



LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL

# **IMENGINE – IMAGENS NUMÉRICAS: APLICAÇÕES À ENGENHARIA**

**Relatório de avaliação final do projeto do P2I/LNEC 2013-2020**





LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL

# **IMENGINE – IMAGENS NUMÉRICAS: APLICAÇÕES À ENGENHARIA**

**Relatório de avaliação final do projeto do P2I/LNEC 2013-2020**

Lisboa • dezembro 2023

**I&D BARRAGENS DE BETÃO**

**RELATÓRIO 409/2023 – DBB/NGA**

## **Título**

### **IMENGINE – IMAGENS NUMÉRICAS: APLICAÇÕES À ENGENHARIA**

Relatório de avaliação final do projeto do P2I/LNEC 2013-2020

## **Autoria**

DEPARTAMENTO DE BARRAGENS DE BETÃO

### **Ana Fonseca**

Investigadora Principal do LNEC (Aposentada)

### **Maria João Henriques**

Investigadora Principal, Chefe do Núcleo de Geodesia Aplicada

### **Dora Roque**

Investigadora Auxiliar, 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 409/2023

Proc. 0404/1102/19718

## IMENGINE – IMAGENS NUMÉRICAS: APLICAÇÕES À ENGENHARIA

Relatório de avaliação final do projeto do P2I/LNEC 2013-2020

### Resumo

---

Neste relatório apresenta-se, de forma sucinta, a atividade de investigação realizada no âmbito do projeto ImEngine no período 2014-2023. Os resultados da atividade são analisados e avaliados, em face dos objetivos inicialmente previstos.

Palavras-chave: ImEngine / Imagem numérica / Processamento digital de imagens / Reconhecimento de padrões / Detecção de alterações / IVisA / Inspeção visual / *Drone*

## IMENGINE – DIGITAL IMAGES: ENGINEERING APPLICATIONS

Final evaluation report of the P2I/LNEC project 2013-2020

### Abstract

---

A concise description is presented of the research activities undertaken in the ImEngine project during 2014-2023. The results are analyzed and assessed, considering the initial goals of the project.

Keywords: ImEngine / Digital images / Digital image processing / Pattern recognition / Change detection / Assisted visual inspection / Drone



## Índice

1	Introdução .....	1
2	Atividade desenvolvida.....	2
3	Divulgação de resultados .....	6
3.1	Aspetos gerais .....	6
3.2	Publicações em revistas e congressos.....	6
3.2.1	Artigos em revistas internacionais .....	6
3.2.2	Comunicações a congressos.....	7
3.3	Dissertações de mestrado .....	11
3.4	Relatórios do LNEC .....	11
4	Indicadores de desempenho, recursos mobilizados e financiamento .....	12
4.1	Indicadores de desempenho.....	12
4.2	Recursos mobilizados .....	12
4.3	Candidaturas a financiamento .....	13
4.4	Aplicação a atividade por contrato.....	14
5	Considerações finais .....	16
	ANEXOS.....	19
	ANEXO I Ficha inicial do projeto .....	21
	ANEXO II Ajustes intercalares do projeto .....	29

## Índice de quadros

Quadro 2.1 – Atividades realizadas (2018-2023).....	2
Quadro 4.1 – Indicadores de desempenho .....	12
Quadro 4.2 – Afetação de recursos humanos do LNEC .....	13



## 1 | Introdução

O projeto de investigação ImEngine (Imagens Numéricas: Aplicações à Engenharia) teve início em 01/01/2014. Havia uma previsão de duração de quatro anos (Anexo I) mas veio a ser estendido mais alguns anos. O projeto foi 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 E1 (Património Construído) e na temática T2 (Novas Tecnologias).

No âmbito da atividade do LabImagem (Laboratório de processamento digital de imagens) do Núcleo de Geodesia Aplicada (NGA) do Departamento de Barragens de Betão (DBB), o projeto propôs a utilização de metodologias de análise quantitativa para extração de informação de imagens de diferentes tipologias. No início do ImEngine foi proposto que fossem desenvolvidas três atividades: i) Desenvolvimento de algoritmos de processamento de imagens (PDI) para otimizar e adaptar processos de PDI a imagens específicas (fotografias para IVIS, vídeo); ii) Automatização do correção geométrica de imagens por autocorrelação. Adaptação a diferentes tipologias de imagens; iii) Automatização da repetibilidade do processo de reconhecimento de padrões a imagens com propriedades diferentes. Em 2018, a reformulação do projeto deu origem a atividades diferentes, em número de quatro, mas sempre ligadas a imagens: i) *ImEngine-Processing*: desenvolvimento de algoritmos de processamento de imagens; ii) *ImEngine-Sat*: referente à exploração de imagens de satélite óticas e de RADAR; iii) *ImEngine-Drones*: relativo à exploração de imagens obtidas com veículos aéreos não tripulados (VANT, usualmente designados *drones*); iv) *ImEngine-Slopes*: referente à monitorização de encostas e obras geotécnicas. Estes subprojetos têm sido desenvolvidos em sinergia com instituições de I&D e setores do LNEC. O projeto utiliza os recursos do LabImagem do NGA, no que diz respeito a computadores e software comercial (PCI-Geomatica®, Agisoft Metashape®, eCognition®, Image Processing Toolbox® do MATLAB®), *open source* (SNAP-ESA, QGIS, MicMac, CloudCompare, Meshlab, Orfeo toolbox) e recursos disponíveis na rede do LNEC como os softwares ArcGIS® e Autocad®.

A equipa de investigação do LNEC foi formada inicialmente pela IP Ana Maria Fonseca (Investigadora Responsável), pela IP Maria João Henriques e pela BD Dora Roque, do NGA do DBB, e estava contemplado o recrutamento de um bolseiro. Em fevereiro de 2016, por solicitação do Conselho Diretivo (CD) do LNEC, foi produzido um relatório de progresso, informal e sintético, que foi submetido ao CD pela informação nº 85, de 29 de fevereiro de 2016, na qual se propunha a continuação do projeto com pequenas alterações. A informação foi despachada favoravelmente, em abril de 2016, e, no seguimento da reformulação, integraram a equipa o IP José Muralha, do Núcleo de Modelação e Mecânica das Rochas (NMMR) do DBB, e o IC João Mimoso, do Departamento de Materiais (DM), o primeiro no seguimento de efetiva colaboração no projeto, entretanto iniciada, no âmbito da aplicação destas tecnologias na monitorização das encostas da barragem de Foz Tua e o segundo na caracterização de patologias em painéis de azulejos. Foi objeto de um relatório de progresso intercalar (LNEC; 2018) que propôs a reformulação do plano de atividades e a sua extensão (Anexo II).

Neste relatório apresenta-se uma apreciação final do projeto, com a conclusão do P2I 2013-2020 do LNEC.

## 2 | Atividade desenvolvida

O projeto ImEngine envolve quatro atividades, as indicadas no Quadro 2.1, no período de 2018 a 2023. No relatório de progresso deste projeto (LNEC; 2018) foi incluída um quadro equivalente, relativo ao período inicial (2014 a 2017).

