



LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL

**INFRASAR – INTERFEROMETRIA SAR  
COM DIFUSORES PERMANENTES (PSINSAR)  
APLICADA À DETEÇÃO DE DESLOCAMENTOS  
EM GEODINÂMICA E INFRAESTRUTURAS**

**Relatório de progresso 2014-2017 do projeto do P2I/LNEC**

Lisboa • abril de 2018

**I&D BARRAGENS DE BETÃO**

**RELATÓRIO 166/2018 – DBB/NGA**

## **Título**

### **INFRASAR – INTERFEROMETRIA SAR COM DIFUSORES PERMANENTES (PSINSAR) APLICADA À DETEÇÃO DE DESLOCAMENTOS EM GEODINÂMICA E INFRAESTRUTURAS**

Relatório de progresso 2014-2017 do projeto do P2I/LNEC

## **Autoria**

DEPARTAMENTO DE BARRAGENS DE BETÃO

### **Ana Fonseca**

Investigadora Principal, Chefe do Núcleo de Geodesia Aplicada

### **Dora Roque**

Bolseira de Doutoramento, Núcleo de Geodesia Aplicada

Copyright © LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL, I. P.

AV DO BRASIL 101 • 1700-066 LISBOA

e-mail: [lnec@lnec.pt](mailto:lnec@lnec.pt)

[www.lnec.pt](http://www.lnec.pt)

Relatório 166/2018

Proc. 0404/112/19717

## INFRASAR – INTERFEROMETRIA SAR COM DIFUSORES PERMANENTES (PSINSAR) APLICADA À DETEÇÃO DE DESLOCAMENTOS EM GEODINÂMICA E INFRAESTRUTURAS

Relatório de progresso 2014-2017 do projeto do P2I/LNEC

### Resumo

---

Neste relatório apresenta-se, de forma sucinta, a descrição da atividade de investigação realizada no âmbito do projeto INFRASAR no período 2014-2017. Os resultados da atividade são analisados e avaliados, em face dos objetivos inicialmente previstos, sendo proposta uma extensão do projeto e revisão do plano de atividades para os próximos dois anos.

Palavras-chave: INFRASAR / Processamento digital de imagens / Interferometria / RADAR / PSINSAR / Difusores permanentes / Detecção de deslocamentos

## INFRASAR – SAR INTERFEROMETRY WITH PERMANENT SCATTERERS APPLIED TO THE DETECTION OF DISPLACEMENTS IN GEODYNAMICS AND INFRASTRUCTURES

Progress report 2014-2017 of the P2I/LNEC project

### Abstract

---

A concise description is presented of the research activities undertaken in the INFRASAR project during 2014-2017. The results are analyzed and assessed, considering the initial goals of the project. A revised plan for the next two years is proposed.

Keywords: INFRASAR / Digital image processing / Interferometry / RADAR / PSINSAR / Permanent scatterers / Displacements monitoring



## Índice

1	Introdução .....	1
2	Atividade desenvolvida.....	3
2.1	Descrição da atividade desenvolvida .....	3
2.2	Apreciação da atividade desenvolvida e proposta de alteração do plano para 2018-2020 .....	7
3	Divulgação de resultados .....	9
3.1	Publicações em revistas e congressos.....	9
3.2	Teses de doutoramento .....	10
4	Indicadores de desempenho, recursos mobilizados e financiamento .....	11
4.1	Indicadores de desempenho.....	11
4.2	Recursos mobilizados .....	11
4.3	Candidaturas a financiamento .....	12
4.4	Aplicações a estudos de contrato .....	12
5	Considerações finais .....	13

## Índice de figuras

Figura 2.1 – Plano de trabalhos (2016) .....	3
Figura 2.2 – Proposta de revisão do plano de trabalhos. ....	8

## Índice de quadros

Quadro 4.1 – Indicadores de desempenho .....	11
Quadro 4.2 – Afetação de recursos humanos do LNEC .....	11





## 1 | Introdução

O projeto de investigação INFRASAR (Interferometria SAR com difusores permanentes (PSINSAR) aplicada à deteção de deslocamentos em geodinâmica e infraestruturas) teve início em 01/01/2014 com uma duração prevista de 48 meses. O projeto está integrado no Plano de Inovação e Investigação (P2I) do LNEC, com enquadramento na matriz programática da Estratégia de Investigação e Inovação 2013-2020 (E2I), inserindo-se no eixo E4 (Risco e Segurança) e na temática T2 (Novas Tecnologias).

