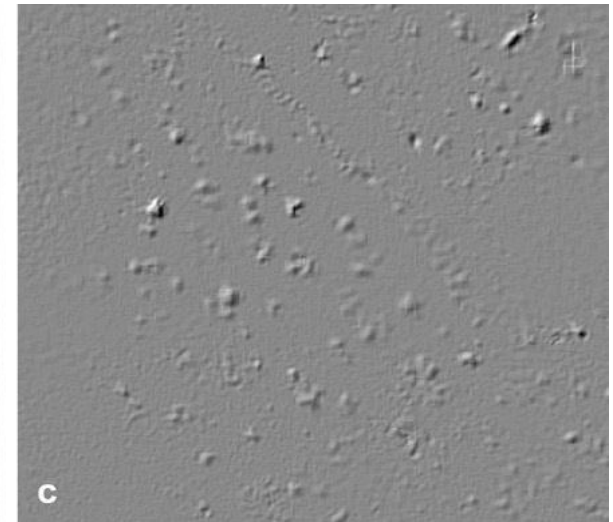
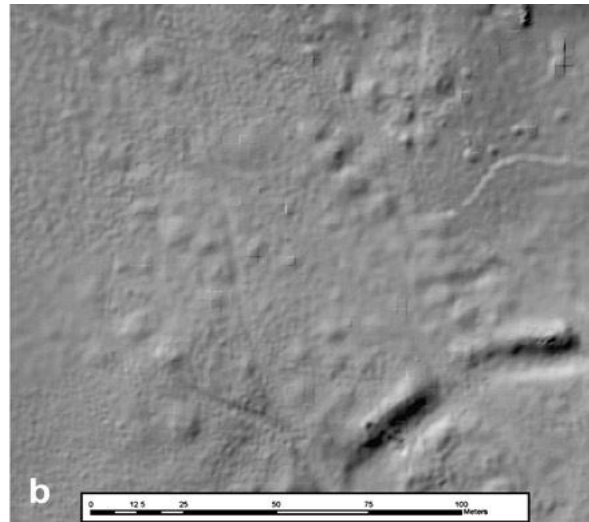
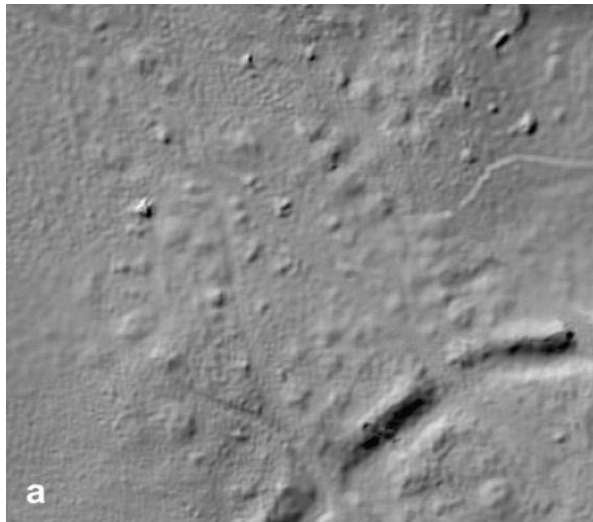


Wagner, W., et al. (2006). "Gaussian decomposition and calibration of a novel small-footprint full-waveform digitising airborne laser scanner." ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 60(2): 100-112.





- Problemas em áreas de vegetação baixa;
- Problemas com a interpretação das micro-topografias arqueológicas.



How can we measure the backscattered energy?

- Benefits of full-waveform ALS (compared to discrete systems):
 - Theoretically unlimited number of detectable echoes
 - Controllable echo detection method (post-processing)
 - Additional information
- Echo width (s_p) and Amplitude (P) affected by a number of parameters
 - Flying height, energy of emitted pulse, reflectance of targets,...
- **Backscatter Cross Section** (BCS, σ) accounts for these influences
- Calculated from RADAR equation

$$\sigma = C_{Cal} R^4 \hat{P} s_p$$

- C_{cal} = calibration constant including atmospheric and hardware specific influences
- also referred to as “calibration” (Wagner, 2006)



Aplicações florestais da tecnologia LiDAR



Ordem dos Engenheiros
REGIÃO NORTE

Cálculo de parâmetros dendrométricos

- Estimativa direta ao nível da **árvore**:
 - altura da árvore (h), logo obter valor de altura dominante e média do povoamento
 - Percentagem do coberto (FCC)
 - Dimensão da copa
 - Profundidade da copa, logo altura dos primeiros ramos da copa
 - Volume da copa
 - Crescimento em altura dos povoamentos (por monitorização consecutiva)



Cálculo de parâmetros dendrométricos

- Estimativa indireta ao nível da **árvore**:
 - O diâmetro à altura do peito (d), por ajuste de modelos que permitam determinar o d a partir de dimensões da copa
 - Volume da árvore (v), por ajuste de modelos que, à semelhança das equações de volume permitam estimar o volume tendo como variáveis de *input* as dimensões da copa e/ou a altura)
 - Biomassa da árvore (de forma idêntica ao volume)
 - Stock de carbono, com base nas estimativas da biomassa e em valores médios de teor de carbono por quilograma de matéria seca, facilmente obteníveis a partir da bibliografia.



Cálculo de parâmetros dendrométricos

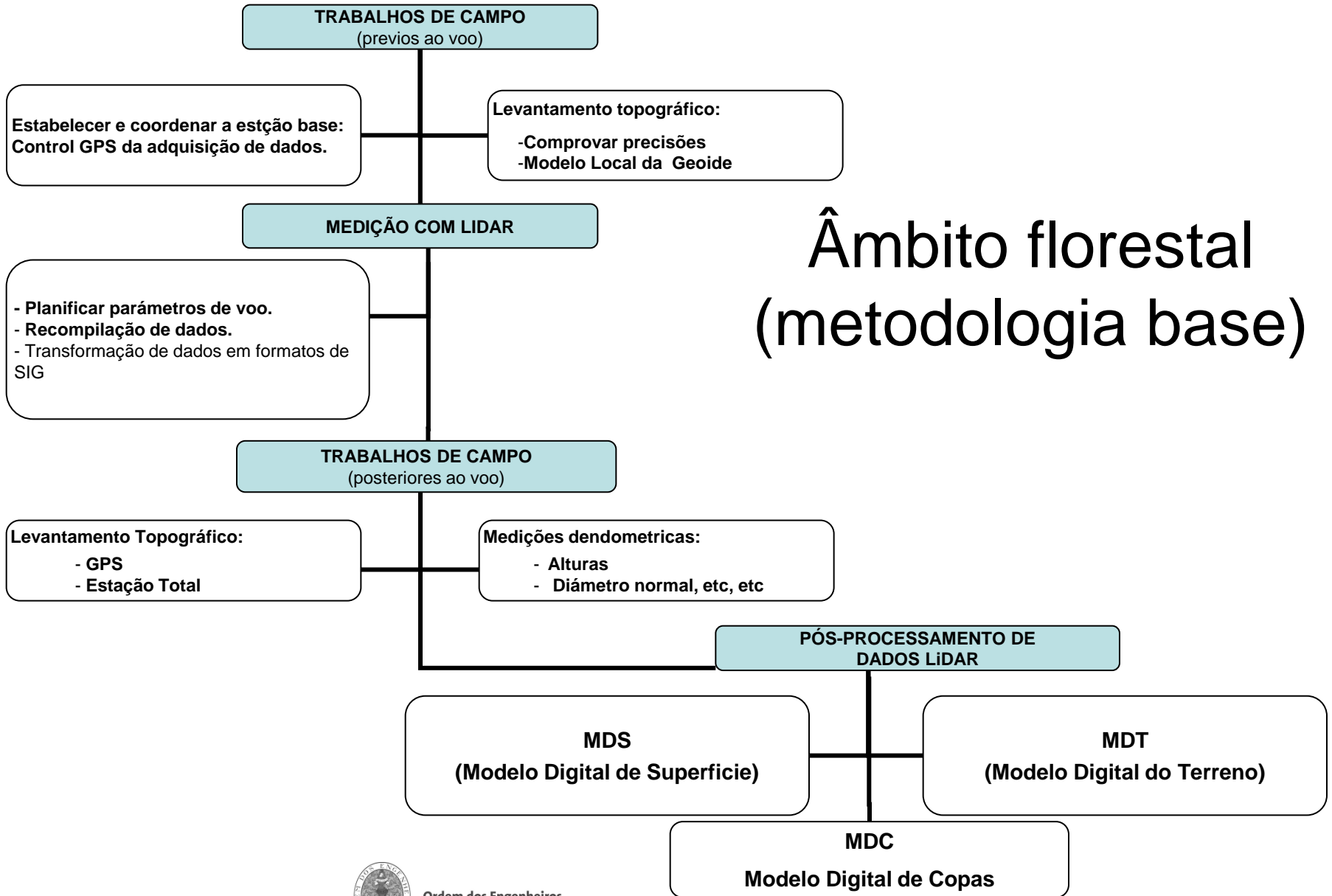
- Estimativa direta ao nível do **povoamento florestal**:
 - Densidade do coberto por hectare
 - Número de árvores por hectare
- Estimativa indireta ao nível do **povoamento florestal**:
 - Área basal por hectare, com base nos dados do diâmetro ou em algoritmos desenvolvidos
 - Biomassa por hectare, ao nível do estrato arbóreo e do arbustivo, discriminado estes 2 estratos).
 - Discriminar tipologia de vegetação
 - Desenvolver modelos de combustível
 - Desenvolver mapas de qualidade de estação florestal



Âmbito florestal: Utilidade do LiDAR

- **Geração de Modelos Digitais do Terreno (MDT):** Elevada precisão e resolução. De grande utilidade para todas as empresas e organismos relacionados com a utilização de cartografia.
- **Inventário dos Recursos Florestais:** Obtenção automática de existências florestais, de forma rápida e precisa.
- **Incêndios Florestais:** Detecção de riscos de incêndios, baseado em modelos de combustível, de forma a oferecer ferramentas à administração florestal, que permitam abordar eficientemente a planificação florestal em matéria de prevenção de riscos florestais.
- **Quantificação de biomassa para produção de energia**
- **Quantificação de carbono:** Monitorizar e otimizar a capacidade de armazenamento de carbono em povoamentos florestais. → Protocolo de Quioto, aquecimento global, etc..