Quadro 2.1 – Atividades realizadas (2018-2023)

Atividade	Designação da Atividade	Tarefa	Designação da Tarefa	2018	2019	2020	2021	2022	2023
1	Processing	T1.1	Otimização do processo de reconhecimento de padrões em imagens						
		T1.2	Otimização do processo de deteção de alterações em séries multitemporais de imagens						
		T1.3	Adaptação dos processos desenvolvidos em T1.1 e T1.3 a imagens de diferentes tipologias						
		T1.4	Automatização dos processos desenvolvidos em T.1.1 e T1.2						
2	Sat	T2.1	Colaboração na Avaliação da plataforma Co-Resyf						
		T2.2	Desenvolvimento de métodos de delimitação de manchas de cheia no território						
3	Drones	T3.1	Otimização de procedimentos para levantamentos do território						
		T3.2	Otimização de procedimentos para levantamentos em estruturas verticais						
4	Slopes	T4.1	Elaboração de procedimentos para aquisição de imagens video de modo a minimizar a incerteza						
		T4.2	Montagem do workflow de monitorização e extração de informação						
		T4.3	Automatização do workflow desenvolvido em T4.2						

Na reformulação realizada em 2018 foi prevista atividade nos quatro subprojectos indicados: *ImEngine-Processing*, *ImEngine-Sat*, *ImEngine-Drones* e *ImEngine-Slopes*.

Nesta reformulação de 2018, a atividade 1 está relacionada com a componente de desenvolvimento de estratégias e implementação de algoritmos de reconhecimento de padrões e deteção de alterações em imagens de diferentes tipologias, apoiando as atividades 2 a 4 e eventuais solicitações externas. As atividades 2, 3 e 4 correspondem a subprojetos que se autonomizaram e no âmbito dos quais se esperavam desenvolvimentos.

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

- **Atividade 1 - ImEngine-Processing** (algoritmos, reconhecimento de padrões, deteção de alterações, autocorrelação de imagens).

A análise quantitativa de imagens utiliza ferramentas matemáticas para extrair informação de imagens adquiridas por sensores diversos. Esta atividade teve por objetivo otimizar os processos de aquisição e análise de imagens para diferentes tipologias de imagens, tais como imagens de satélite,

imagens adquiridas por câmaras terrestres e por plataformas aéreas não tripuladas (*drones*). Neste âmbito foram dadas contribuições para a elaboração de recomendações para os procedimentos de aquisição de imagens para IVisA (de Inspecção Visual Assistida), que permitam reduzir fontes de incerteza: posicionamento das câmaras terrestres, condições de iluminação, especificações para o levantamento fotográfico com *drones*, especificações para a georreferenciação das imagens e para o controlo de qualidade, etc.. Esta atividade teve mais desenvolvimento na fase inicial do projeto, relatada em detalhe no relatório de progresso de 2018 (LNEC; 2018). No período em que decorreu o projeto foram publicadas um total de 15 comunicações.

Depois de 2018 os desenvolvimentos foram pontuais, sendo de salientar a realização de um teste para mapeamento da fendilhação difusa através de fotografia e processamento digital de imagem, realizado no açude-ponte de Coimbra (LNEC; 2023). Está ainda a decorrer um trabalho de mestrado de um aluno da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (FCT/UNL), com o tema “Caracterização da fendilhação difusa em barragens afetadas por reações expansivas de origem interna do betão, usando o método LPC47 com apoio de fotografia digital”. Para além do ImEngine, a dissertação está também enquadrada no projeto “DamSwelling – Modelação do comportamento estrutural de barragens de betão afetadas por reações expansivas”, do DBB.

- **Atividade 2 – ImEngine-Sat**

A tarefa T2.1 foi cofinanciada pelo projeto H2020 Co-REsyF, que tinha por objetivo a implementação de uma infraestrutura dedicada de acesso e processamento de dados de Observação da Terra (OT), com ferramentas, métodos e padrões automatizados para apoiar aplicações de I&D de monitorização de Águas Costeiras. O principal objetivo era facilitar o acesso a dados de OT e ferramentas de pré-processamento para a comunidade de investigação. A tarefa T2.1, de avaliação da plataforma foi concluída, tendo-se verificado que, apesar do LNEC ter terminado com êxito a sua tarefa no projeto, que passava pela disponibilização e carregamento na plataforma de uma aplicação para determinação de batimetria à custa de imagens de RADAR, o objetivo do projeto não foi completamente atingido, como se pôde verificar, através de uma pesquisa na internet, que resultou na verificação da indisponibilidade da plataforma.

A tarefa T2.2 foi cofinanciada pelo projeto FCT To-SEAlert, que tinha por objetivo o desenvolvimento, implementação e validação de um conjunto de metodologias e ferramentas para construção de um sistema de previsão e alerta, planeamento e gestão do risco de situações de galgamento e cheias em zonas costeiras e portuárias. A tarefa T2.2, que concretiza a Tarefa 1 do projeto To-SEAlert, designada *Satellite Methodologies*, resultou na elaboração de um catálogo de imagens de satélite disponíveis na data da tempestade Hercules em 2014, na articulação do projeto com o Programa Europeu de Observação da Terra Copernicus, na elaboração de um estudo de *Change Detection* (alterações) numa zona de dunas a sul da Costa da Caparica e na realização de uma cartografia de ocupação do solo da zona do molhe da Ericeira.

No período em que decorreu o projeto foram publicadas um total de três comunicações.

- **Atividade 3 – ImEngine-Drones**

Esta atividade teve um grande desenvolvimento devido ao interesse que suscita na comunidade em geral, e muito particularmente ao LNEC já que tem demonstrado ser uma mais-valia para a atividade de alguns setores do LNEC, em especial para a inspeção de estruturas de engenharia. Foi cofinanciada pelos projetos Compete2020 Elevar, FCT MOSAIC, FCT BSafe4Sea e H2020 EOSC-Synergy.

As duas tarefas previstas, referentes à inspeção de estruturas horizontais e verticais, respetivamente, tiveram desenvolvimentos diferentes. Em resultado dos conhecimentos que foram sendo adquiridos no início do projeto, verificou-se que seria também possível realizar trabalhos de fotogrametria terrestre, já que, no campo, há regras de levantamento muito semelhantes e os procedimentos de gabinete são iguais. Daí que foi possível ampliar os domínios em que era possível dar resposta por se recorrer a fotogrametria terrestre.

A tarefa T3.1 teve desenvolvimentos importantes, decorrentes da experiência adquirida após a aquisição de um *drone* pelo LNEC, a qual ocorreu em 2017 (o segundo foi adquirido em 2021), e de software profissional de processamento de fotografias (Metashape®). Os levantamentos realizados contribuíram para um total de três artigos de divulgação, em revista, e 24 comunicações, estas maioritariamente relacionadas com levantamentos de quebra-mares. Em menor número, houve também comunicações ligadas à inspeção visual. No caso de levantamentos de quebra-mares, foram realizados com quebra-mares reais (fotogrametria com *drone*) e com modelos construídos no Pavilhão de Hidráulica Marítima do DHA (fotogrametria terrestre).

A tarefa T3.2 beneficiou da experiência adquirida em T3.1, envolveu estudos relacionados com levantamentos de estruturas com importantes desenvolvimento vertical, como paramentos de barragens, paredes de edifícios, estruturas metálicas, etc.. Nesta tarefa foram elaboradas um total de nove comunicações.

Refere-se que alguns levantamentos realizados com *drone* resultaram em comunicações da atividade 1, já que as fotografias obtidas foram alvo de processamentos digital de imagem, sendo esta última atividade o fulcro das comunicações de apresentação de resultados.

- **Atividade 4 – ImEngine-Slopes**

Esta atividade é referente à monitorização de encostas e obras geotécnicas. Os desenvolvimentos realizados nesta atividade tiveram aplicação na monitorização das encostas da barragem de Foz Tua, durante a fase de construção desta barragem, tendo resultado o desenvolvimento de software destinado a efetuar automaticamente o co-registo de fotografias e dando origem a uma comunicação. O software desenvolvido para esta finalidade foi alvo de sucessivas melhorias ao longo do projeto, tendo em vista a sua adaptação para aplicações de outros departamentos do LNEC, nomeadamente o DM e o DHA. Os conhecimentos obtidos revelaram-se importantes para que o NGA possa prestar serviços recorrendo à metodologia desenvolvida.