O projeto insere-se na missão do LNEC e do Departamento de Barragens de Betão (DBB), na componente de acompanhamento do comportamento de obras de engenharia, e na missão do Núcleo de Geodesia Aplicada (NGA), de desenvolvimento de métodos da Geodesia para a determinação de deslocamentos em infraestruturas. Vai também ao encontro da política espacial europeia que promove a apropriação, pelas instituições dos países membros, para a execução das suas missões, da informação adquirida pelos satélites de observação da Terra da Agência Espacial Europeia (European Space Agency – ESA), no âmbito do Programa Copernicus (<http://www.copernicus.eu/>).

O projeto propõe a utilização da Interferometria RADAR, com imagens adquiridas por sensores de radar de abertura sintética (*synthetic aperture radar* – SAR), para complementar os sistemas de observação de estruturas e respetiva envolvente. A segurança estrutural é avaliada, usualmente, com a contribuição de deslocamentos obtidos por equipamentos embebidos na estrutura e por métodos geodésicos (taqueometria, nivelamento, sistemas de navegação global por satélite), num número reduzido de pontos e com uma frequência temporal baixa. Com este projeto pretende-se complementar estas observações com deslocamentos obtidos em novos pontos, que são refletores do sinal do satélite, registados em imagens adquiridas na banda das micro-ondas do espectro eletromagnético, o que permite aumentar a densidade de pontos objeto da rede de observação e a frequência da monitorização, com uma boa relação custo – benefício, e estender a análise à envolvente das estruturas, onde raramente existem observações efetuadas pelos métodos tradicionais acima referidos. Pretende-se ainda avaliar as contribuições que o aumento da densidade espaço-temporal de pontos da rede de observação poderá dar ao controlo de segurança de estruturas.

A equipa de investigação do LNEC era formada inicialmente pela IP Ana Maria Fonseca (Investigadora Responsável) e pela BIIC Dora Roque (atualmente BD), do NGA do DBB, e duas investigadoras do IST, Ana Paula Falcão e Sandra Heleno. Em fevereiro de 2016, por solicitação do Conselho Diretivo (CD) do LNEC, foi produzido um relatório de progresso do projeto, informal e sintético, que foi submetido ao CD pela informação nº 86, de 29 de fevereiro de 2016, na qual se propunha a continuação do projeto com pequenas alterações. A informação foi despachada favoravelmente, em março de 2016, e o projeto reformulado, nomeadamente integrando na equipa o

Professor Daniele Perissin, da Universidade de Purdue, EUA, e o IA Paulo Morais do CIC, no seguimento de efetiva colaboração no projeto, entretanto iniciada.

O projeto utiliza recursos do LabImagem do NGA, no que diz respeito a computadores e *software* (SARPROZ®, Pinnacle®, MATLAB®), *open source* (R, SNAP-ESA, QuantumGIS, ParaView), e recursos disponíveis na rede do LNEC como o software ArcGIS®.

Relata-se neste relatório a atividade realizada nos 48 meses previstos para a duração do projeto e propõe-se a sua extensão até 2020, período de vigência do P2I 2013-2020 do LNEC.

## 2 | Atividade desenvolvida

### 2.1 Descrição da atividade desenvolvida

Na Figura 2.1 apresenta-se o plano de trabalhos proposto na ficha do projeto INFRASAR, revista e aprovada em março de 2016, com o estado de desenvolvimento das tarefas (em fevereiro de 2016) assinalado (verde – realizadas; amarelo – iniciadas; cinzento – previstas).