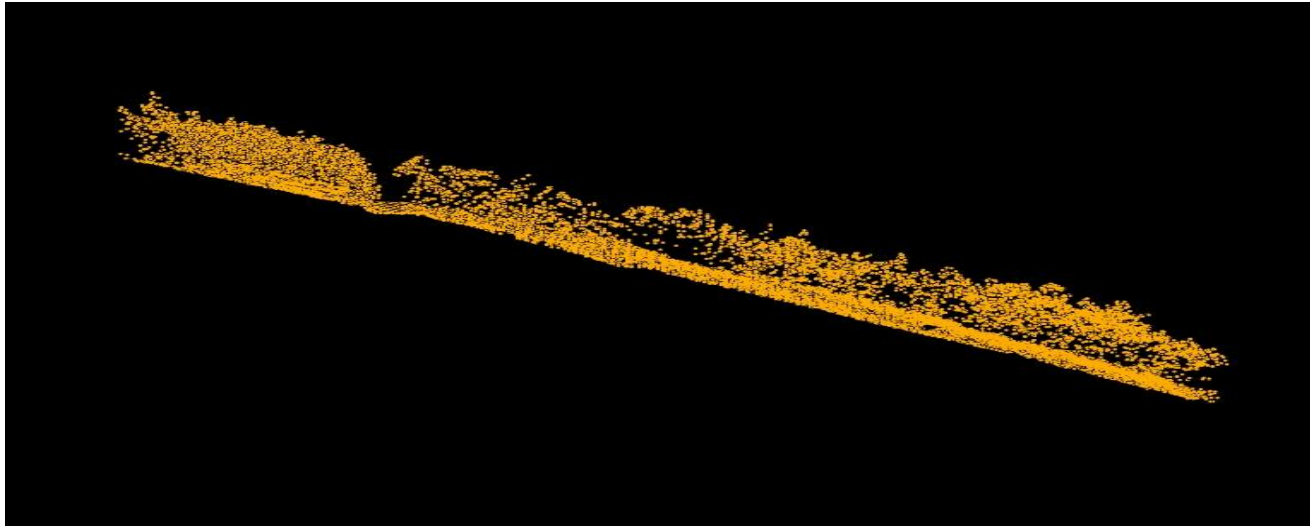
Âmbito florestal (metodologia base)



Processamento dos dados LiDAR



Pós-processamento



Filtragem

Etapa de pós-processamento

Interpolação

Necesaria para a elaboração da maioria dos estudos con dados LiDAR, principalmente para a geração de um Modelo Digital do Terreno (MDT)

Pós-processamento

Filtragem

Etapa de pós-processamento

Interpolação



**Primer y último pulso
antes de clasificar**



Filtro Morfológico Adaptativo
(Gonçalves-Seco, 2007)

Trabada, Galicia
(Espanha)



Vegetación alta
+
Vegetación baja
+
Terreno

Trabada, Galicia
(España)

Resultados

**Vegetación baja
+
Terreno**

Trabada, Galicia
(España)

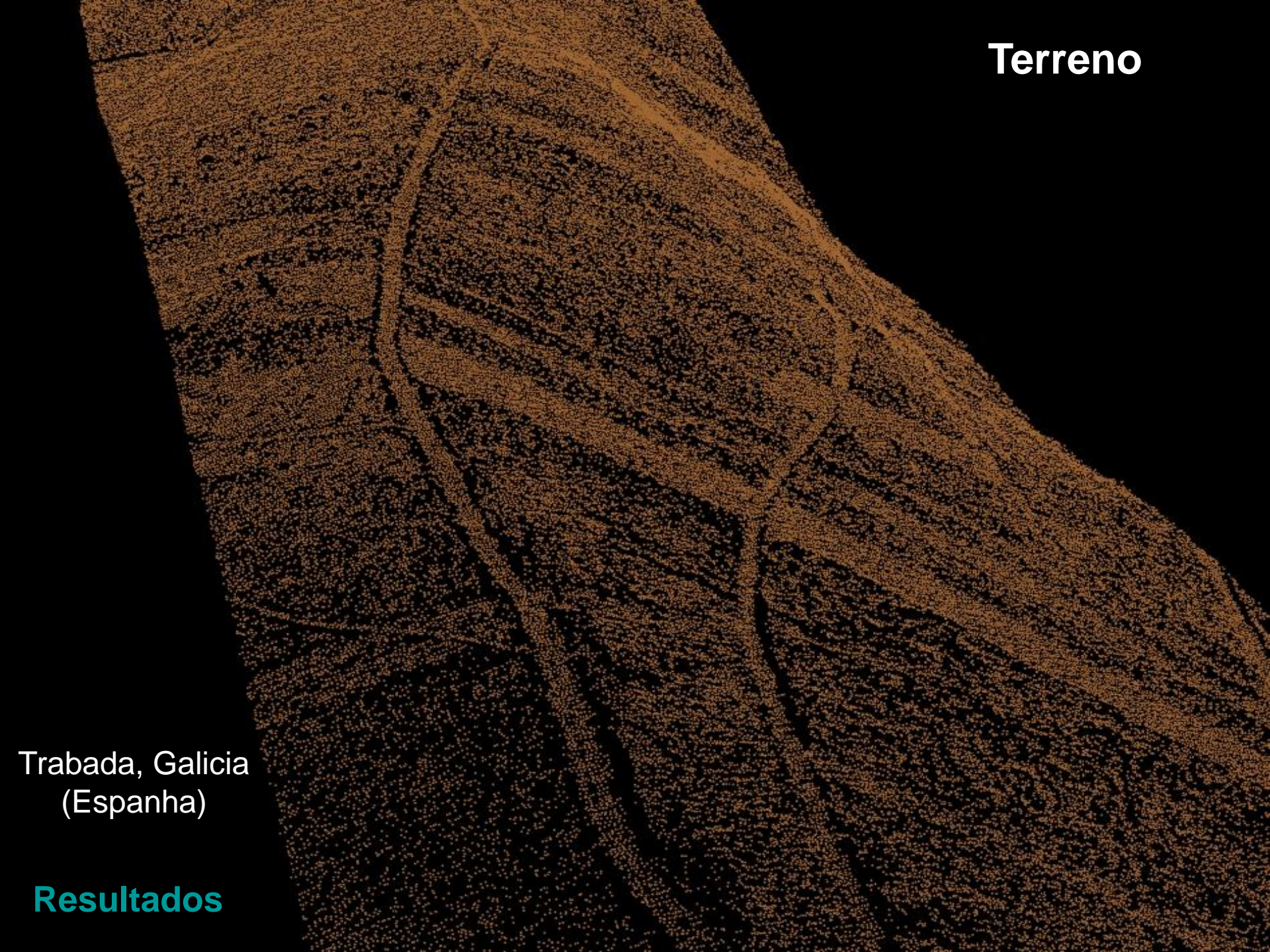
Resultados



Terreno

Trabada, Galicia
(Espanha)

Resultados



Pós-processamento

Filtragem

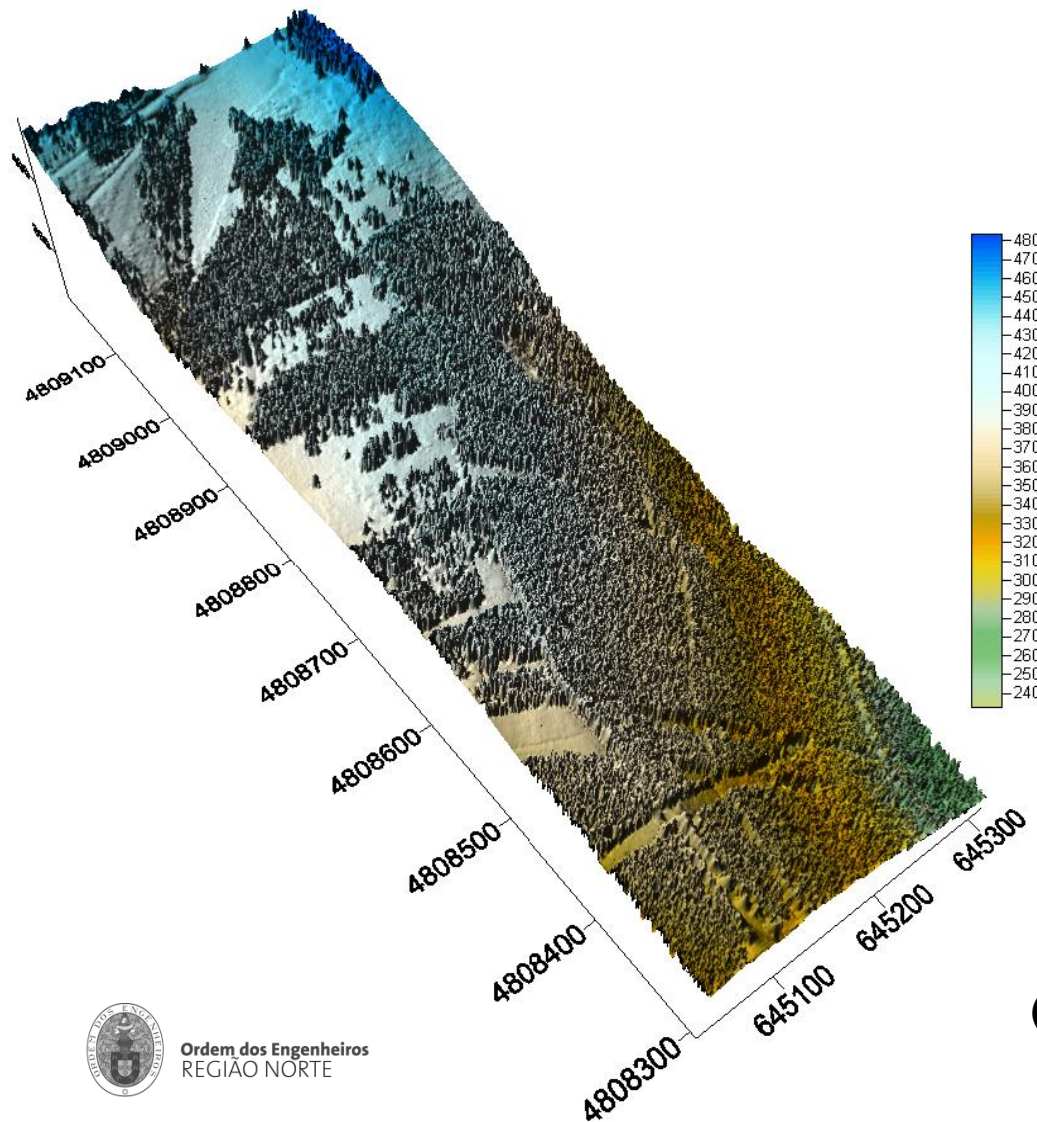
Etapa de pós-processamento

Interpolação



Modelo Digital de Superfície (MDS)