## **Organização de eventos científicos**

Em outubro de 2022 decorreu no LNEC a conferência INGENO2017 - 7<sup>th</sup> International Conference on Engineering Surveying, com organização conjunta do LNEC e da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade de Bratislava. Esta conferência foi enquadrada no âmbito do projeto.

## **Organização de cursos**

Em outubro de 2022 decorreu no LNEC o Curso de Introdução ao Processamento Digital de Imagens, destinado a investigadores e técnicos do LNEC cujo trabalho envolvesse o processamento de imagens. Este curso, presencial, foi ministrado pela IA Dora Roque.

## **Divulgação de resultados**

A divulgação de resultados foi realizada quer pela apresentação das comunicações nos eventos associados (os indicados na lista de comunicações, apresentada na próxima secção), quer pelo convite ao palestrante indicado:

Henriques, M.J., 2021 - Fotogrametría, drones y procesamiento de imágenes, aplicados al monitoreo de estructuras de obras civiles. (Web-)Meeting “2<sup>a</sup> Jornada Nacional de Docentes de Mediciones Especiales 2021” organizada pela Federación Argentina de Agrimensura.

Henriques, M.J., 2021 – Utilização de fotogrametria, laserscanning e deteção remota. Webinar COREAP Conservação e reabilitação de edifícios de valor patrimonial com estrutura de betão armado.

Henriques, M.J., 2018 – Photographs and UAV. Our second gold key in civil engineering monitoring. Oradora convidada do International Symposium GeoPreVi 2018.

Henriques, M.J., 2016 – Aplicações em Engenharia. Oradora convidada no workshop Demonstração e Treino com Dados Obtidos por UAV.

## **Apreciação da atividade desenvolvida**

A atividade desenvolvida decorreu, no essencial, dentro do âmbito previsto para o projeto. No que diz respeito aos “Resultados expeáveis” da ficha de projeto, foram realizadas todas as atividades previstas, embora com desenvolvimentos diferentes quer relativamente às atividades estabelecidas inicialmente quer à que surgiu após a atualização do projeto, ocorrida em 2018. Houve atividade redatorial muito expressiva, principalmente quanto a comunicações e dissertações de mestrado. O Quadro 4.1 apresenta os indicadores de desempenho do projeto.

## 3 | Divulgação de resultados

### 3.1 Aspetos gerais

Nesta secção indicam-se os trabalhos produzidos (artigos em revista, comunicações e relatórios LNEC) classificados de acordo com a temática das quatro atividades do projeto. Nalguns casos, as publicações poderiam ser classificadas em duas atividades (a situação mais frequentemente são a de levantamentos A3-drone com A1-processing) sendo que se optou pela atividade considerada mais relevante ou inovadora.

### 3.2 Publicações em revistas e congressos

#### 3.2.1 Artigos em revistas internacionais

- A3 - Fortes, C.J.E.M.; Capitão, R.; Henriques, M.J.; Lemos, R.; Neves, M.G.; Reis, M.T.L.G.V.; Silva, L.G., 2019 – Observação e monitorização de obras marítimas com a nova metodologia OSOM+. Revista Mundi Vol. 4, N.º 2, Instituto Federal do Paraná (ed.).  
<http://dx.doi.org/10.21575/25254782rmetg2019vol4n2761>.
- A3 - Lemos, R.; Capitão, R.; Fortes, C.J.E.M.; Henriques, M.J.; Silva, L.G.; Martins, T., 2020 – A methodology for the evaluation of evolution and risk of breakwaters. Application to Portimão harbor and of Faro-Olhão inlet. Revista de Gestão Costeira Integrada, Volume 20, Issue 2, June 2020, Pag. 103-119, DOI: 10.5894/rgci-n298.
- A3 - Lemos, R.; Henriques, M.J.; Muralha, A.; Jónatas, R.; Fortes, C.J.E.M.; Capitão, R., 2018 – Using 3D modelling techniques for surveys in two-dimensional scale model tests of breakwaters. Slovak Journal of Civil Engineering. Vol. 26, N.º 2, Pág. 15-23. <https://doi.org/10.2478/sjce-2018-0009>.
- A2 - Araújo, A., Pestana, R., Matias, M., Roque, D., Trigo-Teixeira, A., Heleno, S., 2016 – Using simplified bathymetry and SAR imagery in the validation of a hydraulic model for the Tagus River floodplain. Journal of Coastal Research, 1, 75: 13 - 17. 2016. doi: 10.2112/SI75-003.1.
- A3 - Henriques, M.J., 2016 – Surveillance par drone des digues à talus. Revue XYZ, pp 23 – 27.
- A3 - Henriques, M.J., Fonseca, A., Roque, D., Lima, J.N., Marnoto, J., 2015 – Assessing the quality of an UAV-based orthomosaic and surface model of a breakwater. Coordinates Magazine. Junho.
- A2 - Roque, D., Afonso, N., Fonseca, A., Heleno, S., 2014 – OBIA Flood Delimitation Assisted by Threshold Determination with Principal Component Analysis. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 80, No 5. doi: 10.14358/PERS.80.6.000.

### 3.2.2 Comunicações a congressos

- A3 - Henriques, M.J.; Roque, D., 2022 – Planning UAV surveys: can we rely on wind forecasts?. 5th Joint International Symposium on Deformation Monitoring (JISDM 2022).
- A2 – Zózimo, A.C.; Fortes, C.J.E.M.; Santos, J.A.; Pinheiro, L.; Lemos, R.; Capitão, R.; Fonseca, A.; Roque, D.; Taborda, R.; Silva, A.; Serrazina, V.; Lutas Craveiro, J.; Reis, M.T.; Andriolo, U.; Ferreira, J.C.; Jóia Santos, C., 2022 – Projeto To-SEAlert. Desenvolvimentos recentes. 10<sup>as</sup>Jornadas de Engenharia Costeira e Portuária. Sines, 7 e 8 de abril.
- A2 – Fortes, J.; Zózimo, A.C.; Santos, J.A.; Pinheiro, L.; Lemos, R.; Capitão, R.; Reis, M.T.; Fonseca, A.; Roque, D.; Serrazina, V.; Barateiro, J.; Craveiro, J.; Andriolo, U.; Taborda, R.; Nobre Silva, A.; Ferreira, J.; Jóia Santos, C.; Duarte, C.; Lara, J, 2022 – To-SEAlert project. Wave overtopping and flooding in coastal and port areas: Tools for an early warning, emergency planning and risk management system. 16<sup>th</sup> International Conference Littoral22. Costa da Caparica, 12 – 16 de setembro.
- A2 – Zózimo, A.C.; Fortes, J.; Santos, J.A.; Pinheiro, L.; Lemos, R.; Capitão, R.; Fonseca, A.; Roque, D.; Taborda, R.; Nobre Silva, A.; Serrazina, V.; Craveiro, J.; Reis, M.T.; Andriolo, U.; Ferreira, J.; Jóia Santos, C.; Duarte, C., 2022 – To-SEAlert project. Main developments and results. 16th International Conference Littoral22. Costa da Caparica, 12 – 16 de setembro.
- A3 - Freire, P.; Fortunato, A.B.; Tavares, A.; Oliveira, A.; Santos, P.; Nahon, A.; Barros, J.; Rocha, M.; Oliveira, F.; Fortes, C.J.E.M.; Jesus, G.; Azevedo, A.; Oliveira, J.N.; Bortoli, A.; Rilo, A.; Rogeiro, J.; Martins, R.; Henriques, M.J., 2022 – Mosaic.pt flood risk framework to support management in coastal zones. 6<sup>a</sup> Conferência Morfodinâmica Estuarina e Costeira.
- A3 - Mendonça, A.C.; Fortes, C.J.E.M.; Neves, M.G.; Santos, J.A.; Capitão, R.; Pinheiro, L.; Lemos, R.; Andriolo, U.; Soares, F.; Henriques, M.J.; Reis, M.T.L.G.V., 2022 – Projeto BSAFE4SEA - Controlo da segurança de quebra-mares através da análise de um sistema de previsão e apoio à decisão - Metodologia e resultados. 9<sup>o</sup> Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia e VI Congresso de Engenharia de Moçambique.
- A3 - Henriques, M.J.; Pinto, T.; Andrade, J.; Dornellas, D.; Gonçalves, J.; Ribeiro, R.; Bernardino, A.; Santos-Victor, J.; Batista, A.L., 2019 – Projeto ELEVAR – Estudo localizado de estruturas verticais com aeronaves robotizadas. Uma contribuição para as inspeções visuais assistidas de obras de engenharia. TEST&E 2019 – 2<sup>nd</sup> Conference on Testing and Experimentations in Civil Engineering.
- A3 - Henriques, M.J.; Pinto, T.; Andrade, J.; Dornellas, D.; Gonçalves, J., 2019 – Project "ELEVAR" – Development of an UAV for autonomous photo surveys of surfaces. FIG Working Week 2019.
- A3 - Henriques, M.J.; Capitão, R.; Fortes, C.J.E.M., Silva, H.; Reis, M.T.L.G.V.; Lemos, R., 2019 – Photo surveys with drones. The improvement of OSOM+, the systematic monitoring of maritime works. JISDM 2019, the 4<sup>th</sup> Joint International Symposium on Deformation Monitoring.