Designação da Atividade	Tarefa	Designação da Tarefa	1ª Sem	2ª Sem	3ª Sem	4ª Sem	5ª Sem	6ª Sem	7ª Sem	8ª Sem
Atividade 1	T1.1	Estabelecimento do Estado da Arte								
	T1.2	Identificação de bottlenecks que dificultam a operacionalização								
	T1.3	Criação de catálogos de imagens								
	T1.4	formação no software proprietário SARSCAPE								
	T1.5	formação no software open source STAMPS								
	T1.6	formação no software open source SARPROZ								
	T1.7	Desenvolvimento de software								
	T1.8	Instalação de refletores de canto no campus do LNEC								
Atividade 2	T2.1	Processamento de pilhas de imagens SAR para geração de interferogramas								
	T2.2	Processamento de pilhas de interferogramas para identificação de difusores permanentes (DP)								
	T2.3	Determinação de deslocamento ao longo da linha de vista do satélite e sua velocidade nos DP.								
	T2.4	Instalação de refletores de canto								
	T2.5	Combinação de passagens ascendentes e descendentes do satélite								
	T2.6	Determinação de deslocamentos 3D a partir do deslocamento na linha de vista do satélite.								
	T2.7	Validação - Cruzamento com dados in-situ								
Atividade 3	T3.1	Processamento de pilhas de imagens SAR para geração de interferogramas								
	T3.2	Processamento de pilhas de interferogramas para identificação de difusores permanentes (DP)								
	T3.3	Determinação de deslocamento ao longo da linha de vista do satélite e sua velocidade nos DP.								
	T3.4	Validação - Cruzamento com dados in-situ								
Atividade 4	T4.1	Processamento de pilhas de imagens SAR para geração de interferogramas								
	T4.2	Processamento de pilhas de interferogramas para identificação de difusores permanentes (DP)								
	T4.3	Determinação de deslocamento ao longo da linha de vista do satélite e sua velocidade nos DP.								
	T4.4	Validação - Cruzamento com dados in-situ								
Atividade 5	T5.1	Processamento de pilhas de imagens SAR para geração de interferogramas								
	T5.2	Processamento de pilhas de interferogramas para identificação de difusores permanentes (DP)								
	T5.3	Determinação de deslocamento ao longo da linha de vista do satélite e sua velocidade nos DP.								
	T5.4	Validação - Cruzamento com dados in-situ								
Atividade 6	T6.1	Instalação de refletores de canto								
	T6.2	Processamento de pilhas de imagens SAR para geração de interferogramas								
	T6.3	Processamento de pilhas de interferogramas para identificação de difusores permanentes (DP)								
	T6.4	Determinação de deslocamento ao longo da linha de vista do satélite e sua velocidade nos DP.								
	T6.5	Determinação de deslocamentos 3D a partir do deslocamento na linha de vista do satélite.								
	T6.6	Validação - Cruzamento com dados in-situ								
Atividade de 7	T7.1	Compilação de contribuições para a Dissertação de doutoramento								

Figura 2.1 – Plano de trabalhos (2016)

A atividade desenvolvida teve por objetivo avaliar a tecnologia PSINSAR para monitorização de infraestruturas, em vários casos de estudo, e detetar os aspetos que necessitam de I&D, de modo a permitir a integração desta informação em sistemas de monitorização geodésica. Neste âmbito prosseguiu a formação da BIIC do NGA, que deu origem a um Plano de Tese, aprovado pelo Conselho Científico do LNEC em 2016 (LNEC, Rel. 344/2016), à sua passagem a BD e ao início dos estudos conducentes a uma tese de doutoramento no IST, sob orientação da Professora Ana Paula Falcão, que integra a equipa do projeto.

Descreve-se de seguida, sumariamente, a atividade realizada em cada tarefa.

- **Atividade 1 - Criação de catálogos de imagens para cada caso de estudo e adaptação ao software proprietário e *open source* de processamento de imagens SAR para aplicações de interferometria.**

As tarefas T1.1 a T1.6 realizaram-se nos dois primeiros anos; no âmbito da tarefa T1.7 foi desenvolvido software descrito no parágrafo relativo à atividade 3; a tarefa T1.8, que contou com a colaboração do CIC do LNEC, tinha por objetivo a instalação no *campus* do LNEC de um conjunto de três refletores para o sinal dos satélites Sentinel 1A e 1B da ESA, e foi concluída em outubro de 2017. Atualmente, os refletores estão a ser monitorizados através de nivelamento e, num dos casos, com o sistema global de navegação por satélites (*global navigation satellite system* – GNSS) e com as imagens SAR, nas quais aparecem como difusores persistentes (*persistent scatterers* – PS), que estão a ser compiladas e processadas. Estes refletores têm um mecanismo para introdução de deslocamentos conhecidos de modo a permitir a modelação da incerteza associada.

- **Atividade 2 - Caso de Estudo 1- Barragens de betão e aterro**

O projeto tem como casos de estudo várias barragens de betão e de aterro, assim como as respetivas áreas envolventes das albufeiras. As barragens de betão consideradas são a barragem do Baixo Sabor e a de Foz Tua, da EDP. Dado que a construção destas barragens é recente, ainda está a ser realizada a recolha de imagens SAR dos satélites Sentinel-1A/B da ESA, captadas na região de interesse desde o início do primeiro enchimento das albufeiras.