A partir do primeiro retorno



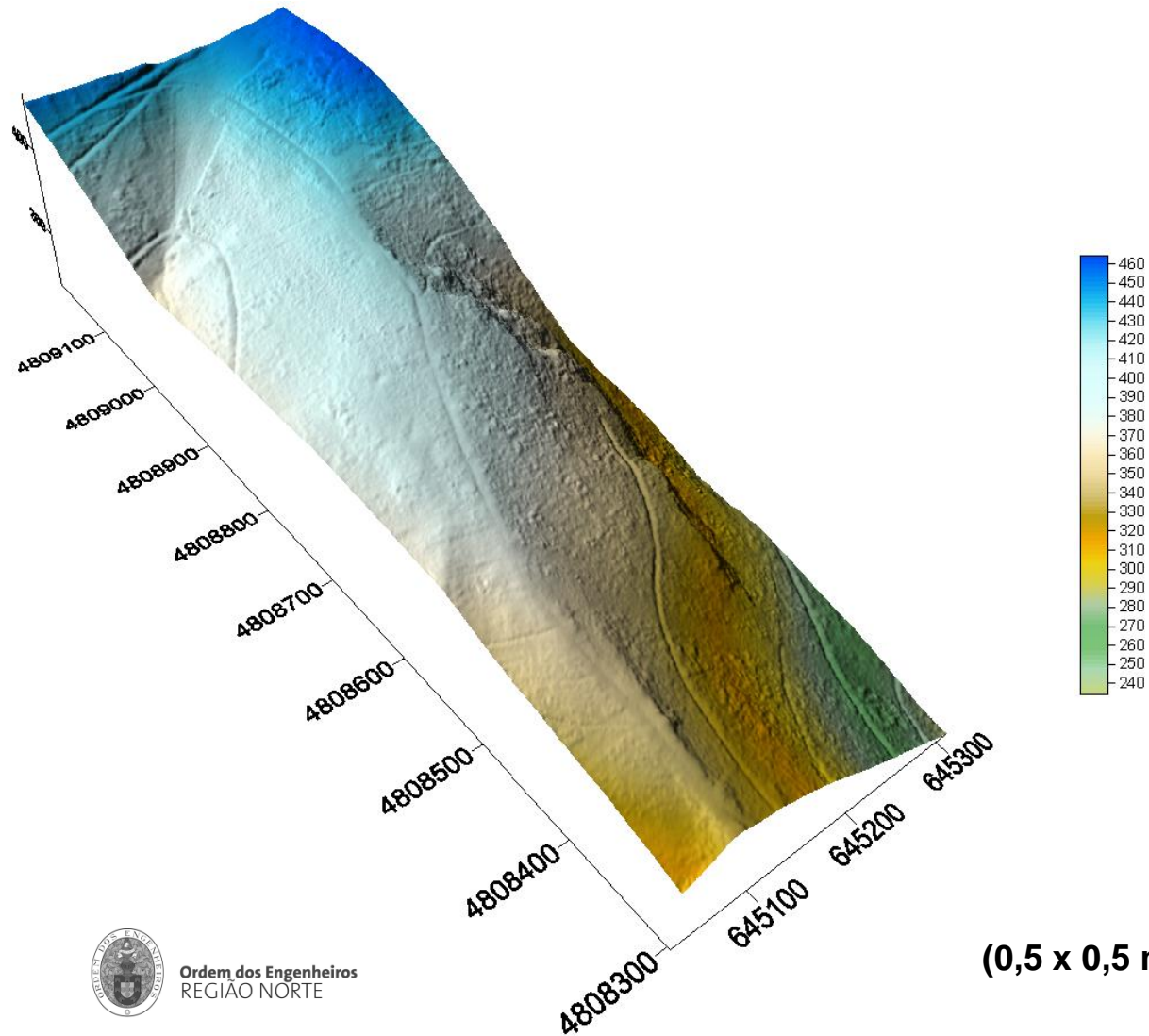
(0,5 x 0,5 m)



Ordem dos Engenheiros
REGIÃO NORTE

Modelo Digital de Terreno (MDT)

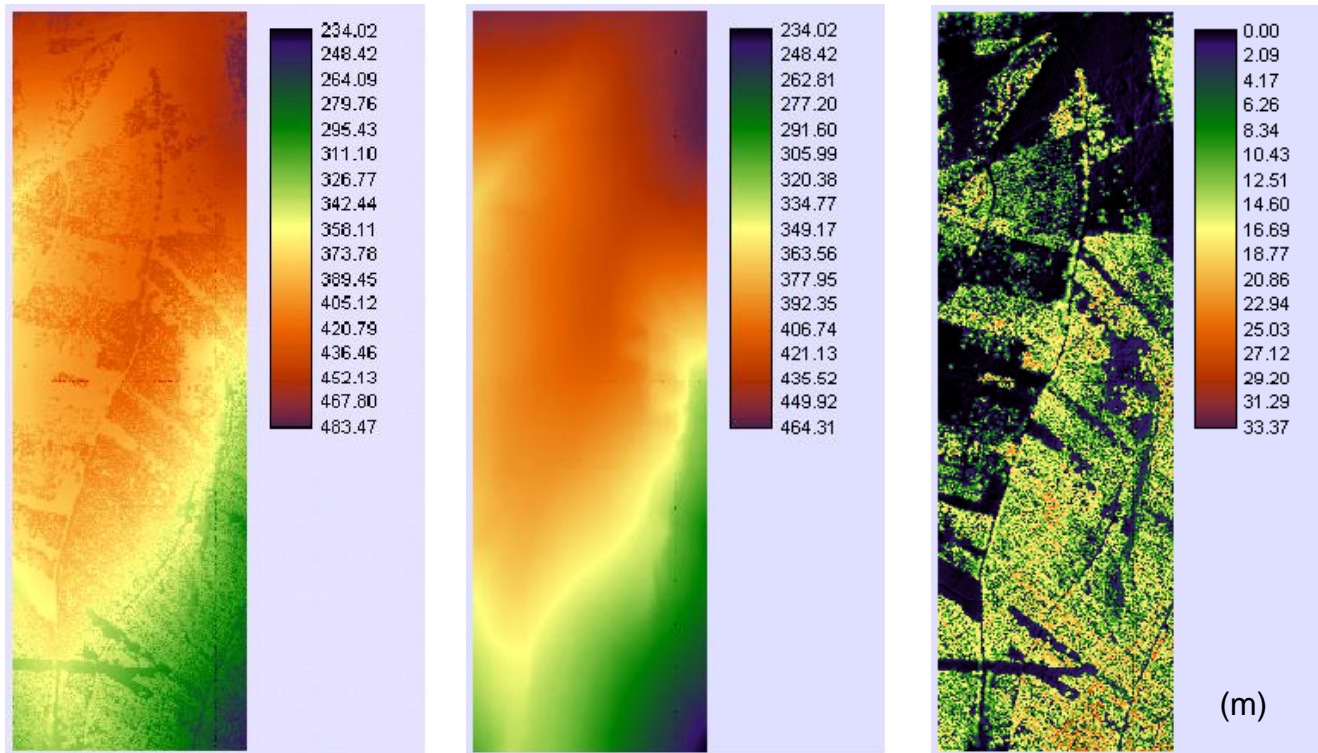
A partir dos pontos filtrados como terreno



Ordem dos Engenheiros
REGIÃO NORTE

(0,5 x 0,5 m)

Modelo Digital de Copas (MDC)



MDS

MDT

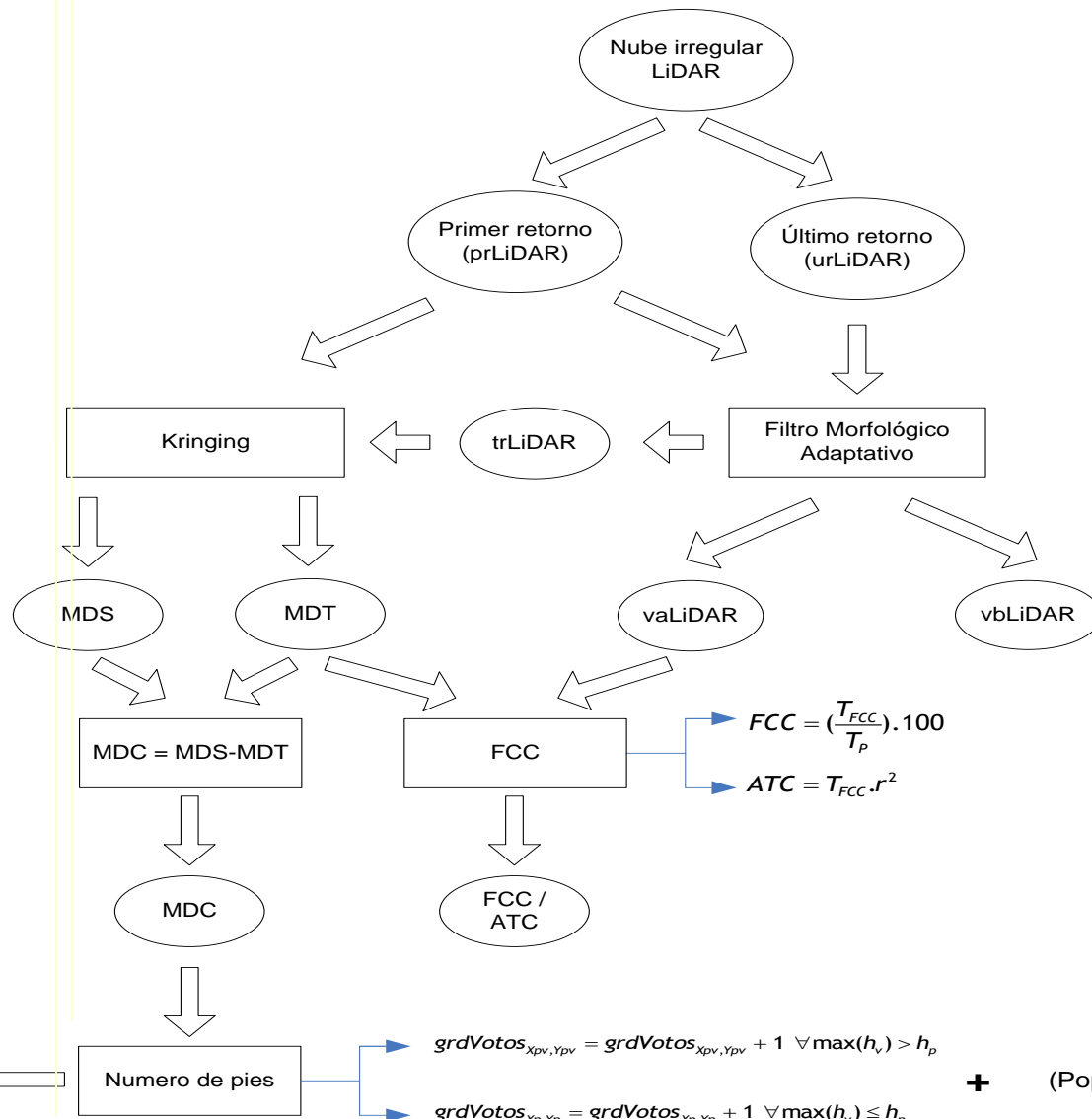
MDC



Ordem dos Engenheiros
REGIÃO NORTE

(0,5 x 0,5 m)

Algumas variáveis LiDAR



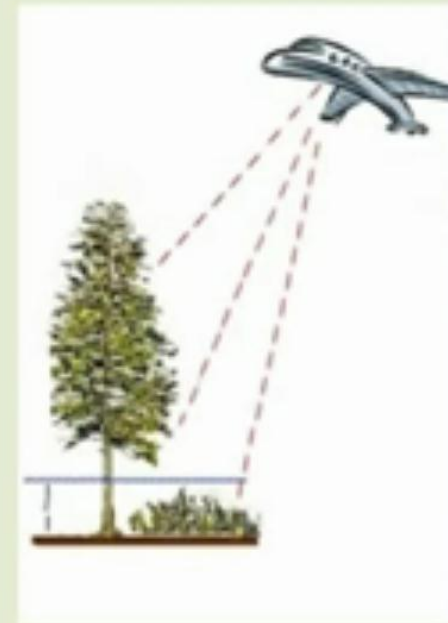
Número de pies
 Altura
 Coberto Arbóreo (FCC)

+ (Popescu et al., 2003)

Coberto arbóreo (FCC)

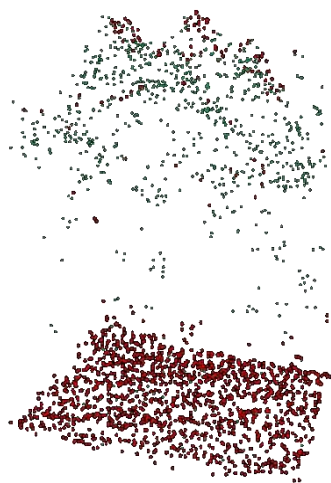
ESTIMACIÓN DE LA FCC

FCC a partir de 3m.