- A3 - Capitão, R.; Lemos, R.; Fortes, C.J.E.M.; Henriques, M.J., 2019 – Recent advances in LNEC’s monitoring of maritime works in Portugal. TEST&E 2019 – 2<sup>nd</sup> Conference on Testing and Experimentations in Civil Engineering.
- A3 - Lemos, R.; Henriques, M.J.; Capitão, R.; Fortes, C.J.E.M., 2019. Three-dimensional surface models of breakwaters, obtained from drone surveys. From the prothotype to the laboratory. TEST&E 2019 – 2<sup>nd</sup> Conference on Testing and Experimentations in Civil Engineering.
- A3 - Fortes, C.J.E.M.; Capitão, R.; Lemos, R.; Neves, M.G.; Silva, L.G.; Henriques, M.J.; Martins, T., 2019 – Sines breakwater harbour: the OSOM+ monitoring program. 2019 Short Course/Conference on Applied Coastal Research.
- A3 - Capitão, R.; Lemos, R.; Fortes, C.J.E.M.; Neves, M.G.; Silva, L.G.; Henriques, M.J., 2019 – Diagnóstico de quebra-mares baseado em observações visuais e levantamentos aéreos com drone. 14<sup>o</sup> SISLUBA - Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa.
- A3 - Reis, M.T.L.G.V.; Fortes, C.J.E.M.; Capitão, R.; Henriques, M.J.; Silva, H.; Andriolo, U.; Soares, F.; Santos, J.A.; Neves, M.G.; Lemos, R.; Mendonça, A.C.; Pinheiro, L.; Lima, J.N.; Peña, E.; Sande, J.; Maciñeira, E., 2019 – BSafe4Sea - Controlo da segurança de quebra-mares através da análise de um sistema de previsão e apoio à decisão: desenvolvimentos iniciais. 14<sup>o</sup> SISLUBA - Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa.
- A3 - Lemos, R.; Capitão, R.; Fortes, C.J.E.M.; Henriques, M.J.; Silva, L.G., 2019 – Avaliação do estado atual, de evolução e de risco dos quebra-mares dos portos de Faro e Portimão. IX Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa.
- A3 - Lemos, R.; Capitão, R.; Fortes, C.J.E.M.; Henriques, M.J.; Silva, L.G., 2019. A methodology for the evaluation of evolution and risk of breakwaters. Application to Portimão harbor and of Faro-Olhão inlet. Congresso Zonas Costeiras 2019.
- A1 - Silva, A.N.; Lira, C.P.; Mendes, D.; Henriques, M.J., 2019 – Determinação de formas de fundo com recurso a UAV na lagoa de Albufeira. 5<sup>a</sup> Conferência morfodinâmica estuarina e costeira.
- A3 - Miranda Dias, J.; Matias, L.; Henriques, M.J., 2019 – Deformations and volume changes due to moisture variations in heritage buildings - Use of NDT techniques. FLOMEKO 2019, the 18 th International Flow Measurement Conference.
- A3 - Henriques, M.J.; Lemos, R.; Capitão, R.; Jonatas, R.; Fortes, C.J.E.M.; Silva, H., 2018 – Accessing the accuracy of surveying/photogrammetric methods to identify damages on physical models of rubble mound breakwaters. FIG Congress 2018.
- A3 - Henriques, M.J.; Pinto, T.; Dornellas, D.; Gonçalves, J.; Ribeiro, R.; Bernardino, A.; Santos-Victor, J., 2018 – Projeto ELEVAR – Estudo localizado de estruturas verticais com aeronaves robotizadas. IX Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia.



- A3 - Lemos, R.; Henriques, M.J.; Capitão, R.; Fortes, C.J.E.M.; Jónatas, R.; Silva, H., 2018 – Survey of a three-dimensional scale model of a rubble-mound breakwater using different 3D surface modelling techniques. 7<sup>th</sup> International Conference on the Application of Physical Modelling in Coastal and Port Engineering and Science.
- A3 - Miranda Dias, J.; Henriques, M.J.; Matias, L.; Ribeiro, M.S.; Raposo, S., 2018 – NDT techniques for the analysis of anomalies related with durability - Heritage buildings with masonry walls and confining concrete elements. Encontro Nacional Betão Estrutural - BE2018.
- A3 - Fortes, C.J.E.M.; Capitão, R.; Henriques, M.J.; Lemos, R.; Neves, M.G.; Reis, M.T.L.G.V.; Silva, L.G., 2018 – Observing and monitoring maritime works through the use of the new OSOM+ methodology. VIII SEMENGO – Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica.
- A3 - Capitão, R.; Lemos, R.; Henriques, M.J.; Fortes, C.J.E.M.; Neves, M.G.; Silva, L.G.; Reis, M.T.L.G.V., 2018 – Systematic observation of maritime works. The new OSOM+. 5<sup>as</sup> Jornadas de Engenharia Hidrográfica.
- A3 - Henriques, M.J.; Lemos, R.; Capitão, R.; Fortes, C.J.E.M., 2017 – The monitoring of rubble mound breakwaters. An assessment of UAV technology. INGEO2017, the 7<sup>th</sup> International Conference on Engineering Surveying.
- A3 – Miranda Dias, J.; Matias, L., Henriques, M.J., Ribeiro, M., Santos, T., 2017 – Combined use of non-destructive methods for the survey of facades anomalies of heritage buildings with structural concrete elements. Atas da INGEO2017 - the 7<sup>th</sup> International Conference on Engineering Surveying.
- A1 - Fonseca, A., Roque, D., Henriques, M.J., Muralha, J., 2017 – Visual inspection automation with image processing. Atas da INGEO2017 – the 7<sup>th</sup> International Conference on Engineering Surveying.
- A3 - Fortes, C.J.E.M., Capitão, R., Lemos, R., Henriques, M.J. (2017). Desenvolvimentos, desafios e oportunidades para a modelação física em engenharia costeira e portuária. Atas das 9<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária.
- A3 - Henriques, M.J., Roque, D., Fonseca, A., 2017 – Nuvens de pontos e imagens numéricas. O objeto de estudo no computador. Atas do XXI Congresso da Ordem dos Engenheiros.
- A1 - Soares, F., Henriques, M.J., Rocha, C., 2017 – Concrete Block Tracking in Breakwater Models. FIG Working Week 2017. Selected to be the "Article of the Month" of FIG Newsletter (June 2017).
- A1 - Fonseca, A., Roque, D., Henriques, M.J., Mimoso, J.M., 2016 – Aplicação de metodologias de processamento digital de imagens à inspeção visual de obras de engenharia. Atas do II Encontro Luso-Brasileiro de Degradação de estruturas.
- A3 - Henriques, M.J., Roque, D., Santos, A., 2016 – Monitorização de quebra-mares com veículos aéreos não tripulados. Atas do I Seminário Internacional UAV.