As tarefas T2.1 e T2.2 foram realizadas para um pequeno conjunto de imagens para Foz Tua, mas as dificuldades encontradas na estimativa do efeito atmosférico indicam que será necessário processar maiores séries temporais de imagens (em compilação). Foi submetido um projeto à agência espacial japonesa (JAXA) a solicitar acesso gratuito a imagens SAR do sensor PALSAR-2 a bordo do satélite ALOS-2 para estas áreas de estudo, o qual foi aprovado. No entanto, a aquisição de imagens pelo sensor não tem sido efetuada regularmente, o que constitui um sério entrave à sua utilização para estudos com técnicas de InSAR. Por esta razão, prevê-se que o estudo seja realizado com as imagens do satélite Sentinel-1A/B da ESA.

Um dos casos de estudo de barragens de aterro é a barragem de Odelouca, das Águas do Algarve. O projeto aprovado pela JAXA contemplava um conjunto de imagens do sensor ALOS-1/PALSAR-1, ao qual a equipa teve acesso. Foram efetuados dois processamentos InSAR (tarefas T2.1 e T2.2) para este conjunto de imagens. No primeiro foram consideradas imagens adquiridas antes e depois da

construção da barragem, com o objetivo de identificar alterações na envolvente durante o primeiro enchimento da albufeira. No segundo, foram consideradas apenas imagens posteriores à construção da estrutura a fim de avaliar os deslocamentos observados na barragem. Os resultados obtidos necessitam de ser melhorados com trabalho futuro.

Os restantes casos de estudo de barragens de aterro são onze barragens da EDIA: Loureiro, Álamos I, II e III, Amoreira, Serpa, Laje, Ferreira, Penedrão, Cinco Reis e Brinches. A ESA forneceu gratuitamente imagens do sensor ASAR do satélite ENVISAT. Foram efetuadas as tarefas T2.1, T2.2 e T2.3 para todas as barragens. A tarefa T2.7 foi realizada apenas para a barragem Álamos I, uma vez que esta foi a única barragem para a qual foram disponibilizados dados *in situ* para efetuar a validação (fornecidos pelo dono de obra). Parte do trabalho desenvolvido foi apresentado em duas conferências (Roque *et al.* 2015a; Roque *et al.*, 2015b).

As tarefas T2.5 e T2.6 (utilização integrada de imagens adquirida em passagens ascendentes e descendentes do satélite) não foram realizadas para nenhuma das barragens de aterro, uma vez que não existem conjuntos de imagens com geometrias de aquisição diferentes, para estas áreas de estudo, que permitam efetuar estas tarefas. Estas poderão vir a ser realizadas para as barragens de Baixo Sabor e Foz Tua em trabalho futuro. A realização da tarefa T2.4 foi adiada para data posterior, dado que a equipa decidiu que, nesta fase do projeto, seria mais importante testar os refletos, em condições cuidadosamente controladas, no *campus* do LNEC.

- **Atividade 3 - Caso de Estudo 2 - Lisboa: Baixa de Lisboa e CREL**

No âmbito desta atividade, foram exploradas imagens de vários satélites, nomeadamente Envisat, da agência espacial europeia (ESA) (2008 a 2010) (Roque *et al.*, 2014, Roque *et al.*, 2015a; Roque *et al.*, 2015c; Roque *et al.*, 2015d; Roque *et al.*, 2016a), TerraSar-X (2011 a 2013) da agência espacial alemã (DLR), no âmbito de um projeto submetido à DLR para obtenção de imagens sem custos (Roque *et al.*, 2016b) e COSMO-SkyMed (2011 a 2015) da agência espacial italiana (ASI) também no âmbito de um projeto submetido à agência para acesso gratuito a imagens. As imagens foram utilizadas para a determinação de deslocamentos numa escala regional, na cidade de Lisboa e em zonas de municípios vizinhos, com maior destaque para a Baixa de Lisboa e para a circular regional exterior de Lisboa (CREL). Foram testadas diferentes técnicas multitemporais de InSAR, nomeadamente *persistent scatterer interferometry*, *small baseline subsets* e *Stanford method for persistent scatterers*.

Foi estabelecida uma colaboração com a *École Supérieure des Géomètres et Topographes*, de Le Mans, França, onde a BIIC associada a este projeto realizou um estágio de cinco semanas a fim de se familiarizar com a utilização de dados GNSS para estimar efeitos atmosféricos e removê-los dos dados InSAR (Roque *et al.*, 2015d; Roque *et al.*, 2016a).