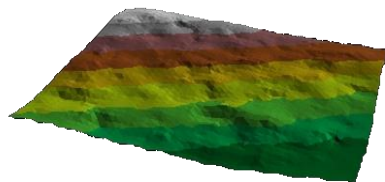


$$FCC (\%) = \frac{N^{\circ} \text{ pixeles con valor } 1}{N^{\circ} \text{ pixeles total}} \times 100$$

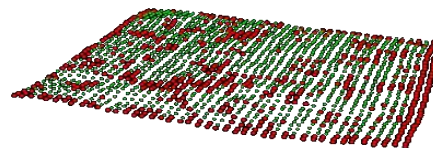
Fonte: Balma Forestal SLP



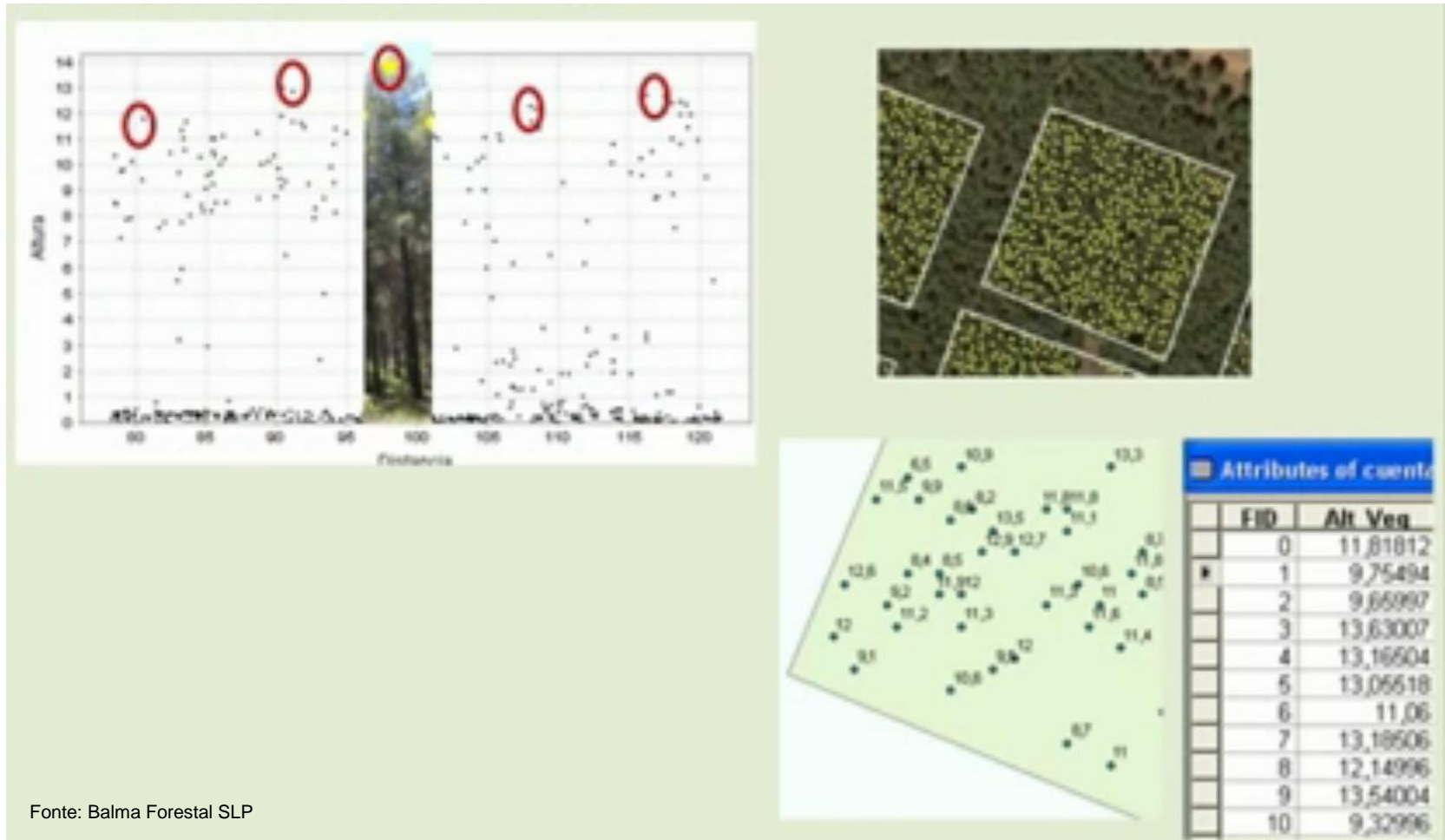
Gonçalves-Seco et al (2011)



Ordem dos Engenheiros
REGIÃO NORTE



Número de pés e altura

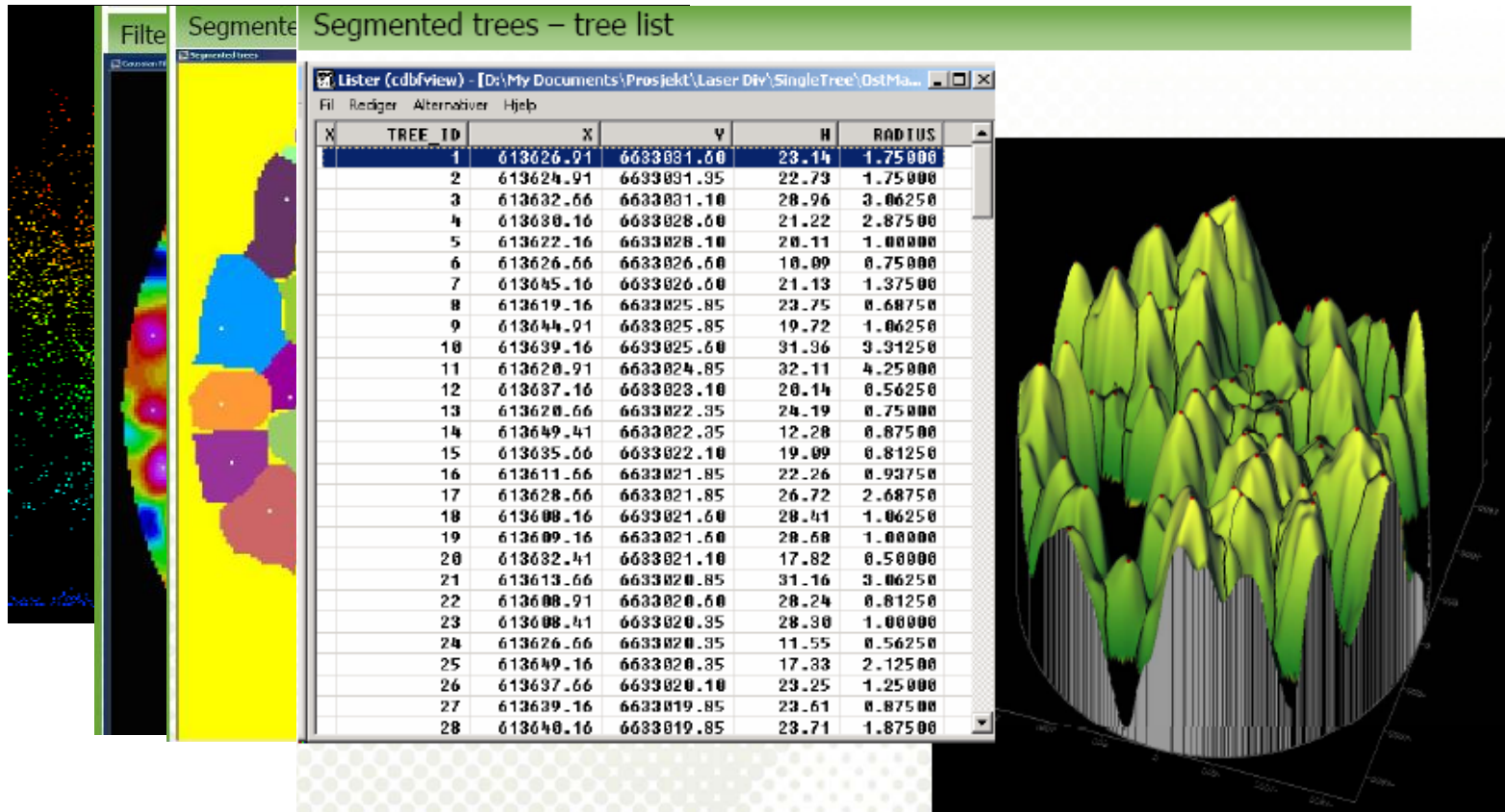


Fonte: Balma Forestal SLP



Ordem dos Engenheiros
REGIÃO NORTE

Número de pés e altura



Source: Naeset (www.umb.no)



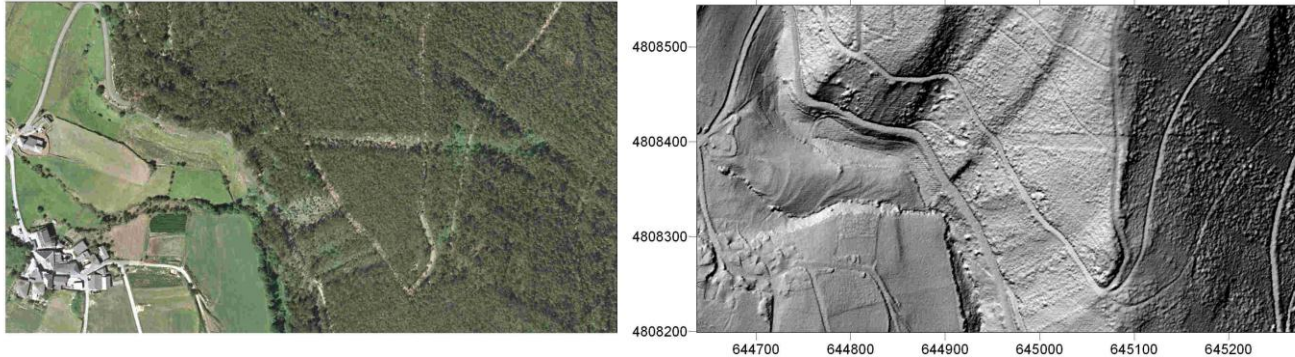
Ordem dos Engenheiros
REGIÃO NORTE

Processamento dos dados LiDAR (outras variáveis)



Um exemplo

Imagem RGB (2003) y sombreado del MDT LiDAR (2004)



Características:

- Composta por uma pequena zona residencial
- A especie dominante é o *Eucalyptus globulus*
- Declive bastante acentuado



