



X CONFERÊNCIA NACIONAL DE CARTOGRAFIA E GEODESIA

INFORMAÇÃO GEOESPACIAL PARA OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

INSTITUTO POLITÉCNICO DA GUARDA

02 – 03 NOVEMBRO 2023

# Persistent Scatterers Interferometry – uma abordagem geodésica na medição da deformação

João CATALÃO<sup>1</sup>, Daniel PIMENTEL<sup>2</sup>, Filipe CERQUEIRA<sup>2</sup>, João HENRIQUES<sup>3</sup>, Isabel Gonzalez<sup>4</sup> e Miguel CRUZ<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa

<sup>2</sup> EDP - Gestão da Produção de Energia, S.A., Porto

<sup>3</sup> Geoide GeoSystems SA, Leiria

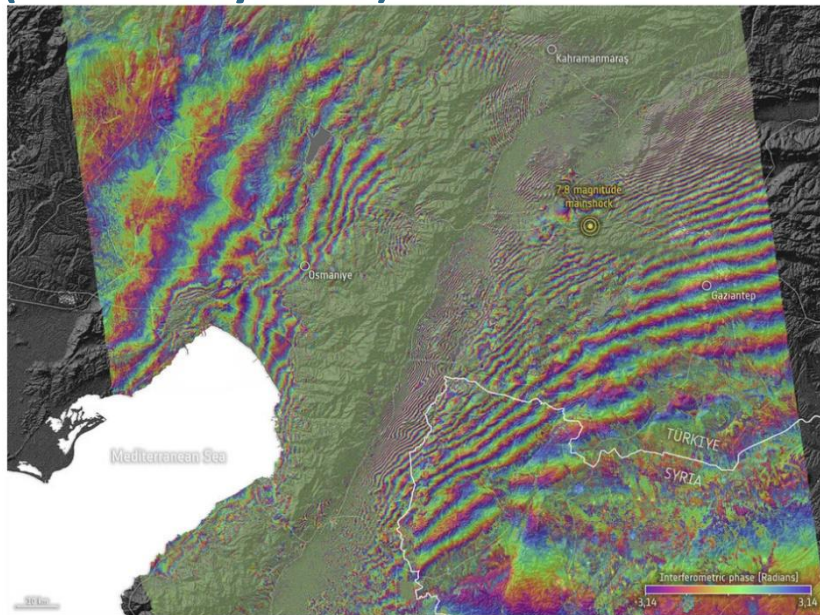
<sup>4</sup> Brisa, SA, São Domingos de Rana

(jcfernandes@ciencias.ulisboa.pt; filipe.cerqueira@edp.com; daniel.pimentel@edp.com; joao.henriques@geoide.pt; isabel.gonzalez@brisa.pt; miguel.cruz@brisa.pt )

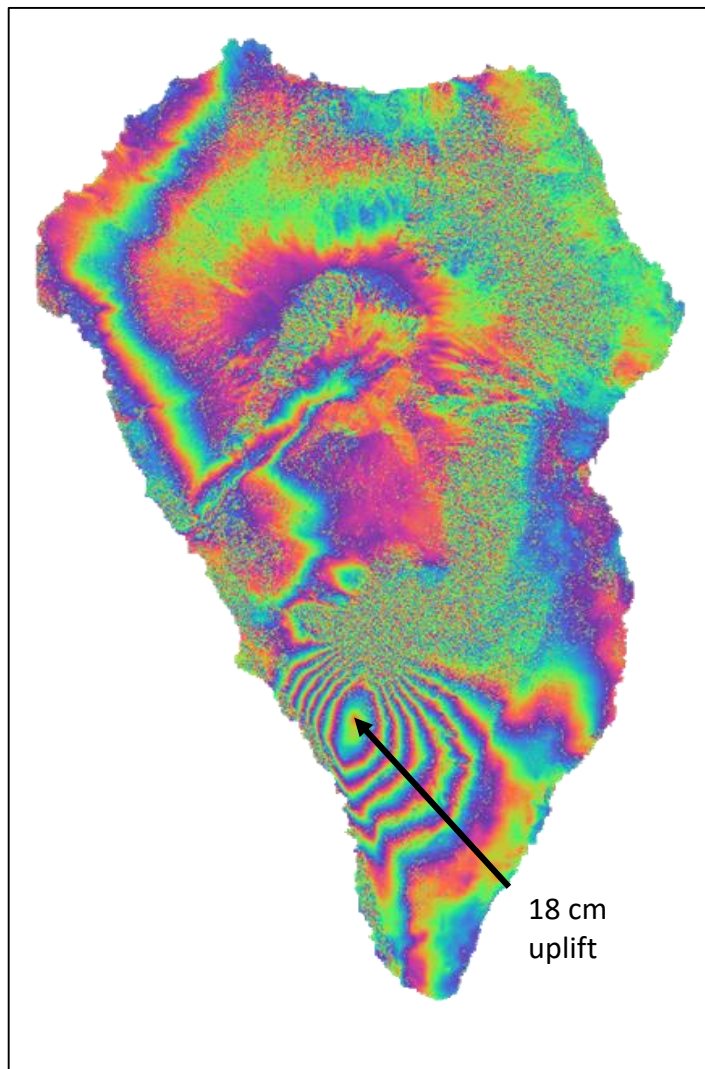


ORDEM  
DOS  
ENGENHEIROS

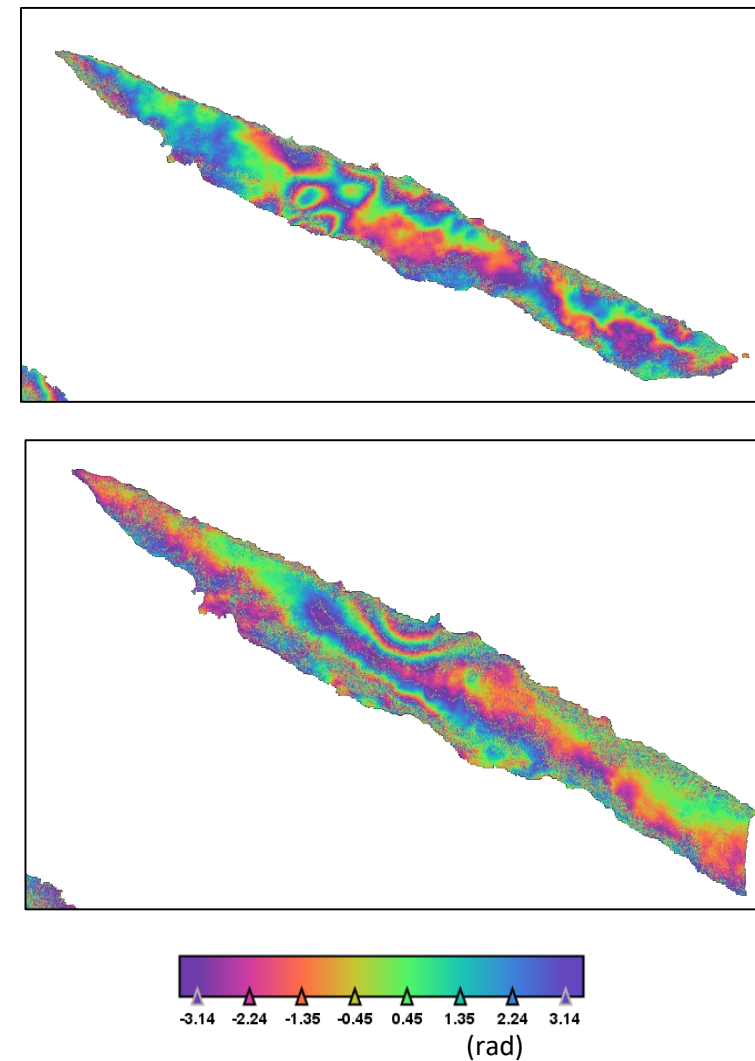
### Turkey /Syria earthquake, (6 February 2023)