- A3 - Henriques, M.J., Braz, N., Roque, D., Lemos, R., Fortes, C., 2016 – Controlling the damages of physical models of rubble-mound breakwaters by photogrammetric products (orthomosaics and point clouds). Atas do 3<sup>rd</sup> Joint International Symposium on Deformation Monitoring.
- A1 - Soares, F., Henriques, M.J., Braz, N., 2016 – Integration of image processing tools for monitoring breakwaters models. Proceedings of ESA Living Planet Symposium.
- A2 - Barbosa, A., Roque, D., Fonseca, A., Rocha, J., 2016 – Classificação de imagens de satélite multitemporais baseada em objetos e apuramento semiautomático de limiares de corte. Atas da II Conferência Nacional de Geodesia.
- A2 - Fonseca, A., Roque, D., Barbosa, A., Rocha, J., Heleno, S., 2015 – Determinação automática de limiares para classificação de conjuntos multitemporais de imagens de satélite. Atas da Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia.
- A1 - Fonseca, A., Roque, D., Pereira, S., Mendes, M., Mimoso, J.M., 2015 – Digital image processing: Application to automatic classification of tile panel pathology. Atas da GlazeArch 2015 International Conference: Glaze Ceramics in Architectural Heritage,
- A2 - Barbosa, A., Roque, D., Fonseca, A., Rocha, J., 2015 – Modelo de classificação orientado para objeto para cartografia operacional de ocupação do solo usando imagens de média resolução. Atas do X Congresso da Geografia Portuguesa – Os Valores da Geografia.
- A4 - Roque, D., Fonseca, A., Afonso, N., Henriques, M.J., Muralha, J., 2015 – Visual inspection aided by digital photography: application to the slopes of Foz Tua dam, 2<sup>nd</sup> Dam World Conference.
- A3 - Henriques, M.J., Marnoto, J., Santos, A., 2015 – Alguns Pormenores sobre a Produção de Ortomosaicos. Atas da VIII Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia.
- A1 - Henriques, M.J., Ramos, P., 2015 – Thermal imaging of concrete dam surfaces to support the control of the evolution of pathologies. Atas da Second International Dam World Conference.
- A1 - Henriques, M.J., Roque, D., 2015 – Unmanned Aerial Vehicles (UAV) as a Support to Visual Inspections of Concrete Dams. Atas da Second International Dam World Conference.
- A3 - Henriques, M.J., Braz, N., Roque, D., 2015 – Point clouds and orthomosaics from photographs. Their use in a civil engineering laboratory. Atas da FIG Working Week 2015.
- A3 - Miranda Dias, J., Matias, L., Henriques, M.J., Veiga, M.R., 2016 – Avaliação da utilização combinada de métodos de inspeção não-destrutivos de termografia/ultra-sons/fotogrametria para a deteção de fendilhação em paredes de alvenaria de edifícios de valor patrimonial. Atas do 10.º Congresso Nacional de Mecânica Experimental.
- A1 - Ramos, S., Roque, D., Fonseca, A., Navarro, A., 2015 – Inspeção visual assistida de paramentos de barragens de betão. Atas da Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia.
- A3 - Henrique, M.J., Fonseca, A., Roque, D., Lima, J. N., Marnoto, J., 2014 – Assessing the Quality of an UAV-based Orthomosaic and Surface Model of a Breakwater. FIG Congress 2014.

A1 - Henriques, M.J., 2014 – Levantamento térmico de paramentos de barragens de betão para apoio ao acompanhamento da evolução de patologias. Atas das Jornadas Portuguesas de Engenharia de Estruturas.

A3 - Henriques, M.J.; Manta, V.; Marnoto, J., 2014 – Avaliação da Qualidade Posicional. Aplicação a um Levantamento Realizado em Coimbra utilizando VANT. Atas das I<sup>as</sup> Jornadas Lusófonas de Ciências e Tecnologias de Informação Geográfica.

A2 - Pestana, R., Matias, M., Canelas, R., Roque, D., Araújo, A., van Zeller, E., Trigo-Teixeira, A., Ferreira, R., Oliveira, R., Heleno, S., Falcão, A.P., Gonçalves, A.B., 2014 – Calibration of 2D hydraulic inundation models with SAR imagery in the floodplain region of the lower Tagus river. Atas do European Geosciences Union General Assembly 2014.

### **3.3 Dissertações de mestrado**

A1 – Barbom, V. 2023 – Metodologia de processamento de imagem para monitorização de modelos físicos de quebra-mares com câmara RGB-D Kinect V2. Dissertação de Mestrado na FCUL. Colaboração na orientação: IP Maria João Henriques.

A1 - Barbosa, A., 2016 – Determinação semiautomática de limiares para classificação de conjuntos multitemporais de imagens de satélite. Dissertação de Mestrado no Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa. Orientação: IP Ana Fonseca.

A3 - Rocha, C., 2016 – Monitorização dos modelos de quebra-mares com o sensor Microsoft Kinect V2. Dissertação de Mestrado na FCUL. Colaboração na orientação: IP Maria João Henriques.

A1 - Ramos, S., 2015 – Inspeção visual assistida de paramentos de barragens de betão. Dissertação de Mestrado na FCUL. Orientação: IP Ana Fonseca.

### **3.4 Relatórios do LNEC**

LNEC, 2023 – Açude-ponte de Coimbra. Testes para mapeamento da fendilhação difusa através de fotografia e processamento digital de imagem. Relatório 19/2023 – DBB/NGA.

LNEC, 2018 – ImEngine – Imagens Numéricas: Aplicações à Engenharia. Relatório de progresso 2014-2017 do projeto do P2I do LNEC. Relatório 165/2018 – DBB/NGA.

## 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 realizados. Refere-se que os valores previstos foram para um período de quatro anos e a duração efetiva do projeto foi dez anos. Na última coluna apresentam-se os valores médios por ano, forma de comparar os valores dos indicadores realizados com os previstos, já que os realizados cobrem um período de dez anos e o projeto foi previsto para um período de quatro anos.

Quadro 4.1 – Indicadores de desempenho

Indicadores	Realizado (10 anos)	Previsto (4 anos)	Valores médios anuais, realizado e previsto
Artigo em revista internacional	7	3	0,70 – 0,75
Artigo em revista nacional	0	0	0,00 – 0,00
Comunicação em congresso	52	4	5,20 – 1,00
Dissertação de mestrado *	4	0	0,40 – 0,00
Tese de doutoramento	0	0	0,00 – 0,00

\*-finalizada

### 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 de 2014 a 2023 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 2015-2023 (9 anos)	Total previsto no projeto de 2014 a 2017 (4 anos)
Ana Fonseca	Investigadora Principal	18,2	9,6
Maria J. Henriques	Investigadora Principal	10,1	9,6
José Muralha	Investigador Principal	0,1	4,8
Dora Roque	Investigadora Auxiliar	7,3	8,4
Nádia Braz	Técnica Superior	0,2	----
Hugo Silva	Assistente Técnico	2,6	----

### 4.3 Candidaturas a financiamento

A equipa do projeto participou em vários projetos de I&D com financiamento externo.