No âmbito desta atividade, tem estado a ser desenvolvida, no *software* de estatística R, uma aplicação para analisar as séries temporais de deslocamentos obtidas pelo processamento InSAR. A aplicação está a ser utilizada para analisar os resultados referentes à CREL e pretende-se aplicá-la aos resultados da Baixa, em trabalho futuro.

As tarefas T3.1, T3.2 e T3.3 já foram iniciadas tanto para a Baixa como para a CREL, estando atualmente a ser melhoradas no que diz respeito à estimativa e remoção do efeito atmosférico. A tarefa T3.4 foi realizada apenas para os resultados obtidos numa fase inicial para a Baixa, através da comparação dos deslocamentos observados com InSAR com os deslocamentos verticais obtidos no nivelamento realizado pelo NGA na Praça do Comércio. Quanto à CREL, foram solicitados dados *in situ* à BRISA, mas os dados disponibilizados pela empresa não foram recolhidos durante o intervalo de tempo de aquisição das imagens SAR, não tendo sido possível, por isso, realizar esta tarefa.

- **Atividade 4 - Caso de Estudo 3 - Estruturas: Molhe da Ericeira e Minas na Polónia**

A Atividade 4 considera três casos de estudo: o quebramar da Ericeira, o pavilhão Altice Arena e minas na Polónia.

O quebramar da Ericeira foi estudado com um conjunto de imagens COSMO-SkyMed adquiridas entre 2011 e 2015, fornecidas gratuitamente pela ASI. Foi construído um mapa de deslocamentos para vários pontos da estrutura correspondentes a PS (*persistent scatterers*). Esse mapa foi complementado com um mapa de coerência espacial (coeficiente de correlação entre imagens), que permitiu a identificação das zonas da estrutura onde ocorreram alterações durante o intervalo de tempo considerado e que poderão estar mais fragilizadas. Foram utilizadas matrizes de alterações de amplitude do sinal para identificar as épocas em que ocorreram as alterações. Os resultados foram validados através da comparação dos mapas obtidos por InSAR com um mapa de alterações construído através de *laser scanning*, fornecido pela empresa WW – Consultores de Hidráulica e Obras Marítimas, S.A. (Roque *et al.*, 2017a).

O pavilhão Altice Arena foi estudado através de imagens ENVISAT ASAR da ESA, TerraSAR-X da DLR e COSMO-SkyMed da ASI, em diferentes intervalos de tempo. Foram avaliados os deslocamentos em *persistent scatterers* localizados no telhado metálico da estrutura, tendo estes sido comparados com os deslocamentos tridimensionais observados pelo NGA na estrutura interior do edifício através de taqueometria (Roque *et al.*, 2015a; Roque *et al.*, 2015c; Henriques *et al.*, 2017b). Dado que foi verificado que o comportamento da estrutura de madeira lamelada é transmitido ao telhado metálico, foi desenvolvido um método para isolar apenas os deslocamentos do telhado através da combinação dos dados InSAR com os dos métodos clássicos da geodesia (Roque *et al.*, 2016c).

Para o quebramar da Ericeira e para o pavilhão Altice Arena todas as tarefas previstas foram cumpridas, tendo os resultados sido bastante satisfatórios. O estudo referente às minas da Polónia ainda não foi iniciado, tendo sido apenas reunidas as imagens SAR existentes para a área de estudo (imagens ENVISAT ASAR fornecidas pela ESA).

- **Atividade 5 - Caso de Estudo 4 - Geodinâmica do lago Urema na Gorongosa (Moçambique) e vulcão do Fogo (Cabo Verde)**

O projeto inclui dois casos de estudo relacionados com geodinâmica: o lago Urema na Gorongosa, Moçambique, localizado no extremo de um *rift*, e o vulcão da ilha do Fogo, em Cabo Verde.

A zona envolvente do lago Urema foi estudada através de um conjunto de imagens ALOS-2/PALSAR-2 fornecidas gratuitamente pela JAXA ao IST. Foram construídos vários interferogramas para a região de interesse. A aplicação de técnicas multitemporais de InSAR, como *persistent scatterers interferometry*, foi efetuada, mas não obteve sucesso devido a dificuldades na estimativa e remoção do efeito atmosférico. A validação dos resultados obtidos não foi realizada devido à impossibilidade de recolher dados *in situ* na região de interesse. Foram recentemente obtidas mais imagens e o estudo está em curso.