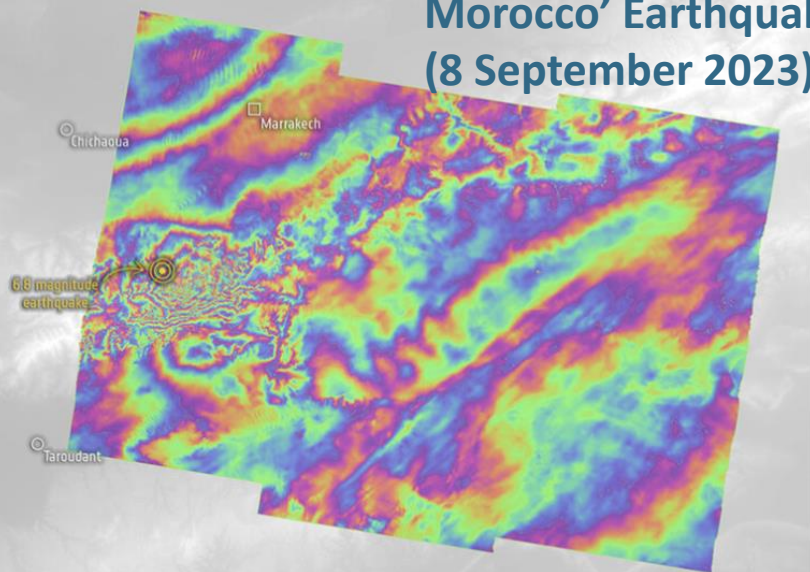
### La Palma volcanic eruption (19 September 2021)



### S. Jorge (volcanic crises) (19 March 2022)



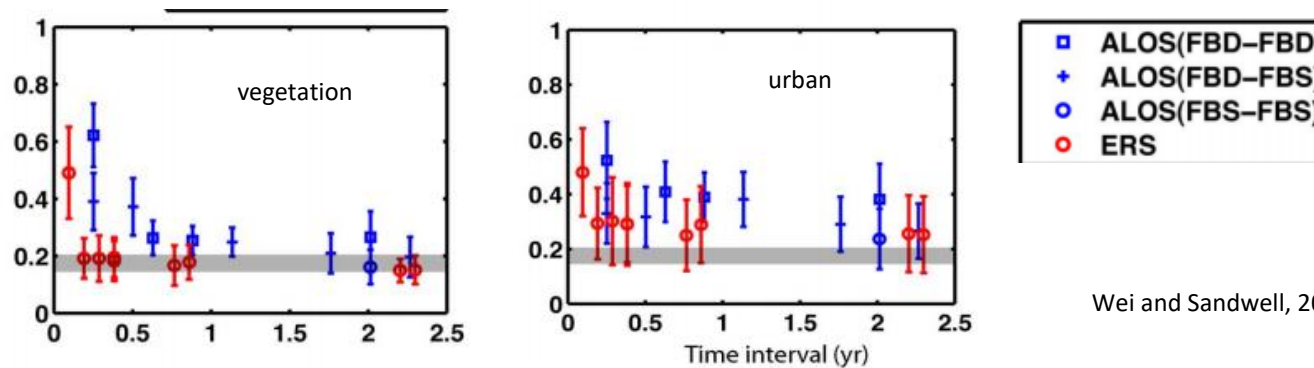
### Morocco' Earthquake (8 September 2023)



# Coerência interferométrica



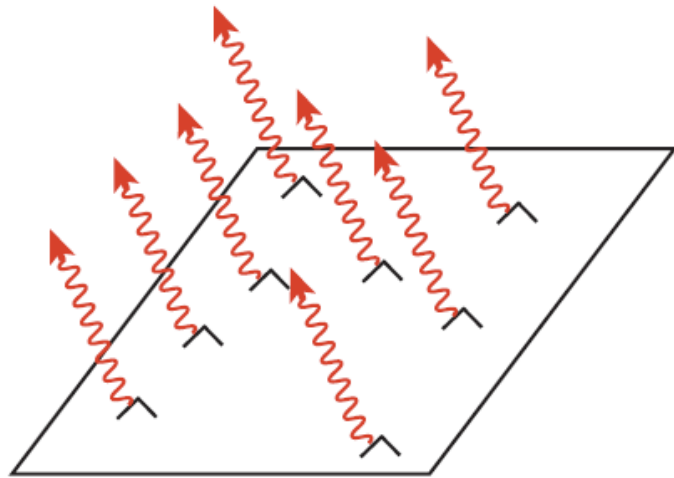
Coerência ~  
Medida da  
precisão da fase



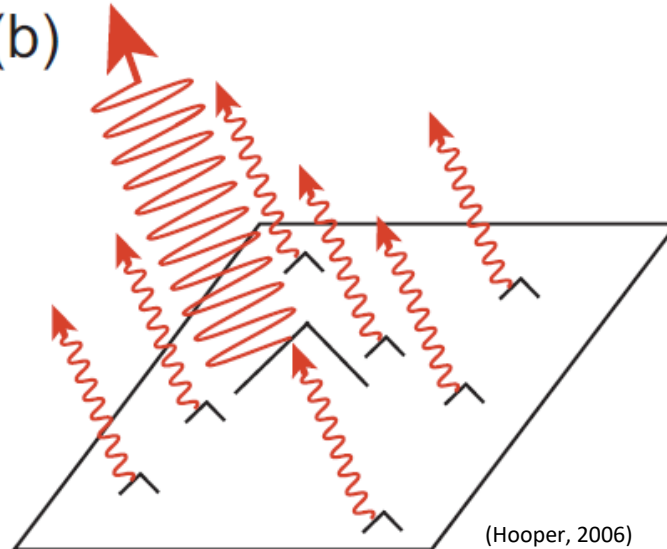
Wei and Sandwell, 2010 (IEEE TGRS)

# Persistent Scatterer (PS)

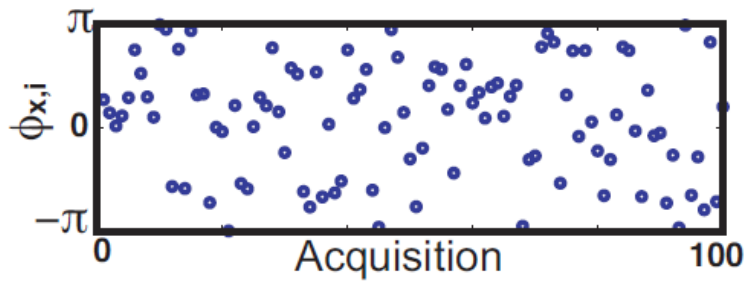
(a)



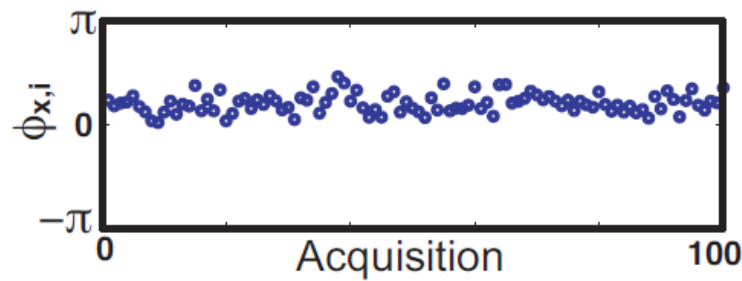
(b)