#### Programa H2020:

- *Co-Resyf - Coastal Waters Research Synergy Framework*. Envolveu um consórcio que integrou, por Portugal, a empresa de engenharia DEIMOS, o LNEC (DHA/NEC, DBB/NGA) e o Instituto Hidrográfico, e instituições assim como empresas do Reino Unido, Irlanda, França e Itália. Este projeto cofinanciou o projeto na componente *ImEngine-Sat*;
- *EOSC-Synergy*. Envolveu um consórcio que integrou, por Portugal, o LIP, INCD, LNEC e FCT, e instituições e empresas de Espanha, Alemanha, Polónia, Eslováquia, República Checa, Holanda, Reino Unido, França e Brasil. Este projeto cofinancia o projeto na componente *ImEngine-Sat*.

#### Programa HORIZON-INFRA-2023-SERV-01:

- *ATRIUM - Advancing FrontTier Research In the Arts and hUManities* que se iniciou já na fase final do projeto ImEngine. Envolve um consórcio em que participam instituições de 13 países, sendo o LNEC o único representante de Portugal.

#### Programa Compete2020:

- *ELEVAR - Study of Vertical Structures with Robotized Aircraft* que integrou a empresa Takever, o LNEC e o Institute for System and Robotics (IST). Permitiu a contratação de um

bolseiro e a aquisição de um taqueómetro e de um computador de elevado desempenho. Este projeto cofinanciou o projeto na componente *ImEngine-Drones*.

#### Financiamento FCT:

- *To-SEAlert - Wave overtopping and flooding in coastal and port areas: Tools for an early warning, emergency planning and risk management system*. Este projeto cofinanciou o projeto na componente *ImEngine-Sat*;
- *MOSAIC.pt - Multi-source flood risk Analysis for safe Coastal communities and sustainable development*. Este projeto cofinanciou o projeto na componente *ImEngine-Drones*;
- *Bsafe4Sea – Breakwaters SAFETY control through a FOREcast and decision support System Analysis*. Este projeto cofinanciou o projeto na componente *ImEngine-Drones*.

Outras candidaturas não obtiveram financiamento, nomeadamente:

- Programa H2020:
  - *AFFORD2FLY - AFFORDable TO buy and operate micro FLYing vehicles (ImEngine-Drones)*;
- Financiamento FCT:
  - *SMOVIS - Integrated framework for Structural health MONitoring and VISualization (ImEngine-Processing)*;
  - *3DFLOOD - The use of 3D models and satellite imagery to improve urban FLOOD models (ImEngine-Sat)*;
  - *InSET - Method for Embankment Dams Safety Assessment through Integration of Spatial, Electromagnetic and Thermographic Modelling (ImEngine-Drones)*;
  - *XR4DaM - Extended Reality for Dam Monitoring (ImEngine-Processing)*.

## **4.4 Aplicação a atividade por contrato**

A aplicação das metodologias de análise quantitativa de imagens a obras de engenharia foi suscitada pelo facto de a aquisição de fotografias já ser realizada para apoiar o trabalho por contrato no âmbito da inspeção visual. Estas eram utilizadas como documentação, para análises qualitativas, inicialmente em formato analógico e mais tarde em formato digital. A sua exploração para extração de informação sobre o estado da obra e a evolução de patologias proposta no projeto constitui uma mais-valia dado que permite o estabelecimento de procedimentos objetivos, quantitativos e cujos resultados são passíveis de arquivo em base de dados. Já foram realizadas várias experiências, algumas já documentadas, mas ainda não integradas no *wokflow* do trabalho por contrato de inspeção visual corrente, com exceção do trabalho de monitorização das escavações das encostas da barragem de Foz Tua, durante a construção, que deu origem a trabalho por contrato com a EDP

no âmbito do processo 0404/121/1883801 – Colaboração do NGA na inspeção visual assistida das encostas da barragem de Foz Tua.

Espera-se que os métodos IVisA, com obtenção de imagens por câmaras terrestres ou instaladas em *drones*, tenham mais ampla utilização já que, até ao final deste projeto P2I, houve somente dois contratos, também com a EDP, ambos ainda a decorrer e relacionados com a barragem de Santa Luzia: 0404/1201/23527 - Mapeamento de ocorrências nos paramentos; 0404/1201/23880 - Monitorização de movimentos na encosta da margem direita através de IVisA.

Refere-se que vários estudos por contrato, realizados por outros setores do LNEC, tiveram um importante contributo de levantamentos fotográficos e fotogramétricos e dos produtos gerados a partir destes, e foram possíveis por se ter investido na aquisição de conhecimentos e equipamento via projeto ImEngine. Estes estudos foram efetuados para as seguintes entidades: EPAL, REFER, DGPC, DRAPLVT, SONAE, Administração dos Portos de Sines e do Algarve, Secretaria-geral da Presidência da República e Geberit.

A experiência adquirida foi também crucial para duas ações de formação realizadas para técnicos da Hidroelétrica de Cahora-Bassa (HCB), que ocorreram em 2022 e 2023, respetivamente: 0404/1304/23451 – Formação sobre inspeção visual assistida; 0404/1304/23785 – Formação em monitorização contínua ou remota de barragens.

## 5 | Considerações finais

O projeto ImEngine decorreu de forma adequada. O projeto organizou-se em subprojetos em função do método de aquisição de imagens e do objeto de estudo. Em 2018 houve uma revisão dos subprojetos de que resultaram os quatro referidos anteriormente. Relativamente a estes quatro subprojetos, o grau de atividade foi bastante diferente. Assim, houve atividade relevante no âmbito dos subprojetos *ImEngine-Processing*, relacionada com algoritmos, reconhecimento de padrões e deteção de alterações e autocorrelação de imagens, *ImEngine-Sat*, dedicado à obtenção de informação a partir de imagens de satélite, e *ImEngine-Drones*, referente à exploração de imagens obtidas com veículos aéreos não tripulados (estendido, depois, também a levantamentos terrestres). O subprojeto *ImEngine-Slopes*, referente à monitorização de encostas, declives e obras geotécnicas, teve uma atividade mais reduzida, devido à não aprovação de uma candidatura a financiamento externo. Das atividades desenvolvidas no âmbito do projeto resultaram artigos em revistas, muitas comunicações em encontros científicos e cinco dissertações de mestrado, quatro das quais concluídas durante o projeto e uma ainda em elaboração.



Lisboa, LNEC, dezembro de 2023

VISTO

O Diretor do Departamento de Barragens de  
Betão



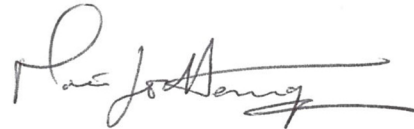
António Lopes Batista

AUTORIA



Ana Fonseca

Investigadora Principal



Maria João Henriques

Investigadora Principal

Chefe do Núcleo de Geodesia Aplicada



Dora Roque

Investigadora Auxiliar



## ANEXOS

---



## ANEXO I

### Ficha inicial do projeto



FICHA DE PROJETO DE I&D&I  
 2013-2020

1 - Dados Gerais

1.1 Identificação do projeto

Designação	Imagens Numérica: Aplicações à Engenharia
Acrónimo	ImEngine
Unidade Departamental proponente	DBB
Setor	NGA
Investigador Responsável	Ana Fonseca
Duração (meses)	36
Data de início (ano-mês-dia)	01/jan/14

1.2 Inserção na matriz programática da E2I

Eixo programático (s)	E1, E2, E3
Temática prioritária(s)	T4, T5

1.3 Entidades intervenientes

Entidade coordenadora	LNEC
Parceiros internos	DBB/NO, DBB/NMMR, DM, DED, DHA
Parceiros externos	EDP, REFER, ...
Entidade externa interessada	EDP, REFER, ...
Financiamento externo (S/N)	N