O estudo da erupção de novembro de 2014 no vulcão da ilha do Fogo, em Cabo Verde, está a ser realizado com imagens COSMO-SkyMed fornecidas pela ASI ao IST. Foram construídos vários interferogramas através das imagens e atualmente está a ser efetuada a aplicação da técnica *persistent scatterers interferometry*.

- **Atividade 6 - Caso de Estudo 5 - Encostas das novas barragens**

A atividade 6 está a ser realizada simultaneamente com a atividade 2, em cuja secção já foram descritas as tarefas efetuadas.

- **Atividades adicionais**

Apesar de não estar previsto no plano inicial, a ocorrência de sismos na ilha Brava, em Cabo Verde, no início de agosto de 2016, levou à construção de vários interferogramas a partir das novas imagens do satélite Sentinel-1A, disponibilizadas gratuitamente pela agência espacial europeia, não tendo sido detetados deslocamentos InSAR resultantes da atividade sísmica.

## **2.2 Apreciação da atividade desenvolvida e proposta de alteração do plano para 2018-2020**

A atividade desenvolvida decorreu, no essencial, dentro do âmbito previsto para o projeto. Em 2016 foram propostas e aprovadas pequenas alterações ao projeto, mantendo-se no essencial a sua estrutura e designação das atividades. No que diz respeito aos “Resultados expectáveis” da ficha de projeto, foram realizadas todas as atividades previstas. Dado que as tarefas têm como objetivo a monitorização de infraestruturas, cuja fiabilidade aumenta com a dimensão das séries multitemporais de imagens, as atividades prosseguem com foco nos casos de estudo da tese de doutoramento em curso. Apresentam-se no Quadro 4.1 indicadores de desempenho do projeto.

Propõe-se, assim, a continuidade do projeto até ao fim do P2I 2013-2020 do LNEC, para finalizar estudos em curso, com ações concretas que se propõem em seguida:

- continuação da monitorização dos refletores instalados no campus do LNEC, para validação dos deslocamentos observados com InSAR e modelação da incerteza;
- continuação dos estudos referentes à CREL, Baixa de Lisboa, às barragens e respetivas encostas, que constituem casos de estudo da tese de doutoramento em curso;
- continuação do acompanhamento do comportamento da cobertura exterior do pavilhão Altice Arena;

- continuação da colaboração na monitorização com InSAR do vulcão do Fogo em Cabo Verde.

Propõe-se assim a reformulação do projeto, conforme Figura 2.2.

				2018	2019
	Designação da Atividade	Tarefa	Designação da Tarefa		
Atividade 1	Processamento e modelação da incerteza dos deslocamentos obtidos na infraestrutura de refletores instalados no campus do LNEC	T1.1	Processamento de imagens SAR		
		T1.2	Processamento dos dados da monitorização in-situ: nivelamento geomérico e GNSS		
		T1.3	Validação: comparação de deslocamentos obtidos prlas várias técnicas		
Atividade 2	Caso de estudo 1: Barragens de betão e aterro e respeticas encostas	T2.1	Processamento de pilhas de imagens SAR para geração de interferogramas		
		T2.2	Processamento de pilhas de interferogramas para identificação de difusores permanentes (DP)		
		T2.3	Determinação de deslocamento ao longo da linha de vista do satélite e sua velocidade nos DP.		
		T2.4	Combinação de passagens ascendentes e descendentes do satélite para determinação de deslocamentos 3D		
		T2.5	Validação - Cruzamento com dados in-situ		
Atividade 3	Caso de Estudo 2 - Lisboa: Baixa de Lisboa e CREL	T3.1	Processamento de pilhas de imagens SAR para geração de interferogramas		
		T3.2	Processamento de pilhas de interferogramas para identificação de difusores permanentes (DP)		
		T3.3	Determinação de deslocamento ao longo da linha de vista do satélite e sua velocidade nos DP.		
		T3.4	Validação - Cruzamento com dados in-situ		
Atividade 4	Caso de Estudo 3 - Monitorização do Pavilhão Altice Arena	T4.1	Processamento de pilhas de imagens SAR para geração de interferogramas		
		T4.2	Processamento de pilhas de interferogramas para identificação de difusores permanentes (DP)		
		T4.3	Determinação de deslocamento ao longo da linha de vista do satélite e sua velocidade nos DP.		
		T4.4	Validação - Cruzamento com dados in-situ		
Atividade 5	Caso de Estudo 4 - Geodinâmica do Vulcão do Fogo	T5.1	Processamento de pilhas de imagens SAR para geração de interferogramas		
		T5.2	Processamento de pilhas de interferogramas para identificação de difusores permanentes (DP)		
		T5.3	Determinação de deslocamento ao longo da linha de vista do satélite e sua velocidade nos DP.		
		T5.4	Validação - Cruzamento com dados in-situ		
Elaboração da dissertação de doutoramento					