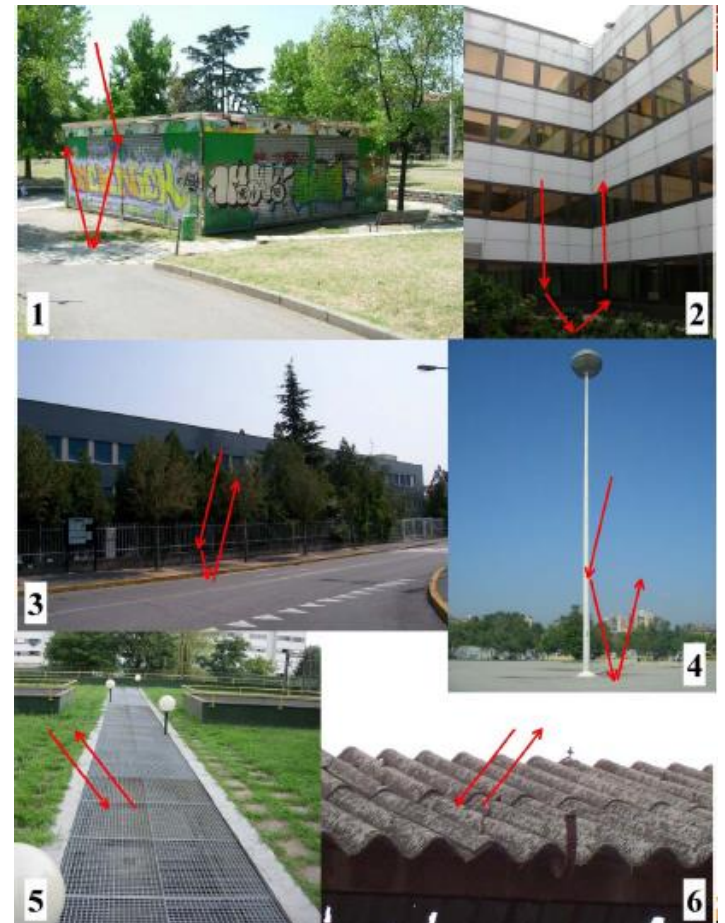
(Hooper, 2006)



Distributed Scatterer



Persistent Scatterer



# Corner Reflectors



FCUL



Barragem do Pizão



Em 2001, Ferretti et al., propuseram uma técnica designada por “Permanent Scatterers technique” que permite a análise de longas séries temporais de interferogramas.

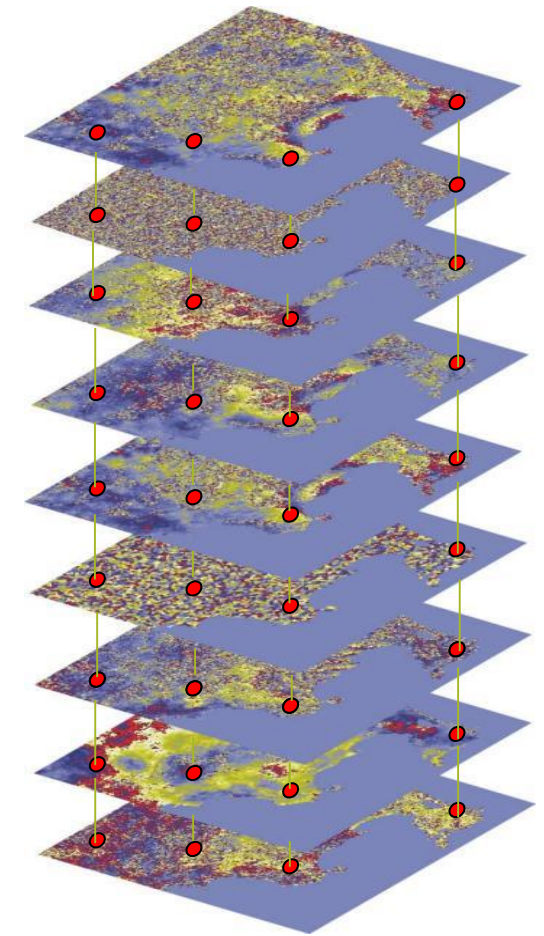
A técnica baseia-se num conjunto de píxeis coerentes ao longo do tempo e permite, dentro de certas condições:



A determinação do erro do DEM usado no interferograma diferencial

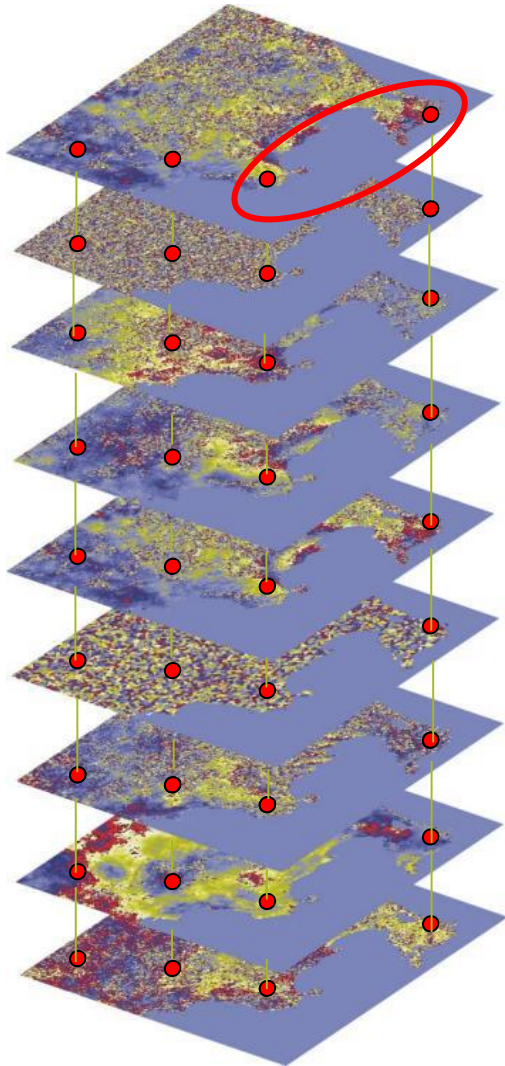


A deteção de movimentos da superfície com uma precisão milimétrica

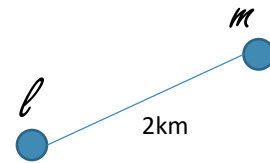


$$D_a = \frac{\sigma_a}{\bar{a}} = \hat{\sigma}_\phi$$

# Persistent Scatter modelo funcional



$$\phi^k = -\frac{4\pi}{\lambda} T^k v(x) - \frac{4\pi}{\lambda} \frac{B_{\perp x}^k}{r_x^m \sin \theta_{x,inc}^m} \cdot h_x + \phi_{atmo}^k + \phi_{ruído}^k$$



$$\Delta\phi_{l,m}^k = -\frac{4\pi}{\lambda} T^k \Delta v(x) - \frac{4\pi}{\lambda} \frac{B_{\perp x}^k}{r_x^m \sin \theta_{x,inc}^m} \cdot \Delta h_x + \omega_{l,m,k}$$

$$\Delta\phi_{l,m}^k = k_v \Delta v_{l,m} T_k + k_\varepsilon \cdot B_{n,k} \Delta h_{l,m} + \omega_{l,m,k}$$