Um exemplo

Intensidade



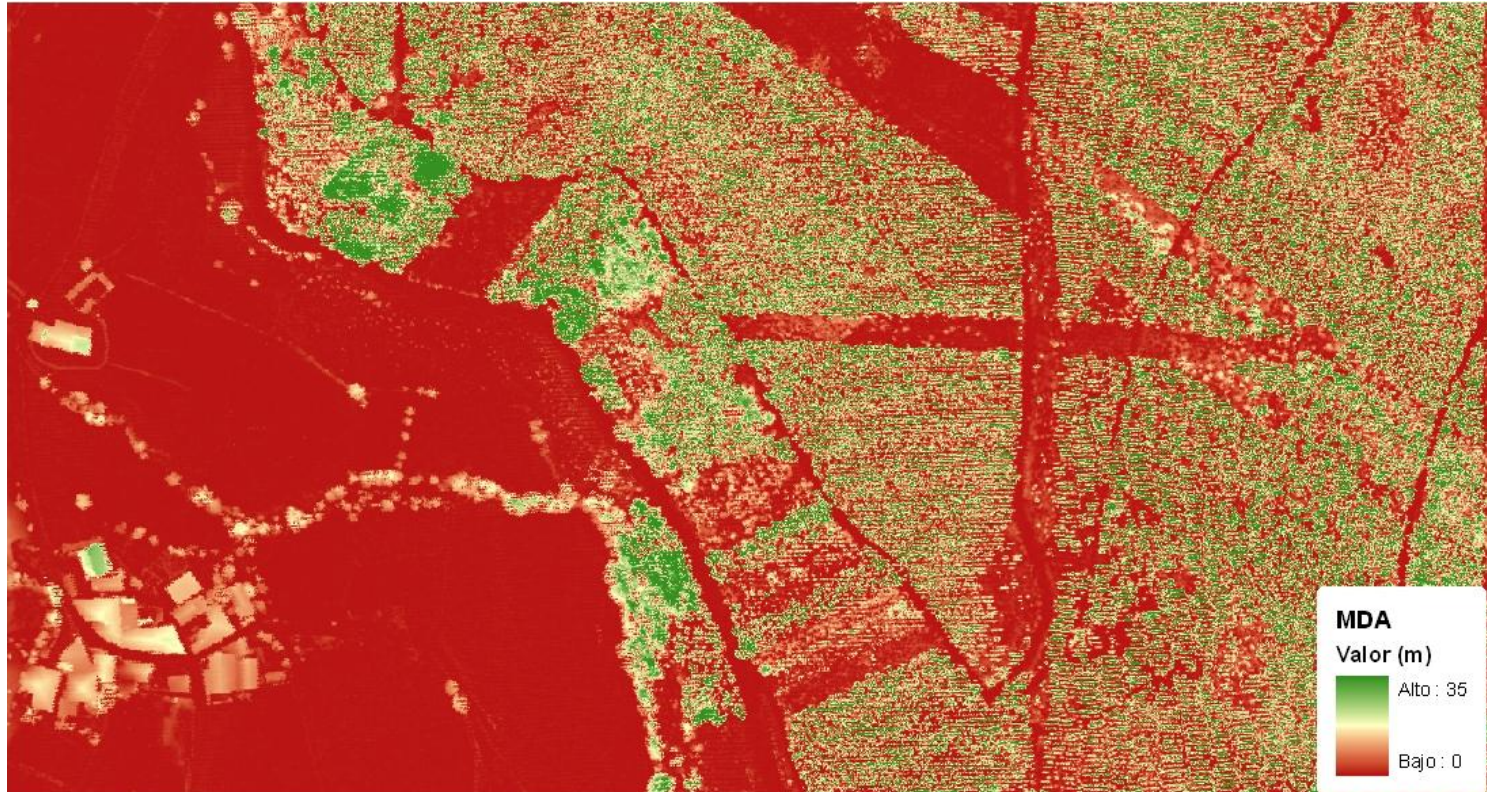
Filtro de mediana para diminuir o ruído



Ordem dos Engenheiros
REGIÃO NORTE

Um exemplo

Modelo Digital de Alturas (MDA)

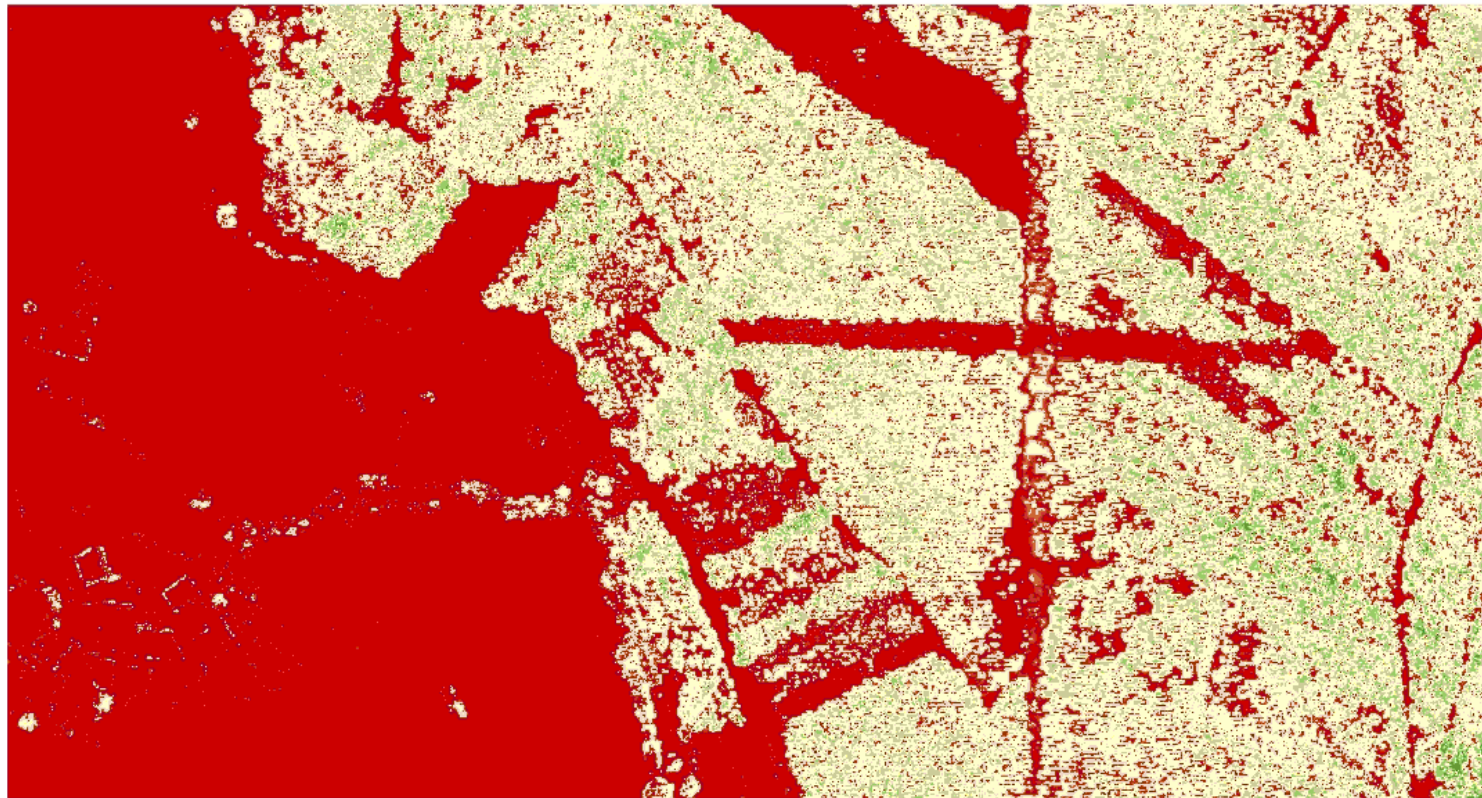


$$\text{MDA} = \text{MDS} - \text{MDT}$$

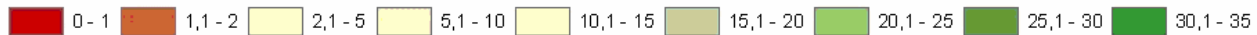


Um exemplo

Variabilidade ou textura



DIFERENCIA DE ALTITUD ENTRE EL PRIMER Y ÚLTIMO RETORNO



Ordem dos Engenheiros
REGIÃO NORTE

Classificação com LiDAR

■ Supervisada: por discriminação hierárquica

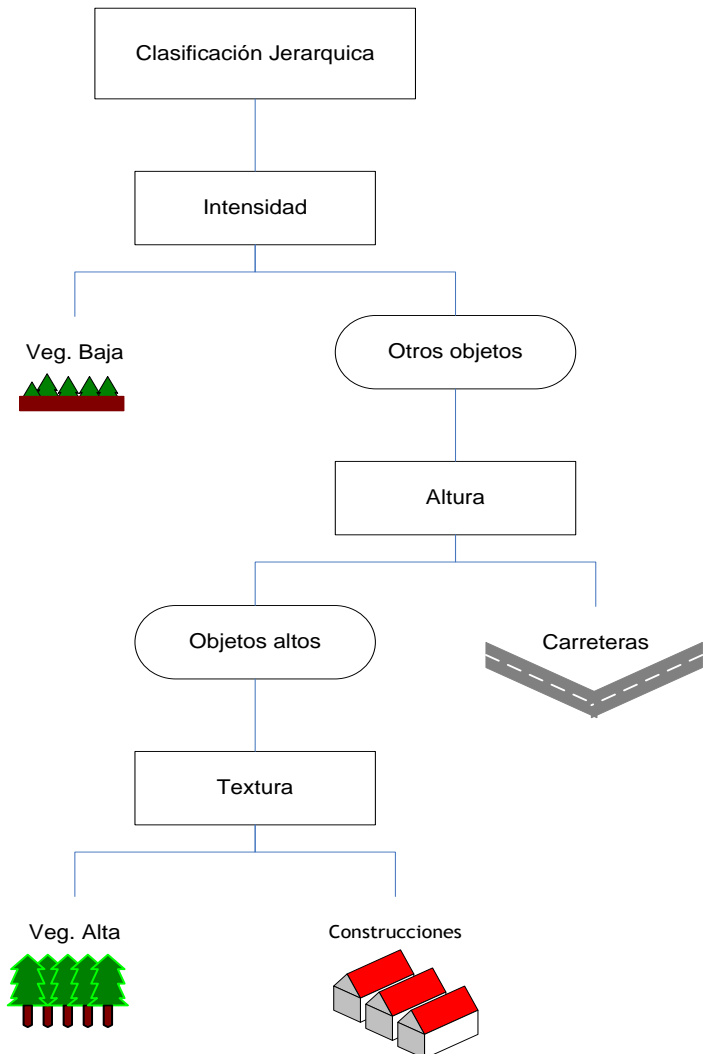
- Construção de uma base de conhecimento
- A segmentação foi baseada num algoritmo de agrupação (Baatz et al., 2004)
- Utilizaram-se regras de decisão estabelecidas pelos valores das capas