Figura 2.2 – Proposta de revisão do plano de trabalhos

Propõe-se a alteração da equipa do projeto com a integração dos investigadores do NGA Maria João Henriques e José Nuno Lima, no âmbito de efetiva colaboração, entretanto iniciada.



## 3 | Divulgação de resultados

### 3.1 Publicações em revistas e congressos

Roque, D., A. Fonseca, M.J. Henriques, A. Falcão, 2014 – *A first approach for displacement analysis in Lisbon Downtown using PSInSAR*. *Procedia Technology*. Volume 16, 2014, Pages 288–293. *6th Conference on ENTERprise Information Systems – aligning technology, organizations and people*, CENTERIS 2014. DOI: 10.1016/j.protcy.2014.10.094.

Roque, D., D. Perissin, A.P. Falcão, M.J. Henriques, A. Fonseca, 2015a – Monitorização de estruturas com interferometria SAR. Atas da Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia, Lisboa, outubro.

Roque, D., D. Perissin, A.P. Falcão, A. Fonseca, M.J. Henriques, 2015b – *Dam regional safety warning using time-series InSAR techniques*. *2nd Dam World Conference*, Lisboa, LNEC, abril.

Roque, D., D. Perissin, A. P. Falcão, A. Fonseca, M.J. Henriques, 2015c – *Monitoring Structure and Regional-level Displacements for Lisbon Using Multi-temporal InSAR Techniques*. FRINGE 2015 – *Advances in the Science and Applications of SAR Interferometry and Sentinel-1 InSAR Workshop*. Frascati, Roma, março.

Roque, D., E. Simonetto, A.P. Falcão, F. Durand, L. Morel, A. Fonseca, L. Polidori, 2015d – *Displacement measurement for Lisbon, Portugal, using combined InSAR and GNSS data*. Poster apresentado no Workshop ForM@Ter MDIS (*Deformation Measurement by Space Imagery*), em Autrans, França. outubro.

Roque, D., E. Simonetto, A.P. Falcão, D. Perissin, F. Durand, L. Morel, A. Fonseca, L. Polidori 2016a - *An analysis of displacement measurements for Lisbon, Portugal, using combined InSAR and GNSS data*. Atas do *ESA Living Planet Symposium 2016*, Praga, República Checa, maio.

Roque, D., D. Perissin, A.P. Falcão, R. Gomes, A. Roque, A.M. Fonseca, 2016b – *Displacement measurement using SAR interferometry – An application to the Lisbon Regional Outer Circular and its neighbourhood*. Atas da Conferência Internacional sobre Riscos Urbanos (ICUR 2016), Lisboa, julho.

Roque, D., M.J. Henriques, D. Perissin, A.P. Falcão, A.M. Fonseca, 2016c - *Combined InSAR and geodetic measurements for displacement analysis at the metallic roof of MEO Arena building, Portugal*. *Procedia Computer Science*, Vol. 100, pp. 1115-1120.. doi: 10.1016/j.procs.2016.09.260.

Roque, D., D. Perissin, A.P. Falcão, N. Marujo, M.J. Henriques, J.V. Lemos, A. Fonseca 2017a; - *Evaluation of breakwater damages from multitemporal InSAR techniques*. Livro de resumos do FRINGE 2017 Workshop – *Advances in the science and applications of SAR interferometry and Sentinel-1 InSAR*, Helsínquia, Finlândia, junho.

Henriques, M.J., D. Roque, H. Cruz, A. Fonseca 2017b - *Monitoring the behavior of MEO Arena roof*. Atas da *7th International Conference on Engineering Surveying*, LNEC, Lisboa, outubro.

## **3.2 Teses de doutoramento**

Está em curso uma tese de doutoramento, tendo sido publicado o respetivo Plano de Tese:

Roque, D., A.M. Fonseca, A.P. Falcão, J. Vieira de Lemos - Medição de deslocamentos com geodesia InSAR para o controlo de segurança de estruturas. Plano de Tese. Relatório 344/2016.