Sistema de  $k$   
equações com 2  
variáveis

Busca no espaço solução dos valores que maximizam a função  $\gamma$

$$\gamma_{l,m} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \exp(j \cdot (\Delta\phi_{l,m}^k - k_v \Delta v_{l,m} T_k - k_\varepsilon \cdot B_{n,k} \Delta h_{l,m} - \omega_{l,m,k}))$$

# Estudo de viabilidade da monitorização de infraestruturas rodoviárias com interferometria SAR

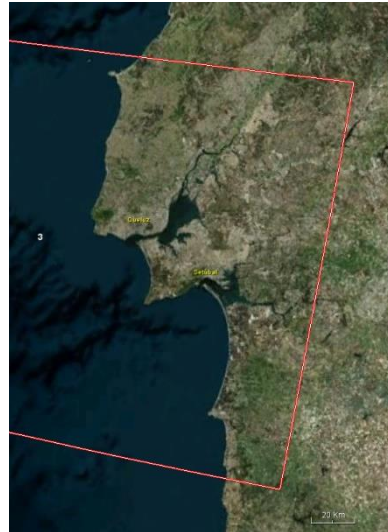
## - Caso de estudo a A9



Imagens Sentinel-1 (ascend. / desc.)  
(dez, 2016 a jan, 2018)



A9 – CREL - 35 km



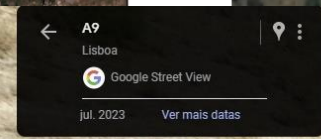
Motivo: Intervenção ao  
km 27 no ano de 2017.



# CREL - 2017

km 2

Km 27



- -6.0 - -4.0
- -4.0 - -2.0
- -2.0 - 2.0
- 2.0 - 4.0
- 4.0 - 6.0

Estudo de monitorização de infraestruturas rodoviárias com interferometria SAR, o caso da CREL, 2017

0 290 580 1,160 Meters

João Catalão  
Faculdade de Ciências, ULisboa  
Maio 2022



- -6.0 - -4.0
- -4.0 - -2.0
- -2.0 - 2.0
- 2.0 - 4.0
- 4.0 - 6.0

Estudo de monitorização de infraestruturas rodoviárias com interferometria SAR, o caso da CREL, 2017

João Catalão  
Faculdade de Ciências, ULisboa  
Maio 2022

# Estudo de viabilidade da monitorização de infraestruturas rodoviárias com interferometria SAR de elevada resolução espacial – Portagem de Odivelas da A40.



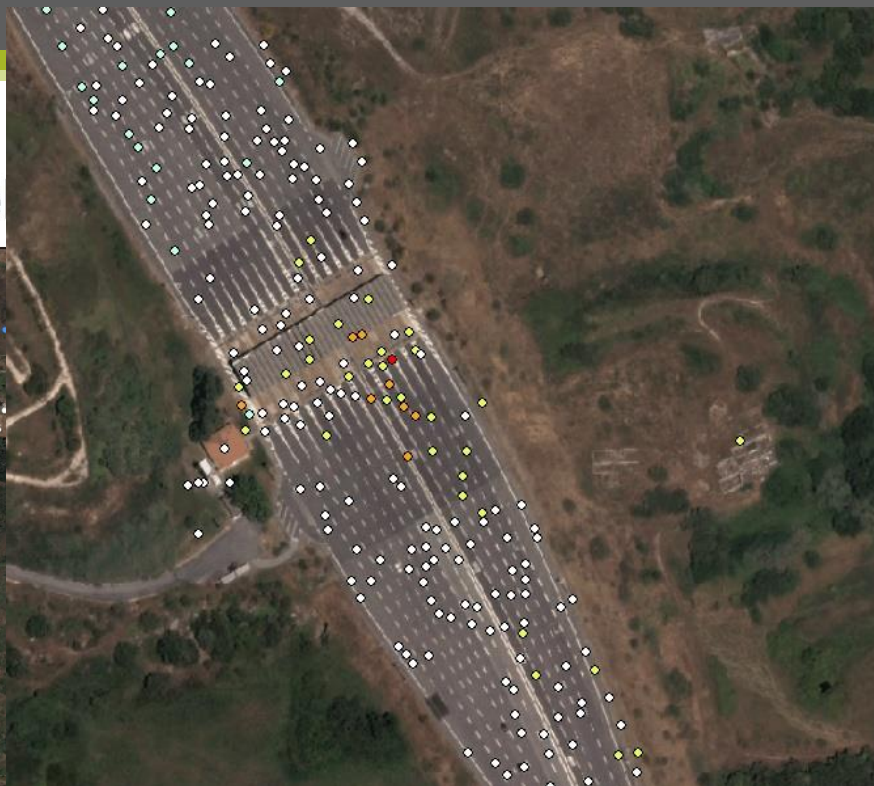
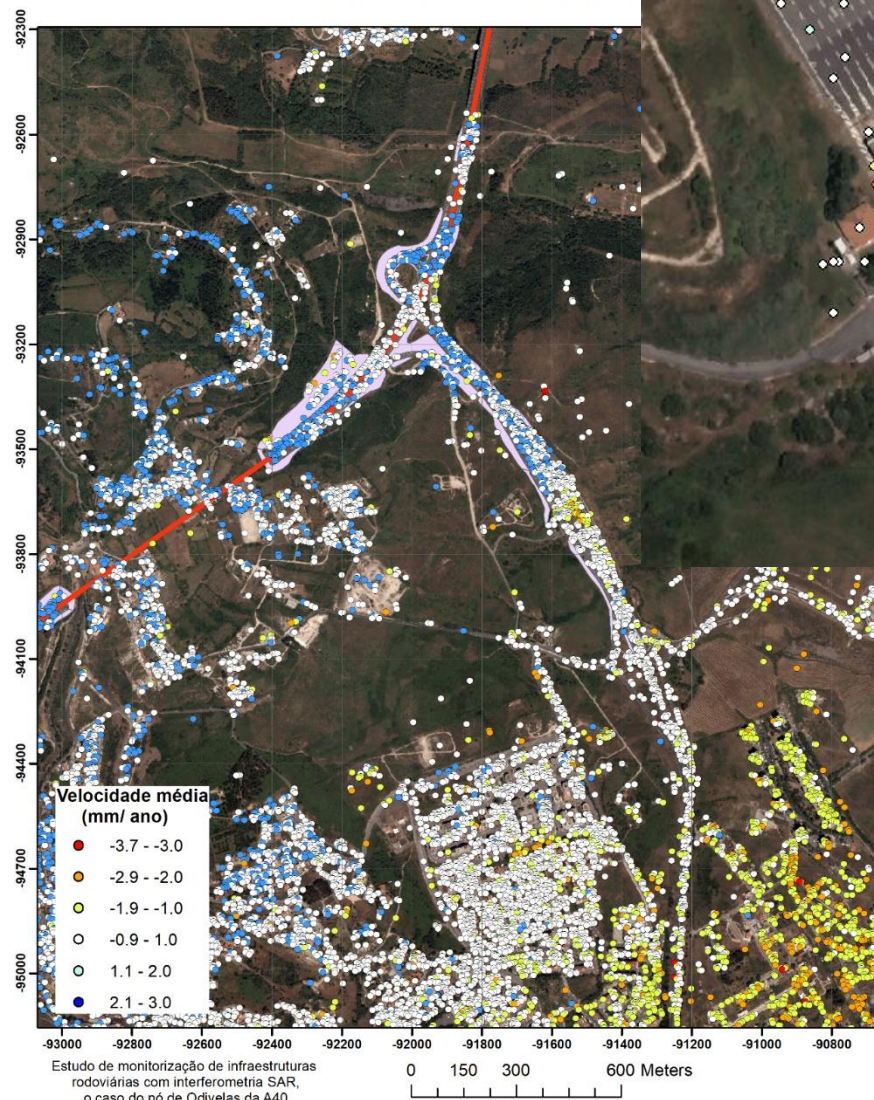
Imagens TerraSAR-X (ascend.)  
Abril, 2010 a junho, 2012