1.4 Resumo

(max. 300 palavras)	Este projeto tem por objetivo desenvolver, adaptar e otimizar estratégias de extração de informação a partir de imagens numéricas de diferentes tipologias e escalas, para diferentes aplicações à engenharia e arquitetura nomeadamente imagens de satélite da superfície terrestre (Helena <i>et al.</i> , 2013), (Freire <i>et al.</i> , 2014), fotografias de apoio à inspeção visual de diferentes tipos de estruturas (Roque <i>et al.</i> , 2012a, 2012b, 2013), (LNEC, R351/2012), (LNEC, R356/2012), imagens térmicas para apoio ao acompanhamento da evolução de patologias (LNEC, R425/2013), fotografias para obtenção de elementos sobre a geometria da estruturas e para apoio ao estudo da estabilidade e evolução do comportamento de estruturas (LNEC, R409/2013), (Henriques <i>et al.</i> , 2014), imagens provenientes do microscópio eletrónico, etc..
---------------------	---

## 2 - Fundamentação

*(síntese do estado da arte, identificação de problemas por resolver, motivações internas e/ou externas)*

As metodologias de processamento digital de imagens são utilizadas em várias áreas tais como, cartografia, vigilância de fronteiras, inspeção visual, medicina, etc.. Para extrair das imagens informação útil para aplicações tão diversas, são utilizados algoritmos de processamento digital de imagens, que realizam operações matemáticas sobre as imagens (matrizes de números inteiros), recolhidas em diferentes comprimentos de onda do espectro eletromagnético. Em função da aplicação são desenvolvidas estratégias de extração de informação, utilizando algoritmos de transformação geométrica e radiométrica e de reconhecimento de padrões (Freire *et al*, 2014), (Roque *et al*, 2012a, 2012b, 2013). As condições de aquisição das imagens têm impacto na qualidade dos produtos produzidos, exigindo a utilização de plataformas (orbitais, aéreas e terrestres) e, por vezes, a instalação de sistemas de apoio à observação (LNEC, Rel 425/2013, NT 22/2013, Rel 356/2012) cujas características dependem do domínio da aplicação. Das imagens digitais da banda do visível (fotografias) pode ainda ser extraída informação que permite reconstituir as superfícies fotografadas a partir de uma nuvem de pontos gerada com base em várias fotografias dos objetos (LNEC, Rel 409/2013).

As dificuldades que estão por resolver para melhorar a operacionalização destas técnicas estão relacionadas com a optimização e automatização dos procedimentos de exploração das imagens, aumento da sua repetibilidade e adaptação a imagens de diferentes tipologias (propriedades diferentes). A IDI a realizar deve incidir nestes aspetos: automatização, repetibilidade e adaptação a diferentes tipologias de imagens.

As motivações internas e externas foram despoletadas pela crescente solicitação interna e externa da utilização da análise quantitativa de imagens em processos de inspeção e monitorização de infraestruturas, no âmbito do estudo do PIP 2009-2012 (Proc. 0404/11/17722) e de um estudo por contrato (Proc. 404/001/18838).

## 3 - Objectivos

*(indicar para além dos objetivos científicos do projeto, os objetivos do investigador responsável e das entidades envolvidas)*

Os objectivos deste projeto do P2I do LNEC é introduzir as metodologias de processamento digital de imagens em todas as atividades de levantamento de informação ou monitorização em que a imagem possa ser um elemento útil, de modo a dispor de metodologias objectivas e replicáveis de extração de informação para apoio a trabalho por contrato do LNEC, nomeadamente, monitorização de patologias em obras de Engenharia, monitorização de instabilidade de encostas, monitorização de alterações temporais em infraestruturas, levantamento de informação qualitativa e quantitativa em imagens de diferentes tipologias, etc..

## 4 - Contribuições inovadoras

*(indicar as contribuições para o reforço dos conhecimentos, das competências e/ou dos recursos experimentais do LNEC)*

Os métodos de processamento geométrico para georreferenciar ou co-registar imagens, os de processamento radiométrico para calcular índices ou reconhecer padrões são comuns nas etapas de extração de informação a partir de imagens de diferentes tipologias. No entanto estes algoritmos necessitam de adaptação às diferentes tipologias de imagens de modo a minimizar a incerteza e aumentar a eficiência. Algumas destas etapas necessitam também de automatização de modo a minimizar a intervenção de um operador e respetivos custos.



## 5 - Metodologia

(descrição da abordagem e dos métodos teóricos e/ou experimentais a utilizar)

Algumas destas técnicas são operacionais e podem ser utilizadas em várias aplicações, dependendo das especificações de qualidade dos produtos a gerar. Para aplicações com especificações de qualidade elevadas, os algoritmos necessitam de adaptação e têm que ser impostos requisitos às condições de aquisição das imagens (LNEC, NT22/2013). A automatização de algumas etapas do processamento, o aumento da repetibilidade dos processos de reconhecimento de padrões (Roque *et al.*, 2014) e a gestão de grande quantidade de dados são aspetos onde é necessário investimento de IDI, para agilizar a operacionalização destas metodologias para aplicações exigentes, tais como utilização de imagens numéricas em sistemas de alerta, monitorização com vídeo (LNEC, R453/2013), classificação do coberto/uso do solo em zonas extensas, etc..

Este projeto pode dividir-se em sub-projectos designados *ImEngine-Sat*, *ImEngine-Walls*, *ImEngine-Tiles*, *ImEngine-Dams*, *ImEngine-Bridges*, *ImEngine-Slopes*, etc., dependendo da área de aplicação, que poderão constituir atividades de projetos IDI interdepartamentais do P2I, com parceiros externos nacionais e internacionais.

### Referencias Bibliográficas:

Freire, S., Santos, T., Navarro, A., Soares, F., Dinis, J., Afonso, N., Fonseca, A., Tenedório, J. – *Introducing Mapping Standards in the Quality Assessment of Buildings Extracted from Very High Resolution Satellite Imagery*. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 90C (2014), pp. 1-9. DOI information: 10.1016/j.isprsjprs.2013.12.009. 2014.

Heleno, S., Matias, M., Canelas, R., Roque, D., Araújo, A., Falcão, A.P., Afonso, N., Pestana, R., Oliveira, R., Alves, T., Trigo-Teixeira, A., Ferreira, R., Fonseca, A., Van Zeller, E., Silveira, M. – *Project RIVERSAR – Exploiting SAR imagery to improve flood models in the Tagus River*. ICIST-IST, CEHIDRO-IST, LNEC, ARHTEjo, ISR-IST. *Proceedings of the International Forum on Satellite Earth Observation for Geohazard Risk Management*. Santorini, Grécia. 2012.

LNEC – Levantamento térmico de paramentos de barragens de betão para apoio ao acompanhamento da evolução de patologias. Relatório 425/2013 – DBB/NGA, LNEC, Lisboa.

LNEC – Barragem de Foz Tua: Campanha de operacionalização do sistema de inspeção visual assistida das encostas durante a construção. Nota Técnica 22/2013 – DBB/NGA, LNEC. Lisboa.

LNEC – Inspeção Visual Assistida por Fotografia Digital: aplicação às encostas da Barragem de Foz Tua. Relatório 356/2012 – DBB/NGA/NFOS. Lisboa.

LNEC – Utilização de veículo aéreo não tripulados para a monitorização de infraestruturas. Aplicação ao quebra-mar da Ericeira. Relatório 409/2013, DBB/NGA, LNEC. Lisboa.

LNEC – Desenvolvimento de aplicações informáticas para o processamento digital de imagens em linguagem MATLAB. Relatório 452/2013, DBB/NGA, LNEC. Lisboa.