TIPO DE COBERTURA	INTENSIDAD		ALTURA (m)		TEXTURA	
	MÍN	MÁX	MÍN	MÁX	MÍN	MÁX
Carretera pavimentada (CP)	0	29	0	0,30	-	-
Construcciones (CO)	-	-	2,01	-	-	-
Vegetación alta (VA)	-	-	2,01	-	-	37
Vegetación Baja (VB)	30	56	0	2,00	-	-

Gonçalves-Seco (2007)



Ordem dos Engenheiros
REGIÃO NORTE

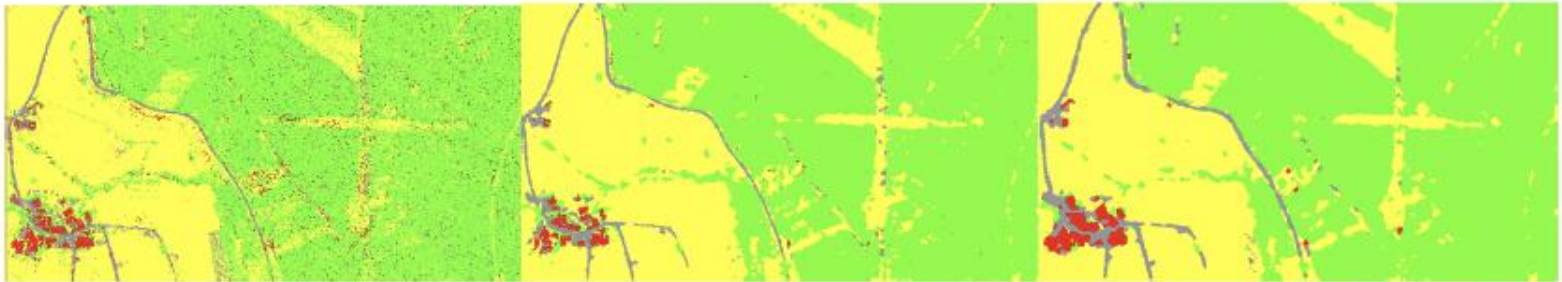


Um exemplo



(a) Imagen de intensidad LIDAR en Trabada y puntos de entrenamiento

(b) Imágen aérea de Trabada y áreas de test



(c) Mapa temático SVM

(d) Mapa temático SVMRF

(e) Mapa temático SVMNNS

Figura 7.3: Clasificación final obtenida en Trabada. Carreteras en gris, vegetación baja y suelo desnudo en amarillo, eucaliptos en verde y edificios en rojo.

Garcia-Gutierrez (2012)



Ordem dos Engenheiros
REGIÃO NORTE

Processamento dos dados LiDAR (outras variáveis – Modelos de combustível)

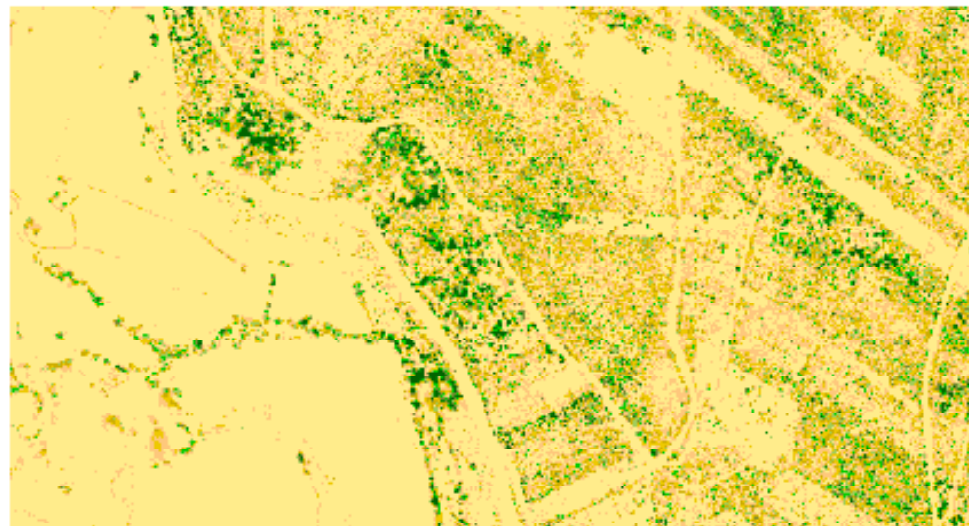


Modelo Digital de Altura de Mato (MDAM)

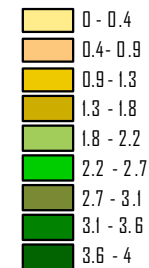
Orthophoto (2003)



LiDAR DTM generated (2004)



1 x 1 m



Ordem dos Engenheiros
REGIÃO NORTE

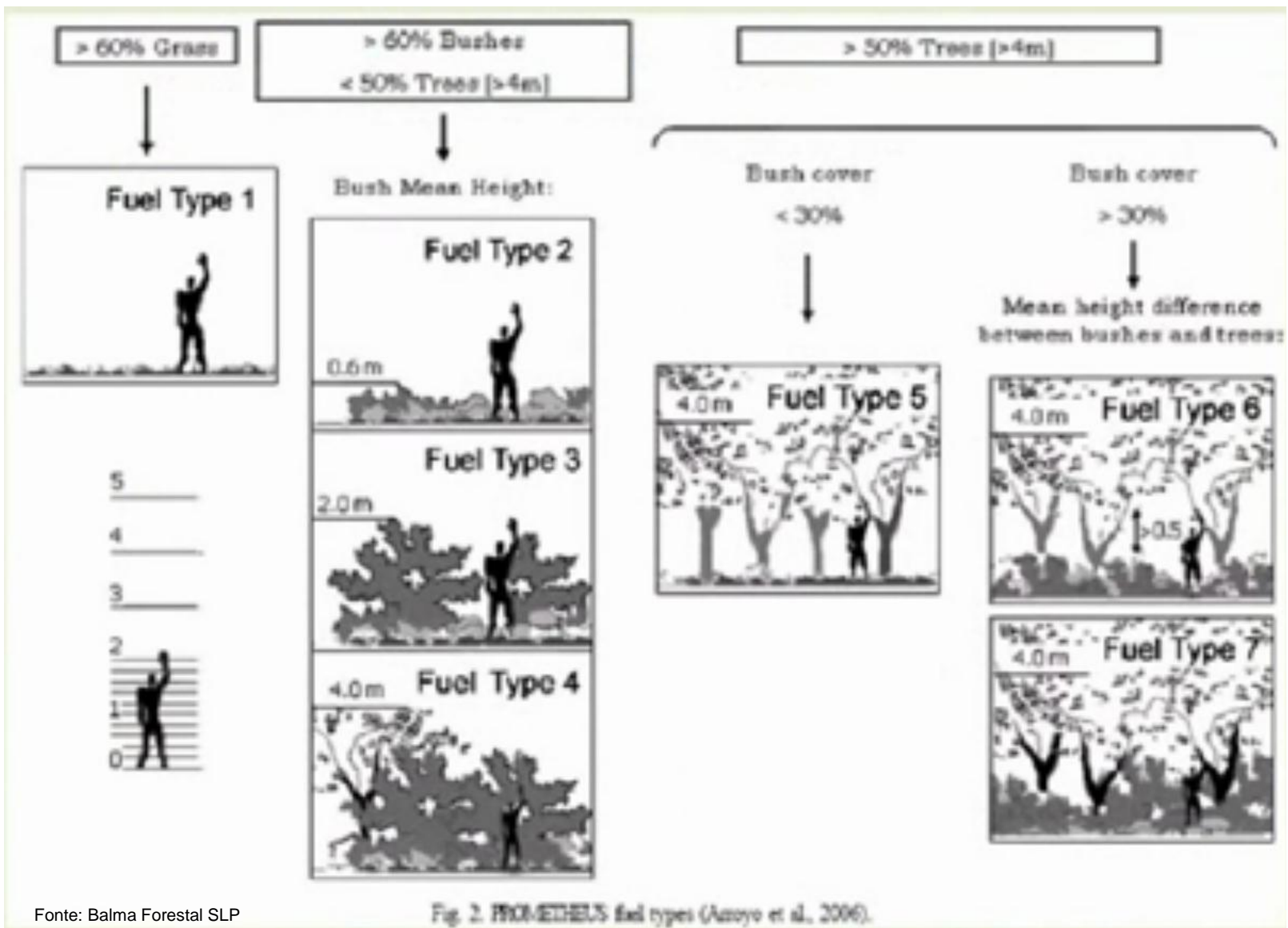
Variáveis de risco estrutural de incêndio

- Variáveis topográfica (geradas a partir do MDT LiDAR):
 - **Altitude** : Humidade - > zonas mais altas normalmente menos combustível
 - **Declive**: Favorece a transmissão de calor “ladeira acima”, aumentado as velocidades de propagação
 - **Orientação**: Ângulo de incidência dos raios solares, condicionando níveis de temperatura e humidade relativa
- Variáveis de combustível
 - **Continuidade horizontal do combustível**:
a cada píxel dá-se um valor (0-4) em função da presença de combustível nos píxeis contíguos.
 - **Continuidade vertical**; $MC_p = count(MDAM_{x_p, y_p}) \in v(h_p > h_{min})$
 - **Carga de combustível disponível**, calculada a partir do modelo de Fernandes et al., (2002): $CRG_{ARB < 6} = 0,555(IV_{arb})^{0,743}$