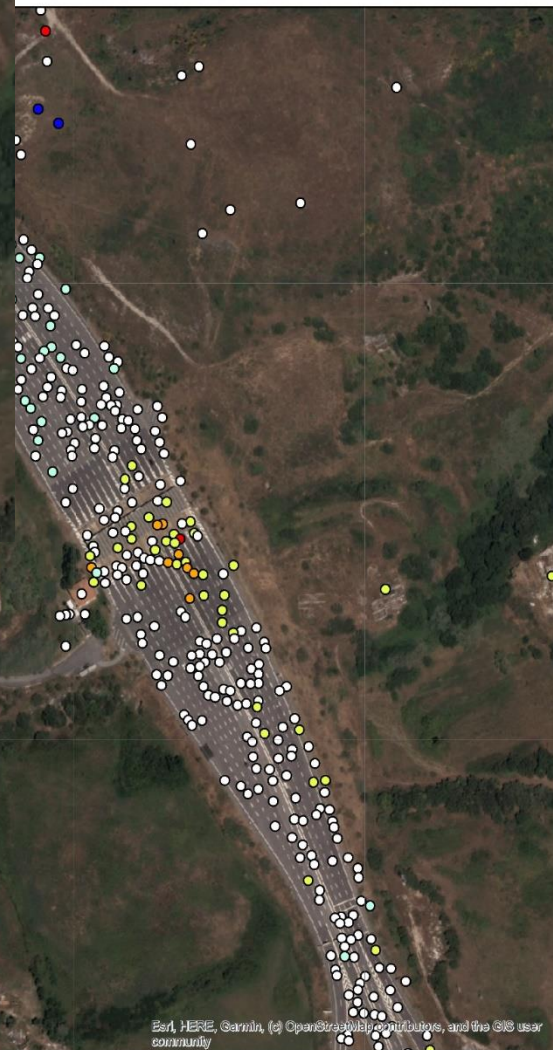
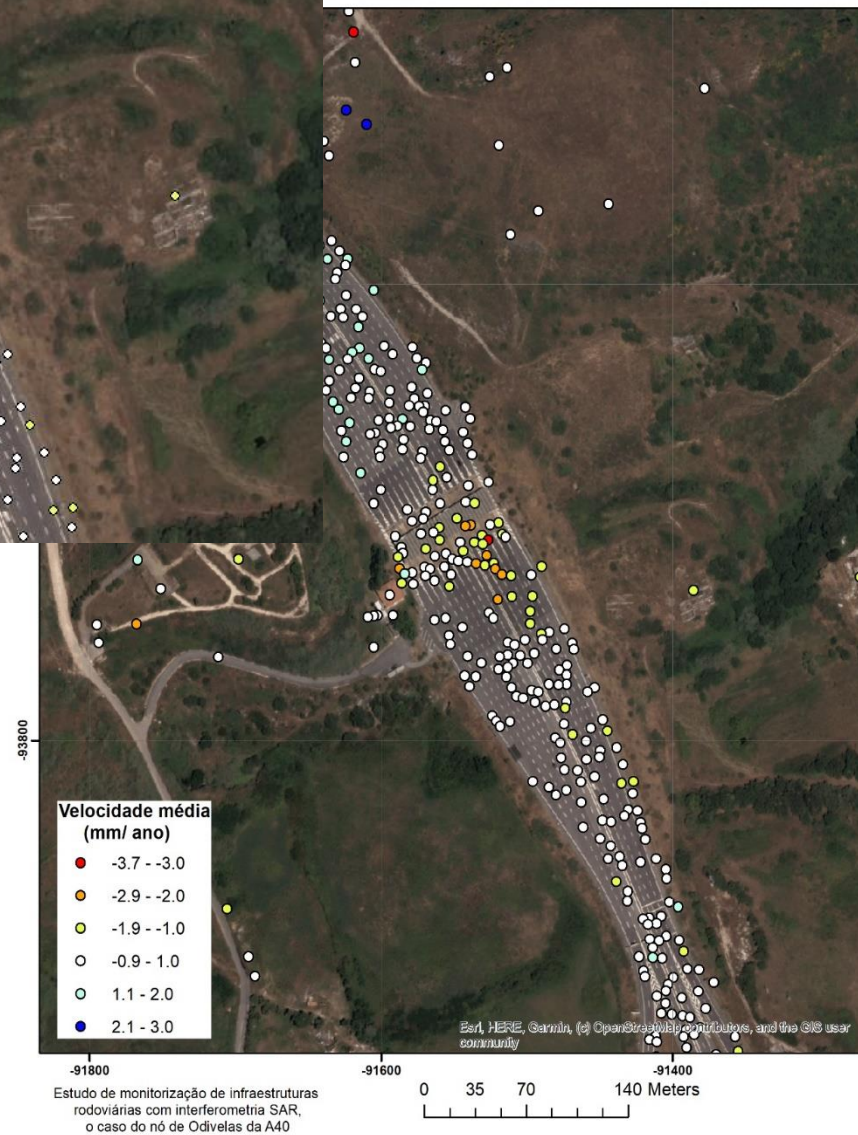
Motivo: Subsistencia na zona das portagens com inicio na década de 1990