LNEC – Aplicação das técnicas de inspeção visual assistida na monitorização de ensaios de flexão até à rotura de vigas de madeira. Relatório 453/2013 – DBB/NGA, LNEC. Lisboa.

LNEC – Barragem do Covão do Meio: Campanha de Referência para a Inspeção Visual Assistida. Relatório 351/2012 – NGA/DBB. Lisboa.

Roque, D., Mendes, M., Pereira, S., Fonseca, A., Mimoso, J. M. – Detecção de Anomalias em Azulejos através de Técnicas de Processamento Digital de Imagem. Congresso Internacional AZULEJAR 2012. Aveiro. 2012a.

Roque, D., Fonseca, A., Mimoso, J. M. – Detecção e Mapeamento de Anomalias em Fachadas Urbanas Azulejadas com Técnicas de Processamento Digital de Imagem. II Seminário Nacional de Documentação do Património Arquitetónico com o Uso de Tecnologias Digitais. Belém, Brasil. 2012b.

Roque, D., Afonso, N., Fonseca, A., Heleno, S. – *Building a Database of Flood Extension Maps using Satellite Imagery*. LNEC, CERENA-IST. *ESA 4th Living Planet Symposium*. Edimburgo, Reino Unido. 2013.

Roque, D., Fonseca, A., Mimoso, J. M. – Mapeamento Digital e Classificação de Anomalias em Paramentos Murais: Processamento Digital de Imagem e Classificação Orientada por Objetos. Anais do Segundo Encontro Luso-Brasileiro de Conservação e Restauro. São João del Rei, Brasil. 2013.

Roque, D., Afonso, N., Fonseca, A., Heleno, S. – *OBIA Flood Delimitation Assisted by Threshold Determination with PCA*. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 80, No 5. doi: 10.14358/PERS.80.6.000. 2014.

## 6 - Plano de Trabalhos

Atividade	Designação da Atividade	Tarefa	Designação da Tarefa	Semestre							
				1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º
1	Desenvolvimento de algoritmos de processamento de imagens para otimizar e adaptar processos de PDI a imagens específicas (fotografias para IVISA, vídeo)	T1.1	<i>Elaboração de procedimentos para aquisição de imagens de modo a minimizar a incerteza dos processos de extração de informação por processamento de imagens</i>								
		T1.2	<i>Optimização do processo de reconhecimento de padrões em imagens</i>								
		T1.3	<i>Adaptação dos processos desenvolvidos em T1.2 a imagens de diferentes tipologias</i>								
		T1.4	<i>Automatização dos processos desenvolvidos em T1.1, T1.2, T1.3</i>								
2	Automatização do correção geométrica de imagens por autocorrelação. Adaptação a diferentes tipologia de imagens	T2.1	<i>Elaboração de programas de co-registo geométrico de imagens por autocorrelação</i>								
		T2.2	<i>Adaptação a imagens de diferentes tipologias</i>								
3	Automatização da repetibilidade do processo de reconhecimento de padrões a imagens com propriedades diferentes	T3.1	<i>Montagem de um processo reconhecimento de padrões sobre uma imagem de satélite: nomenclatura, bandas espectrais, estratégia, metodologia</i>								
		T3.2	<i>Teste de replicação do processo desenvolvido em T3.1 a novas imagens da mesma tipologia</i>								
		T3.3	<i>Automatização da adaptação do processo desenvolvido em T3.1 a novas imagens da mesma topologia (PCA)</i>								
		T3.4	<i>Adaptação de T3.1, T3.2, T3.3 a imagens de diferentes tipologias</i>								

## 7 - Equipa de trabalho

Nome	Função	Setor/Entidade	Tarefas	Afetação ao projeto (%)
Ana Fonseca	Investigadora Principal	DBB/NGA	Coordenação	20
Maria João Henriques	Investigadora Principal	DBB/NGA	Coordenação	20
Dora Roque	BIIC	DBB/NGA	BIIC	25
		DBB/NGA	BE	50

## 8 - Resultados expectáveis

Resultados por atividade/tarefa	Descrição
<i>(descrever os resultados esperados por actividade e/ou tarefas)</i>	
<b>Atividade 1</b>	
T1.1	Especificações para o processo de aquisição de imagens
T1.2	Definição da estratégia e metodologia mais eficiente de exploração das imagens
T1.3	Definição da estratégia e metodologia mais eficiente de exploração das imagens para cada tipologia de imagens
T1.4	definição do workflow para automatização dos processos de exploração das imagens em função da sua tipologia
T1.5	
<b>Atividade 2</b>	
T2.1	Algoritmos de autocorrelação de imagens para co-registo geométrico adaptados à tipologia das imagens
T2.2	
T2.3	
<b>Atividade 3</b>	
T3.1	Metodologia replicável para reconhecimento de padrões em imagens de satélite
T3.2	
T3.3	
T3.4	Metodologia replicável para reconhecimento de padrões em imagens de diferentes tipologias
T3.5	

Outros resultados	Quantidade
<b>Teses</b>	
<i>mestrado</i>	
<i>doutoramento</i>	
<i>outras</i>	relatório de estágio de mestrado 1
<b>Artigos em revista</b>	
<i>nacional</i>	
<i>internacional</i>	1*+ 2
Comunicações	1*+ 3
<b>Outros produtos</b>	

### 9 - Recursos humanos

Designação	Quantidade	Montante
<i>IP</i>	2	107 160,00 €
<i>BIIC</i>	1	41 125,00 €
<i>BE</i>	1	35 250,00 €
		183 535,00 €

### 10 - Despesas correntes

Designação	Quantidade	Montante
<i>Gastos Gerais</i>		183 935,00 €

### 11 - Equipamento

Designação	Quantidade	Montante

### 12 - Orçamento

Designação	Estimativa de custo	Financiamento externo	Financiamento LNEC
Recursos Humanos			183 535,00 €
Despesas Correntes			183 935,00 €
Equipamentos			0,00 €
			0,00 €
			0,00 €
			0,00 €
<b>Total</b>			<b>371 470,00 €</b>

## ANEXO II

### Ajustes intercalares do projeto

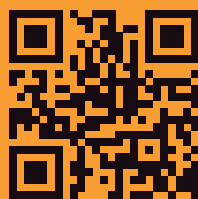


Atividade	Designação da Atividade	Tarefa	Designação da Tarefa	2018	2019	2020
Atividade 1	ImEngine-Processing (algoritmos, reconhecimento de padrões, deteção de alterações, autocorrelação de imagens)	T1.1	Otimização do processo de reconhecimento de padrões em imagens			
		T1.2	Otimização do processo de deteção de alterações em séries multitemporais de imagens			
		T1.3	Adaptação dos processos desenvolvidos em T1.1 e T1.3 a imagens de diferentes tipologias			
		T1.4	Automatização dos processos desenvolvidos em T1.1 e T1.2			
Atividade 2	ImEngine-Sat	T2.1	Colaboração na avaliação da plataforma Co-Resyf			
		T2.2	Desenvolvimento de métodos de delimitação de manchas de cheia no território (candidaturas FCT pendentes)			
Atividade 3	Im-Engine-Drones	T3.1	Otimização de procedimentos para levantamentos horizontais do território			
		T3.2	Otimização de procedimentos para levantamentos verticais em infraestruturas			
Atividade 4	ImEngine-Slopes	T4.1	Elaboração de procedimentos para aquisição de imagens video para monitorização de infraestruturas de modo a minimizar a incerteza			
		T4.2	Montagem do workflow de monitorização e extração de informação			
		T4.3	Automatização do workflow desenvolvido em T4.2			









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

AV DO BRASIL 101 • 1700-066 LISBOA • PORTUGAL  
tel. (+351) 21 844 30 00  
lnec@lnec.pt [www.lnec.pt](http://www.lnec.pt)