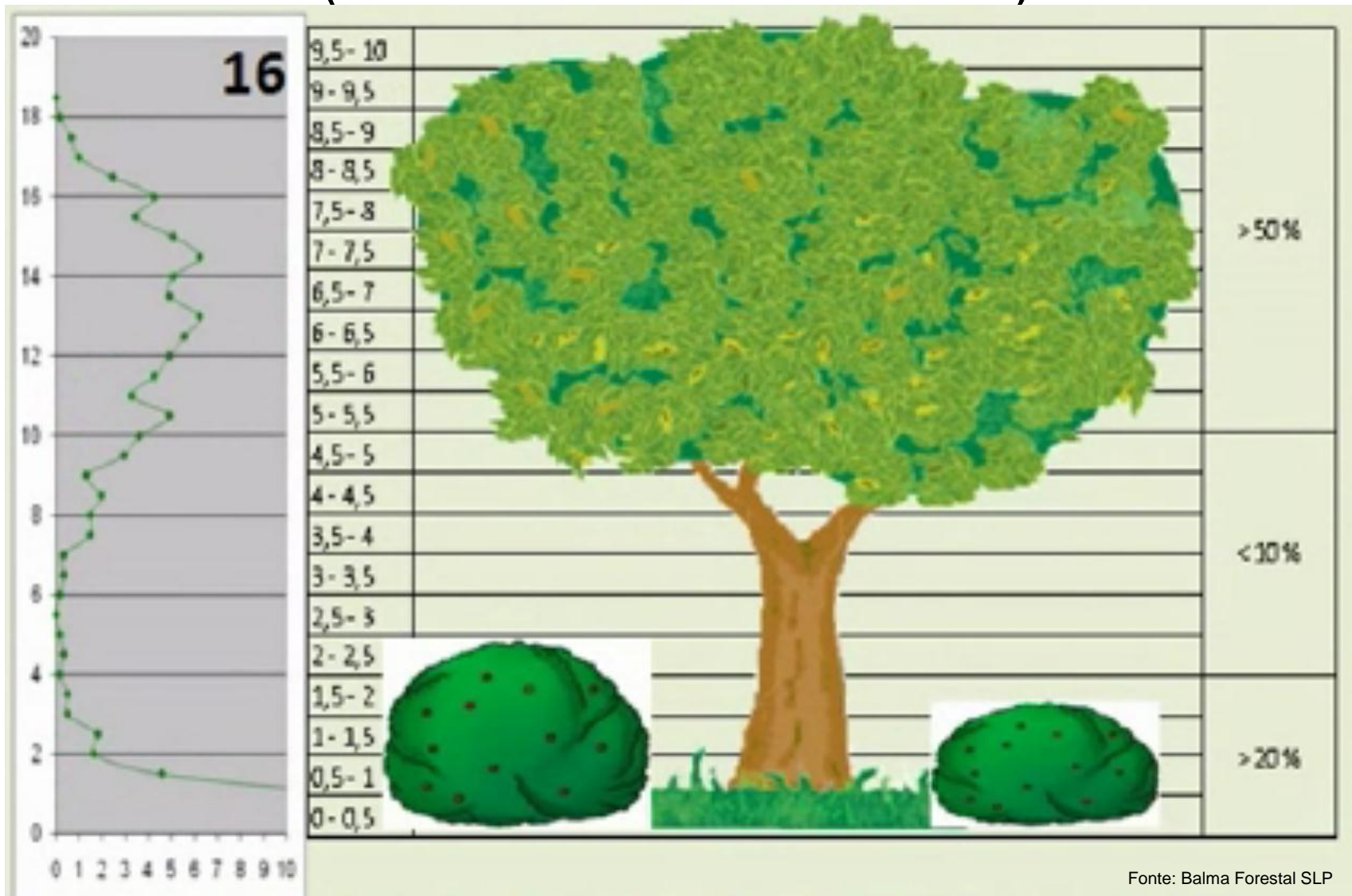
(R2 = 0,94)

Onde IV (Índice de volume) = altura do mato (m) x cobertura (%)
(Riaño et al., 2003)

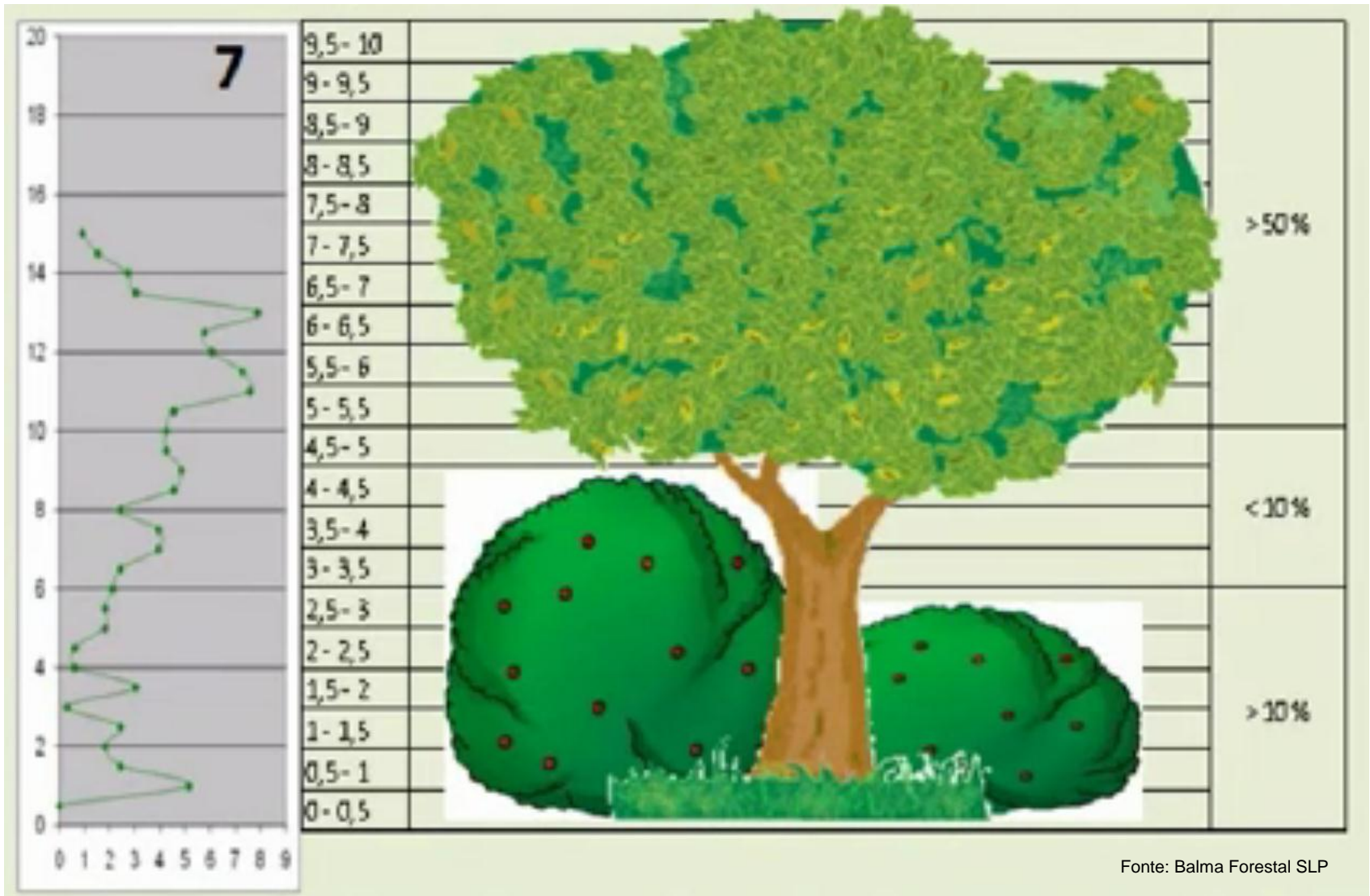
Classificação europeia Prometheus



Modelos de combustível de superfície e de copa (sem continuidade vertical)

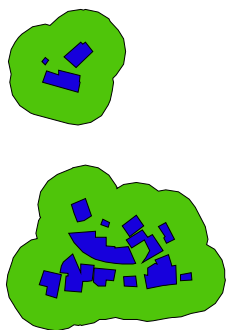
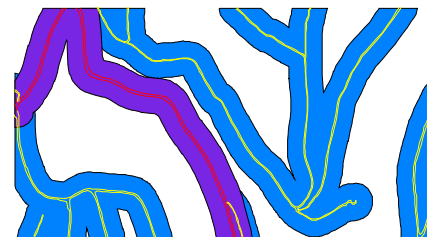


Modelos de combustível de superfície e de copa (com continuidade vertical)



Variáveis de risco estrutural de incêndio

- Proximidade as vias de comunicação
- Proximidade a edifícios



ORTOFOTOGRAFIA (2003)



MAPA DE INTENSIDADES (2004)

No caso Galego: Para determinar o tamanho dos *buffers* utilizou-se como referencia o **Decreto 105/2006 de 22 de junho** da *Consellería de Medio Rural* da *Xunta de Galicia*

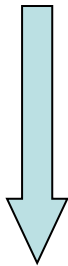
Integração das variáveis

- Dois passos fundamentais:

- Reclassificação: variáveis contínuas de risco

- intervalos discretos homogêneos com valores entre 0 e 5.

- Ponderação: outorgar distintos pesos às variáveis



Ambos se devem realizar baseado na experiência (referências bibliográficas):
(Chuvieco y Congalton, 1989; Salas y Chuvieco, 1994a; Abhinet et al., 1994; Carvalho, 1996; Jaiswal et al., 2002)

Exemplo de um Índice sintético de risco

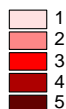
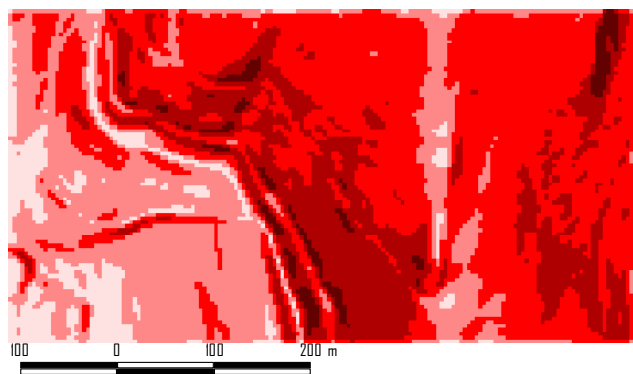
$$IR = 5C + 5CH + 3R + 3V + 4S + 2O$$

Donde C = Carga de combustível
CH = Continuidade horizontal
R = Proximidade a vias
V = Proximidade edifícios
S = Declive
O = Orientação

Este índice refere-se ao risco estrutural associado à presença de combustível arbustivo

Integração das variáveis

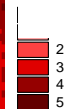
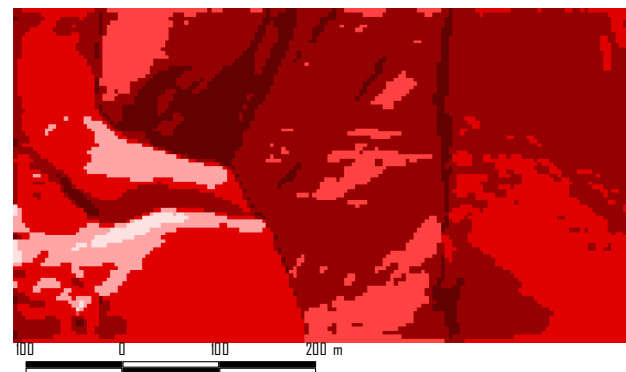
- Variáveis topográficas reclassificadas (4x4m):



Declives

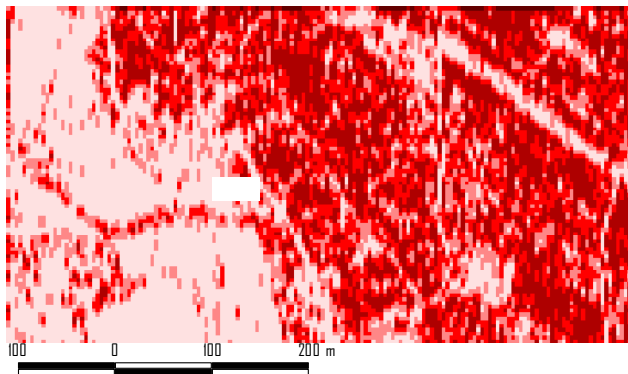


Orientações



Integração das variáveis

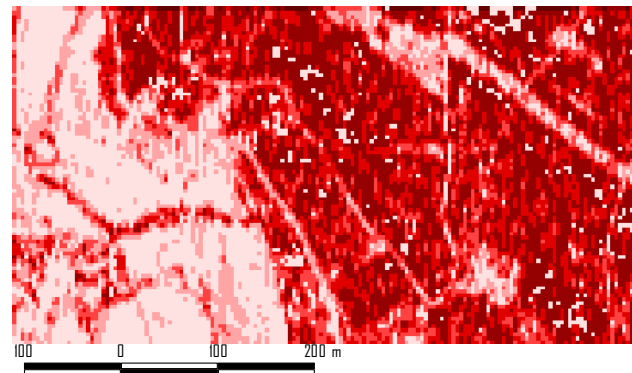
- Variáveis de combustível reclassificadas (4x4m):