## A40: Nó de Odivel



## Nó de Odivelas





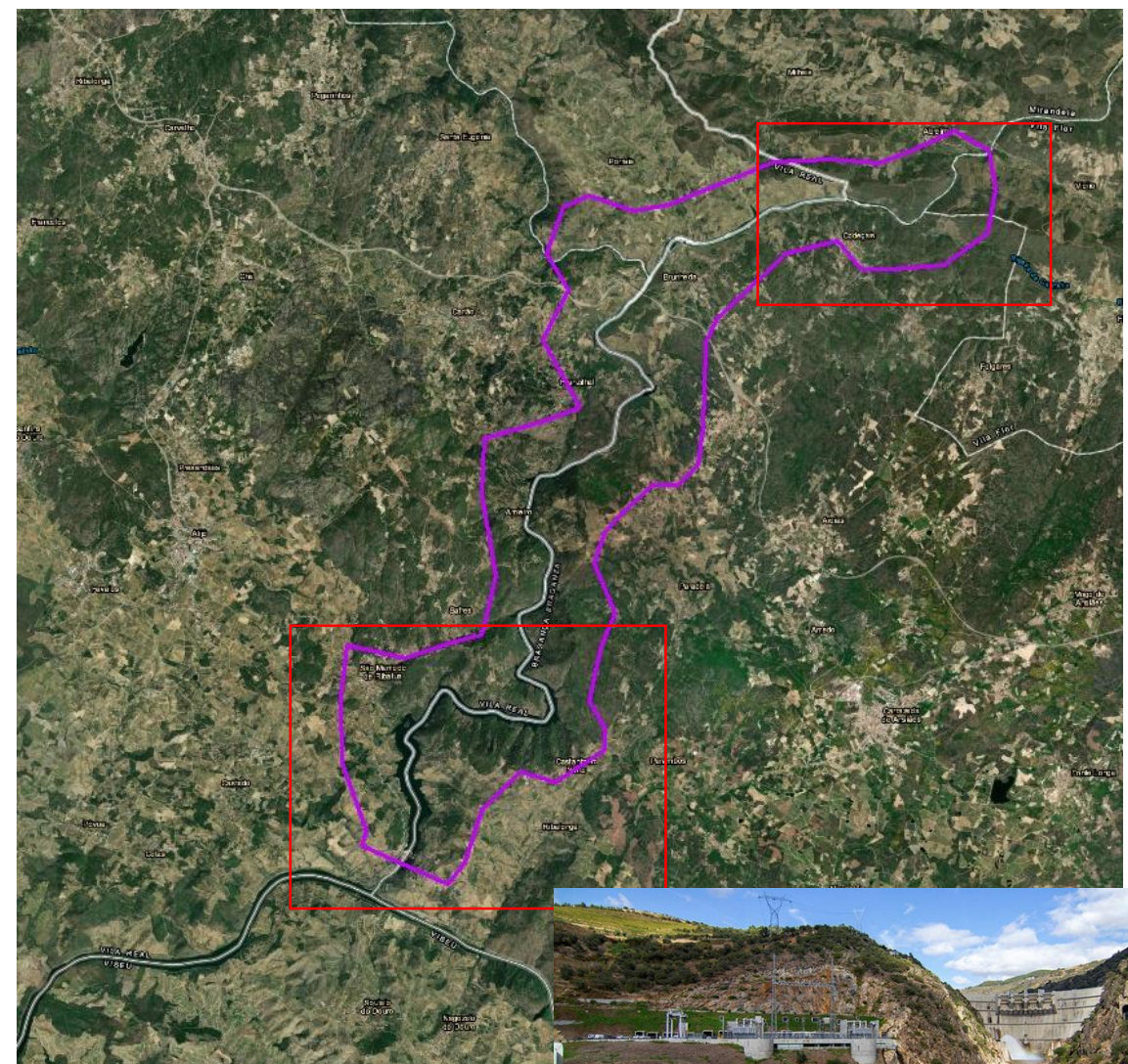
# Implementação de um sistema de monitorização baseado na técnica PS-INSAR na envolvente à albufeira da barragem do Aproveitamento Hidroelétrico de Foz Tua



Sentinel-1 (ascend. / desc)  
2016 a 2021



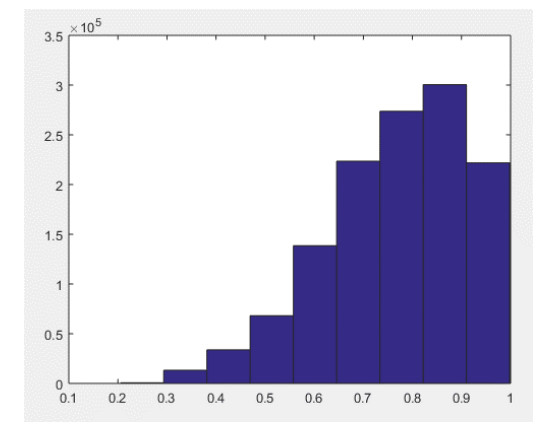
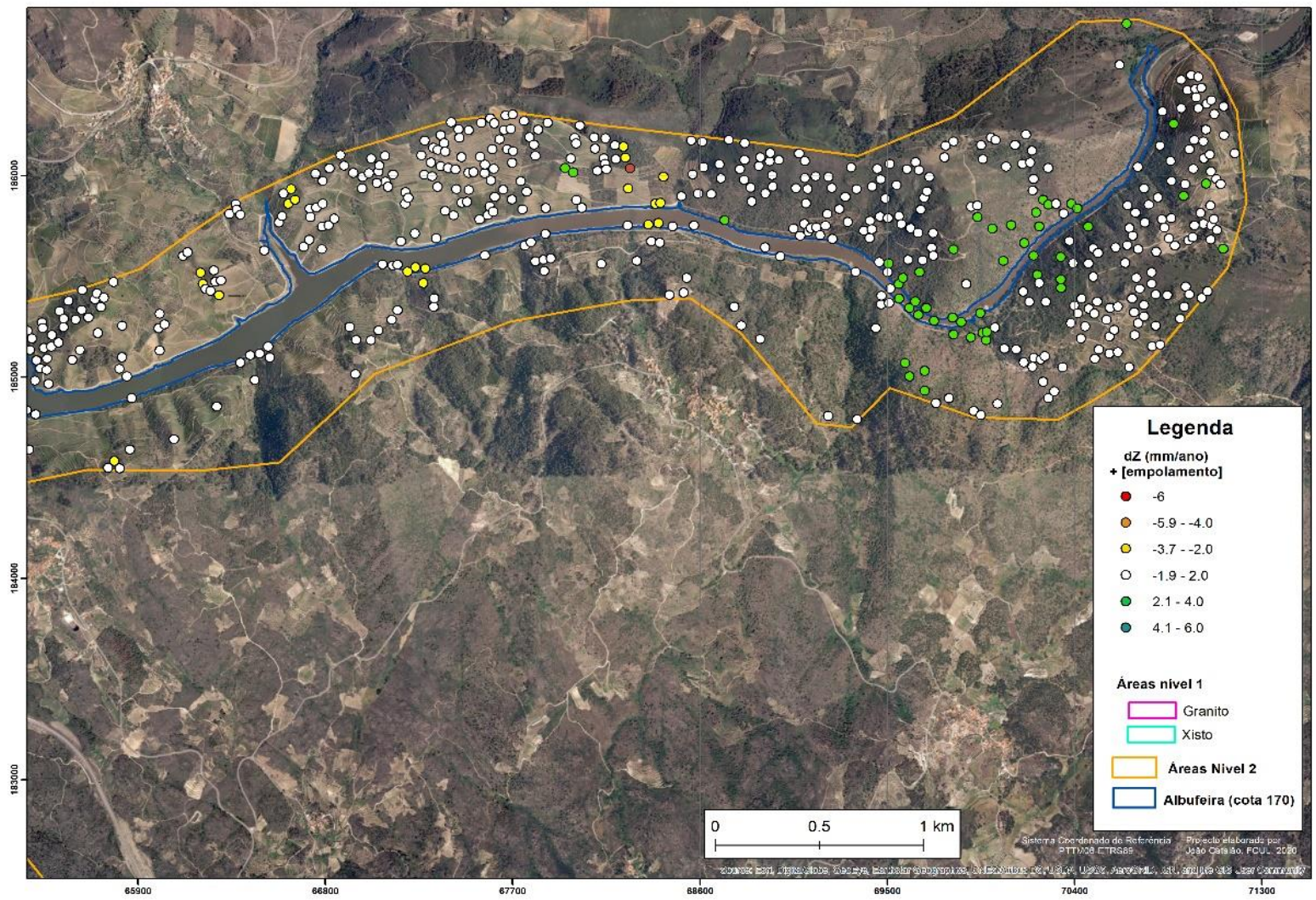
> 300 interferogramas



