

## **Proposta de Projeto de Doutoramento a Desenvolver no Âmbito do 1º Concurso para Atribuição de Bolsas de Investigação na Área de Engenharia Civil**

### **1. Título do projeto**

**Título:** Identificação de danos em pontes ferroviárias usando sistemas de monitorização a bordo de veículos e com recurso a inteligência artificial

**Palavras-chave:** pontes ferroviárias; identificação de danos; inteligência artificial

**Referência:** Referência: Referência: CEE\_EC\_FEUP8

### **2. Instituições envolvidas**

**Instituição onde o doutoramento será realizado:** Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP)

**Outras instituições participantes no projeto investigação:** Universidade Eduardo Mondlane (UEM - Moçambique)

### **3. Equipa de Orientação**

**Orientador:** Rui Calçada (FEUP)

**Coorientador:** Américo Dimande (UEM)

### **4. Descrição do Projeto**

A rede ferroviária de Moçambique divide-se em três setores independentes, localizados no Sul, no Centro e no Norte do país, e que fazem a ligação entre os países vizinhos e os principais portos de mar. Na próxima década, a estratégia do Governo no tocante a investimento público em transportes ferroviários visa, sobretudo, a ligação do Sul ao Norte do país, a ligação entre as capitais de província e facilitar o acesso a zonas com indústrias extrativas.

Neste contexto de forte investimento público no setor ferroviário, sobretudo em linhas de transporte de mercadorias, e onde se prevê uma utilização intensiva da infraestrutura ferroviária, é de especial relevo a adoção de estratégias adequadas para a manutenção de pontes e viadutos, que visem a possibilidade de uma deteção precoce dos danos estruturais, permitindo, deste modo, o planeamento adequado de eventuais intervenções de reparação e reforço.

A presente proposta de trabalho contribuirá para os desígnios estabelecidos por meio do desenvolvimento de uma metodologia eficiente e automática para identificação de danos em pontes ferroviárias, com base em sistemas de monitorização instalados a bordo de comboios de mercadorias de serviço [1-2]. A abordagem proposta assenta na consideração do material circulante como um componente fundamental para a monitorização e avaliação da condição estrutural das infraestruturas ferroviárias [3-4].

A avaliação da condição estrutural das pontes ferroviárias, tendo em vista a identificação de danos, é geralmente realizada com base em inspeções visuais ou, no caso das estruturas mais relevantes, com base nas informações

recolhidas por meio de sistemas de monitorização contínua instalados nas pontes. A inovação proposta consiste na instalação de sistemas de monitorização a bordo de comboios de serviço, a fim de realizar a identificação de danos de todas as pontes ao longo de uma linha ferroviária. O método baseia-se na comparação dos registos de aceleração obtidos em comboios em operação aquando da sua passagem nas pontes, com os obtidos para uma condição estrutural de referência. A deteção eficiente das modificações no sistema comboio-via-ponte exigirá o processamento dos dados de aceleração por meio de algoritmos robustos de inteligência artificial.

Neste contexto, o trabalho está focado no desenvolvimento e aplicação de metodologias supervisionadas de inteligência artificial para a identificação de danos em pontes ferroviárias com base em simulações numéricas. As simulações numéricas requerem o desenvolvimento de modelos numéricos avançados de elementos finitos dos subsistemas comboios e ponte, incluindo a via, e que serão previamente calibrados com base em informação experimental. São propostas as seguintes atividades de I&D: i) realização de análises dinâmicas com interação ponte-comboio, incluindo as irregularidades da via, e considerando um cenário de referência, reportado à condição atual da ponte, e cenários com danos; ii) extração de indicadores de dano baseados em modelos autorregressivos (AR e ARMAX), análise de componentes principais (PCA) e análise de dados simbólicos (SDA), iii) desenvolvimento de técnicas de normalização de dados especificamente concebidas para remover dos dados os efeitos operacionais devido ao tráfego ferroviário, relacionados com as irregularidades da via, defeitos e falta de circularidade das rodas de veículos, e efeitos ambientais, iv) aplicação de metodologias de classificação para selecionar os indicadores mais sensíveis à deteção de danos com base nas respostas dinâmicas dos veículos. As metodologias de classificação baseiam-se em técnicas de inteligência artificial, nomeadamente técnicas de reconhecimento estatístico de padrões, máquinas de vetores de suporte (SVM) e redes neuronais artificiais (ANN), v) avaliação da fiabilidade do método de classificação para erros do tipo falso-positivo e falsos-negativo, usando para o efeito as curvas ROC. A metodologia de identificação de danos será validada com base na instalação de um protótipo envolvendo a conceção e instalação de sistemas de monitorização nos veículos e pontes (antes e depois das intervenções de reparação/reabilitação), a recolha e o processamento dos dados experimentais, e, por último, a aplicação e validação da metodologia de identificação de danos desenvolvida.

## 5. Referências Bibliográficas

- [1] Bernal, E., Spiryagin, M., Cole, C. Onboard Condition Monitoring Sensors, Systems and Techniques for Freight Railway Vehicles: A Review, *IEEE Sensors Journal*, 2019, 19 (1), pp. 4-24. DOI:10.1109/JSEN.2018.2875160.
- [2] Bruni, S., Goodall, R., Mei, T.X., Tsunashima, H. Control and monitoring for railway vehicle dynamics, *Vehicle System Dynamics*, 2007, 45 (7-8), pp. 743-779. DOI:10.1080/00423110701426690.
- [3] Tsunashima, H. Condition Monitoring of Railway Tracks from Car-Body Vibration Using a Machine Learning Technique, *Applied Sciences*, 2019, 9 (13), pp. 1-13. DOI:10.3390/app9132734.
- [4] Malekjafarian A, Golpayegani F, Moloney C, Clarke S. A Machine Learning Approach to Bridge-Damage Detection Using Responses Measured on a Passing Vehicle, *Sensors*, 19(18), pp. 4035. DOI: 10.3390/s19184035.