Continuidade horizontal

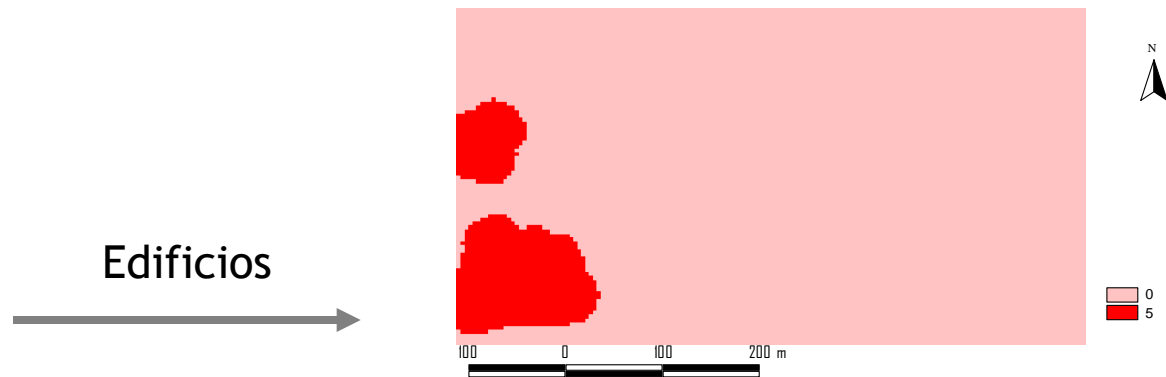
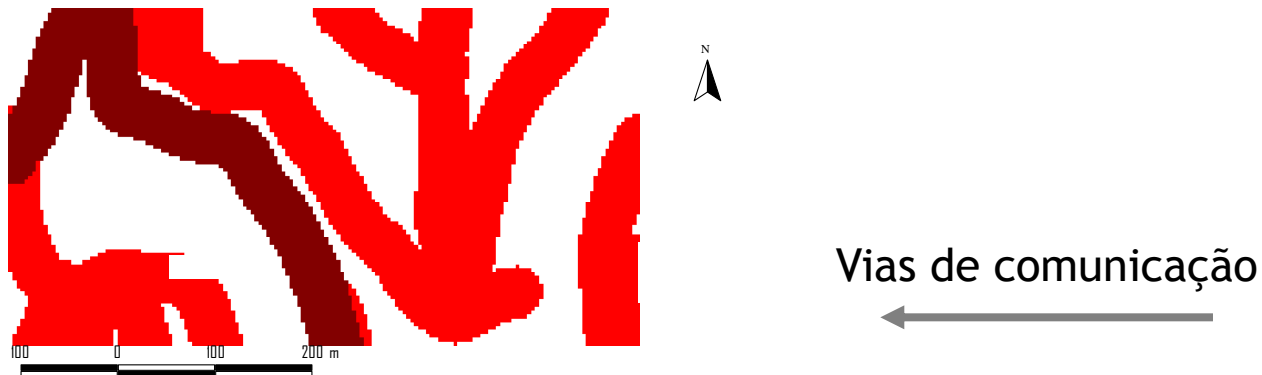


Carga de combustível disponível

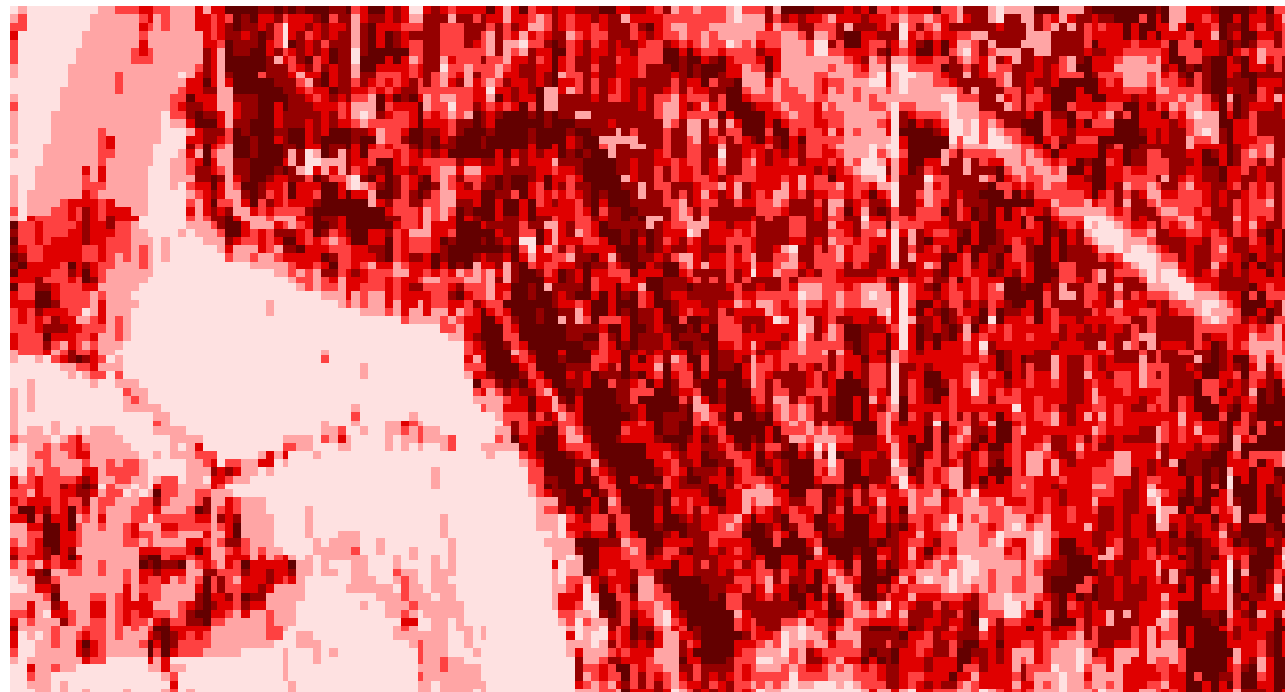


Integração das variáveis

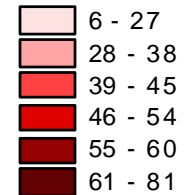
- Variáveis de actividade humana reclassificadas (4x4m):



Índice de risco



Índice de risco

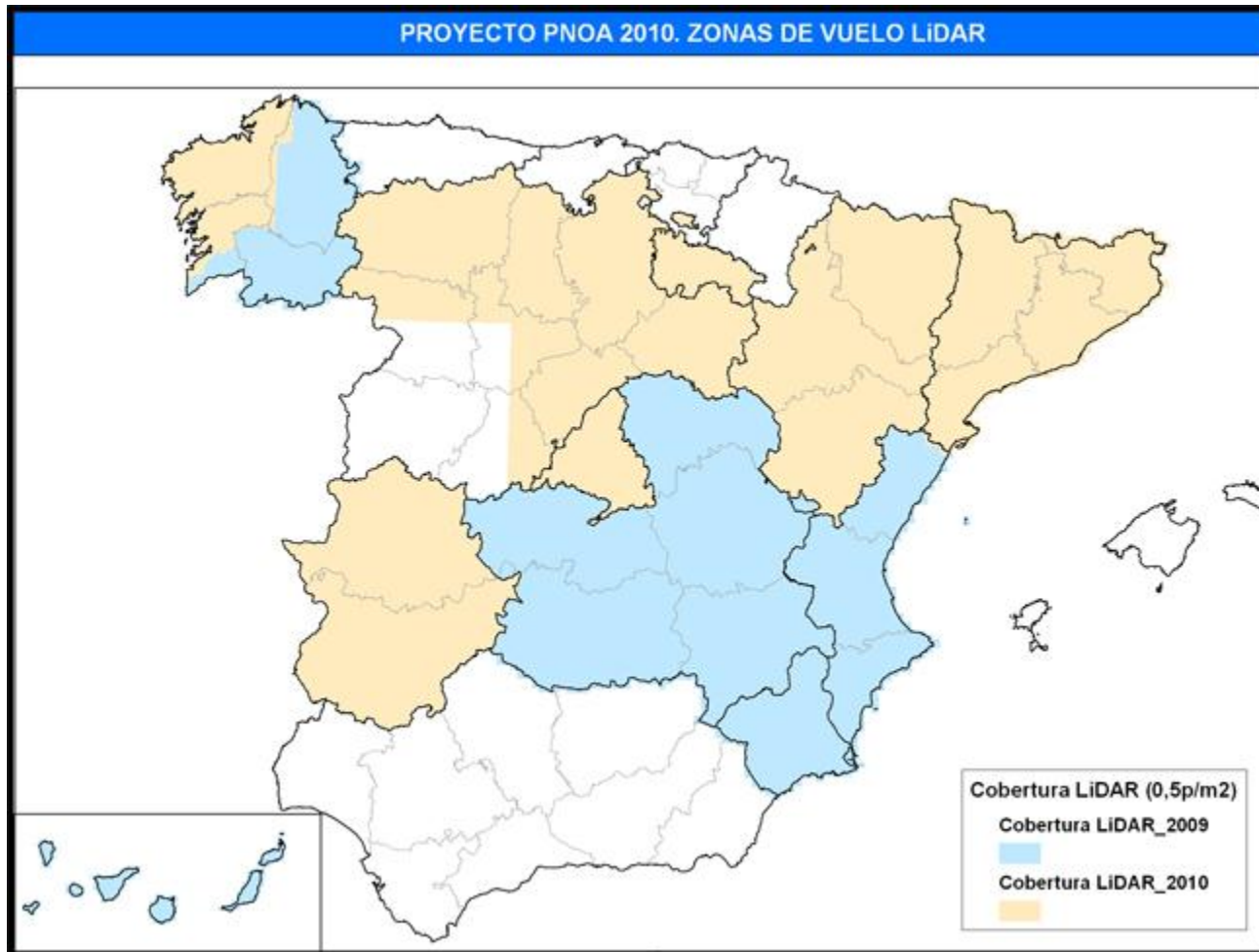


4 x 4 m



Ordem dos Engenheiros
REGIÃO NORTE

PNOA



Software

- TerraScan from Terra Solid
- ArcGIS – Lidar Analyst
- Matlab
- Specific
- TreeVaW
- PCI Geomatics
- IDL from RSI
- Surfer from Scientific Software Group
- LIDAR Analyst and Feature Analyst from Visual Learning Systems – Tools for extracting geospatial features of interest
- Merrick Advanced Remote Sensing (MARS®) Software
- QT Modeler and QT Reader from Applied Imagery
- GRASS
- MCC-LIDAR
- Fusion
- GVSIG-Dielmo Open Lidar
- Fugroviewer
- Lp360...



Thank you!

**Luís Gonçalves Seco
(lgs@fc.up.pt)**



**Ordem dos Engenheiros
REGIÃO NORTE**