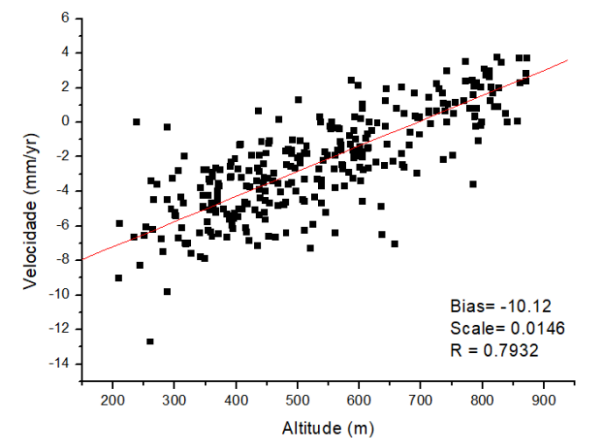
Traçado do rio > 20 km



BARRAGEM DO TUA - INSAR 2021 - MERGED

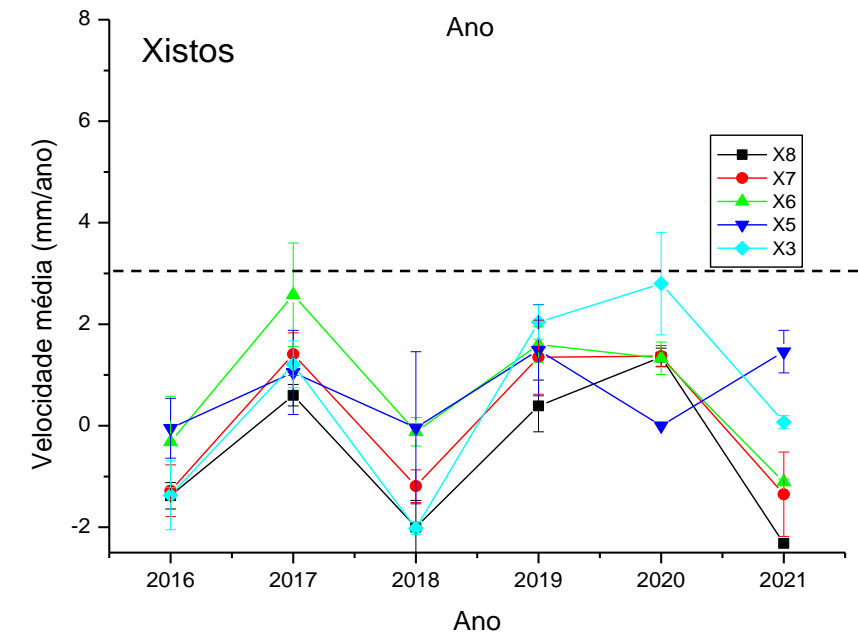
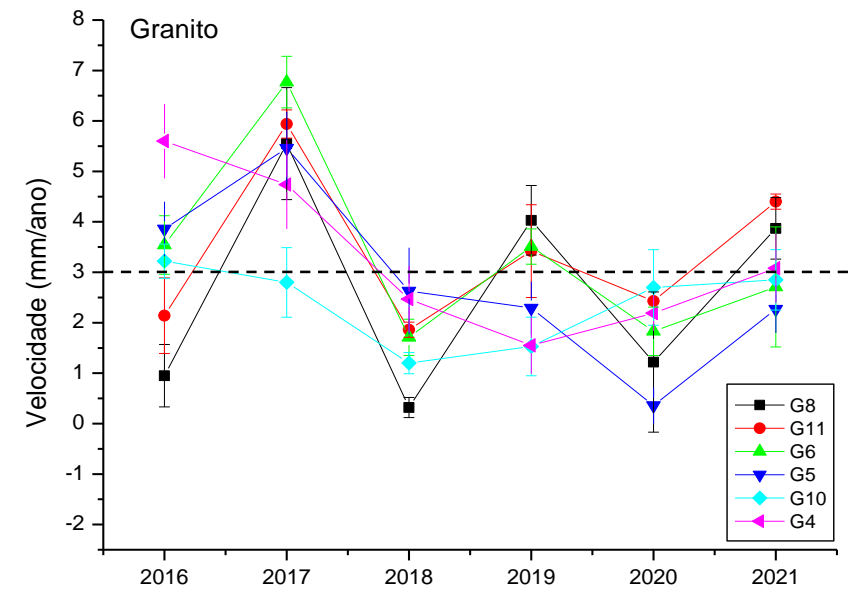
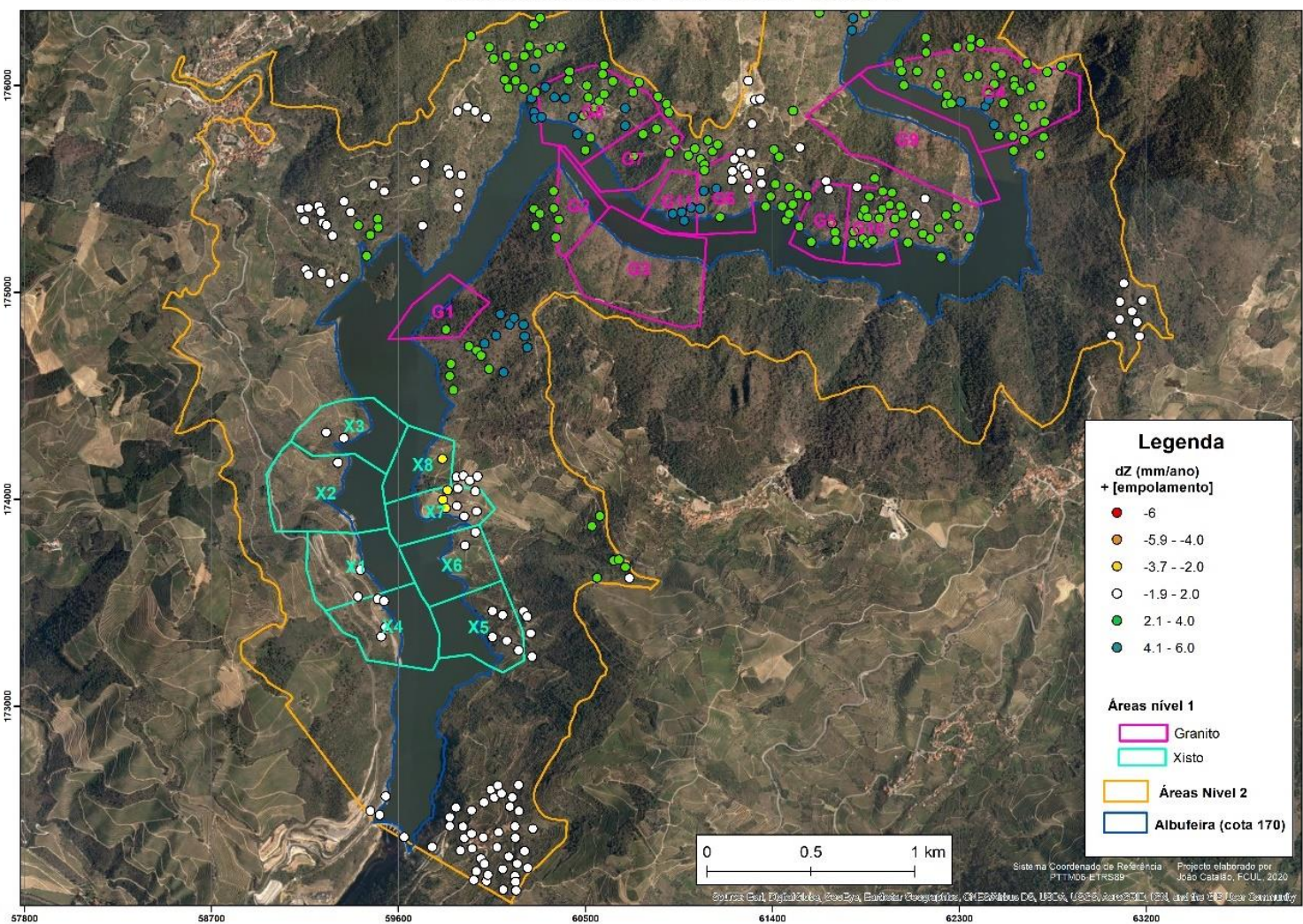