## 4 | Indicadores de desempenho, recursos mobilizados e financiamento

### 4.1 Indicadores de desempenho

No Quadro 4.1 apresentam-se os indicadores de desempenho do projeto, os seus valores totais previstos na ficha inicial e os já realizados em 2014-2017.

Quadro 4.1 – Indicadores de desempenho

Indicadores	Realizado em 2014-2017 (4 anos)	Total previsto no projeto (4 anos)
Artigos em revista internacional	0	3
Artigos em revista nacional	0	1
Comunicações em congresso	10	8
Teses de mestrado	0	1
Teses de doutoramento	(em curso)	1

### 4.2 Recursos mobilizados

No Quadro 4.2 apresentam-se os recursos humanos do LNEC afetados ao projeto, os meses de trabalho previstos e efetivamente dedicados em 2015-2017 e o total previsto na ficha de projeto.

Quadro 4.2 – Afetação de recursos humanos do LNEC

Equipa do LNEC	Categoria	Meses de trabalho	
		Realizado em 2015-2017 (3 anos)*	Total previsto no projeto (4 anos)
Ana Fonseca	Investigadora Principal	4,8	9,6
Dora Roque	BIIC/BD	26,6	36

\*dependente da data de aprovação do processo

### 4.3 Candidaturas a financiamento

Foram submetidos três projetos a Agências Espaciais (alemã, italiana e japonesa), para acesso gratuito ao conjunto de imagens de satélite necessário para os casos de estudo previstos, tendo sido todos aprovados e as imagens obtidas sem custos (com um valor comercial de 233.000,00€). Foi submetida à FCT uma proposta de financiamento da bolsa de doutoramento da BD do LNEC, que desenvolve atividade de I&D no âmbito deste projeto, que foi aprovada.

Foi também submetido, em parceria com o IST, a financiamento da FCT, para cofinanciamento deste projeto, a proposta de projeto PTDC/ECMEST/4047/2014 «SlopeSAR – Desenvolvimento de um sistema de monitorização de barragens de aterro, taludes e encostas com base em técnicas avançadas de interferometria radar». Esta candidatura não obteve financiamento, mas está em reformulação para futura candidatura, num âmbito mais alargado, focada na deteção de vulnerabilidades em infraestruturas e no território, utilizando técnicas de interferometria RADAR;

### 4.4 Aplicação a estudos por contrato

Este projeto, pelo facto de ser uma linha de I&D recente no LNEC, ainda não apoia estudos por contrato. A modelação da incerteza dos deslocamentos obtidos com esta tecnologia é um fator crítico para a operacionalização da integração destes dados nos sistemas de monitorização geodésica de infraestruturas. A infraestrutura de refletores instalados no campus do LNEC e os casos de estudos em que o NGA adquire dados *in-situ*, vão dar uma contribuição importante para esta modelação.

## 5 | Considerações finais

O projeto INFRASAR decorreu de forma adequada, tendo sido concluído o período de 48 meses previstos para a sua duração. Este projeto corresponde a uma linha nova de I&D no âmbito da Detecção Remota, referente à exploração da tecnologia de interferometria RADAR para a monitorização de infraestruturas, tendo sido obtidos resultados relevantes nas monitorizações realizadas, nomeadamente em barragens de aterro, na Baixa de Lisboa, no pavilhão Altice Arena, na CREL e no molhe da Ericeira. Neste momento está prevista a submissão, em 2018, de dois artigos em revista, referentes ao trabalho realizado nos casos de estudo do molhe da Ericeira e da CREL. Nos próximos dois anos, estando disponíveis séries multitemporais adequadas, será feito ênfase no processamento das imagens referentes às barragens e suas encostas.

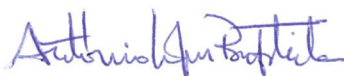
Propõe-se a continuação do projeto por mais dois anos, até ao fim do P2I 2013-2020 do LNEC.

Lisboa, LNEC, abril de 2018

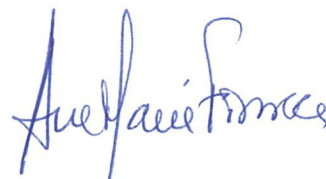
VISTO

AUTORIA

O Diretor do Departamento de Barragens de  
Betão



António Lopes Batista



Ana Fonseca

Investigadora Principal

Chefe do Núcleo de Geodesia Aplicada



Dora Roque

Bolseira de Doutoramento