Histograma da coerência temporal



Relação entre a velocidade dos PS e a sua altitude para a série temporal de 2018

BARRAGEM DO TUA - INSAR 2021 - MERGED

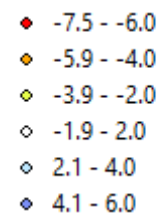


# Outros registos ..

## Plataforma Logística Lisboa Norte



## Ponte Vasco da Gama





# Aeroporto

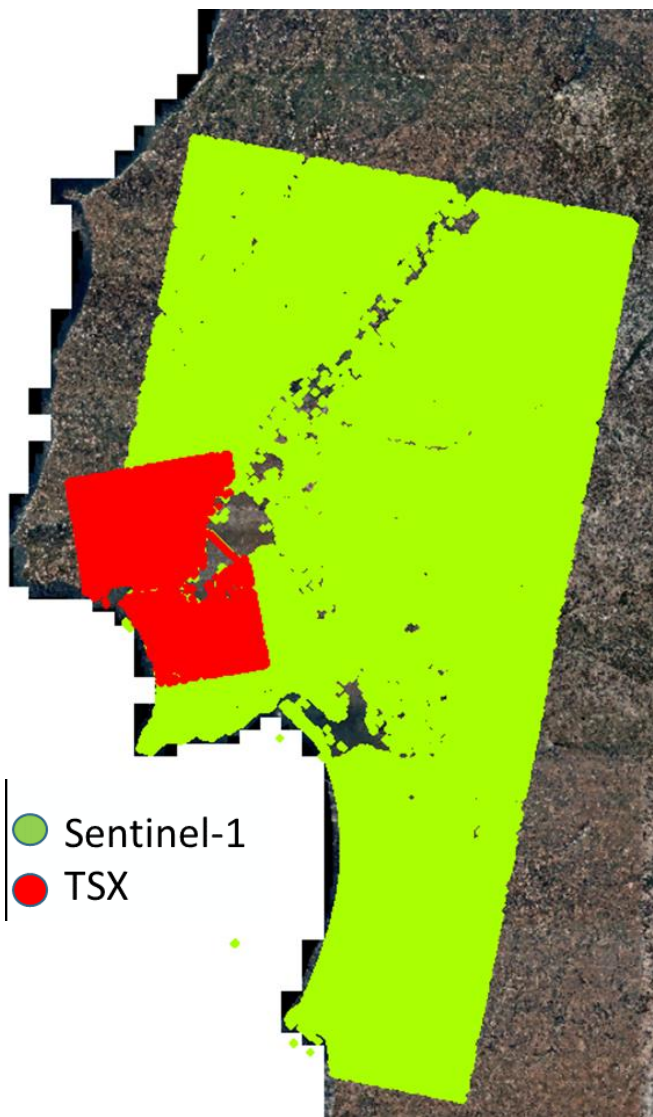
# Odivelas



- -7.5 - -6.0
- -5.9 - -4.0
- -3.9 - -2.0
- -1.9 - 2.0
- 2.1 - 4.0
- 4.1 - 6.0

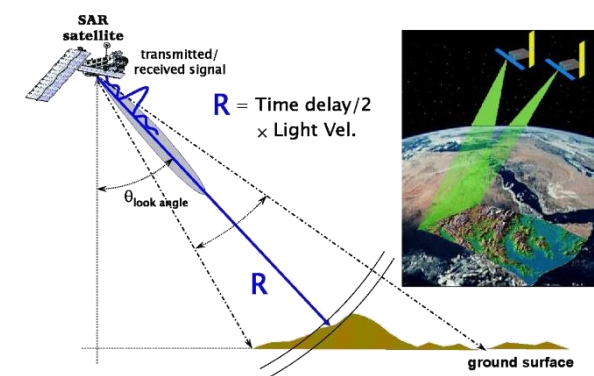
## Vantagens da PS-InSAR

- Capacidade sinóptica
- Elevada resolução espacial
- Independente das condições atmosféricas
- Regularidade temporal
- Elevada exatidão



## Limitações da PS-INSAR

- Aleatoriedade na localização dos PSs
- Insuficiente modelação dos efeitos atmosféricos
- Indefinição do sistema de referência coordenado
- Medição na linha de vista do satélite (LOS)



# DESTINATION EARTH



## A DIGITAL REPLICA OF OUR PLANET

Utilising high-performance computing, machine learning and satellite data, the digital twins of **Destination Earth** will provide us with an accurate representation of the past, present and future changes of our world.

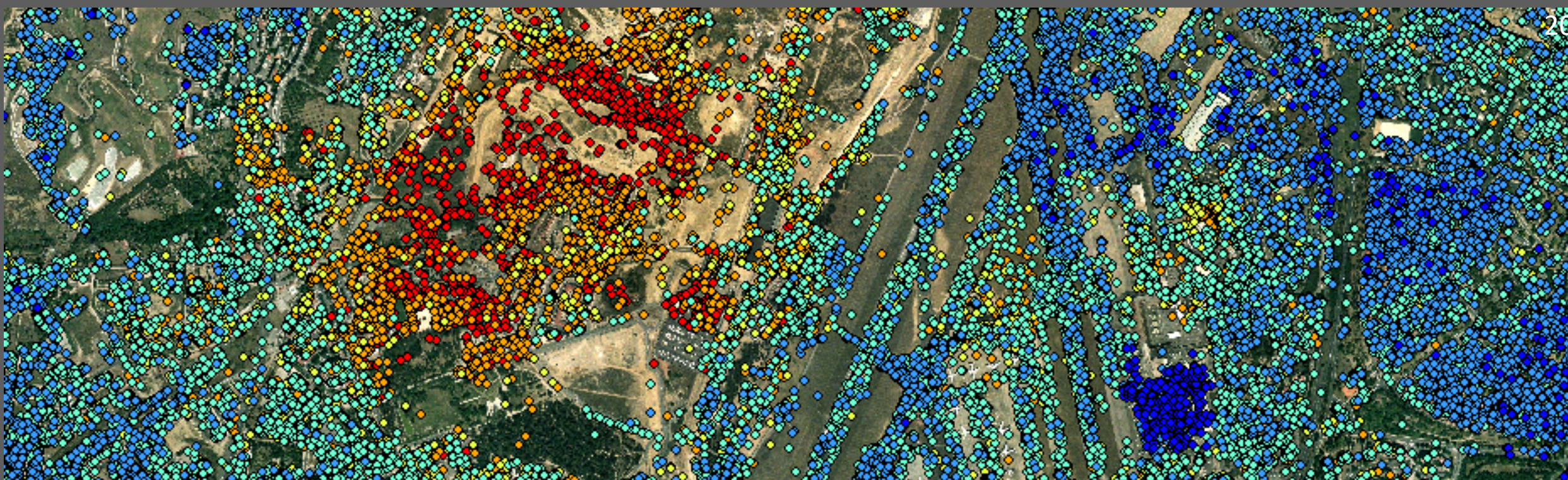


VISUALISE

ANALYSE

PREDICT

MODEL



## ***Persistent Scatterers Interferometry – uma abordagem geodésica na medição da deformação***

João CATALÃO<sup>1</sup>, Daniel PIMENTEL<sup>2</sup>, Filipe CERQUEIRA<sup>2</sup>, João HENRIQUES<sup>3</sup>,  
Isabel Gonzalez<sup>4</sup> e Miguel CRUZ<sup>4</sup>