



**João Luís Fernandes  
Clemente**

**Uso de um braço robótico para auxiliar cenários  
de Colaboração Remota apoiada por Realidade  
Mista**

**Using a Robotic Arm to Assist during Scenarios  
of Remote Collaboration supported by Mixed  
Reality**





**João Luís Fernandes  
Clemente**

**Uso de um braço robótico para auxiliar cenários  
de Colaboração Remota apoiada por Realidade  
Mista**

**Using a Robotic Arm to Assist during Scenarios  
of Remote Collaboration supported by Mixed  
Reality**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Robótica e Sistemas Inteligentes, realizada sob a orientação científica do Doutor Bernardo Marques, Professor auxiliar do Departamento de Eletrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro, e do Doutor Eurico Pedrosa, Professor auxiliar do Departamento de Eletrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro.



**o júri / the jury**

presidente / president

Prof. Doutor João Antunes da Silva  
professor associado da Universidade de Aveiro

vogais / examiners committee

Prof. Doutor João Antunes da Silva  
professor associado da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor João Antunes da Silva  
professor associado da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor João Antunes da Silva  
professor associado da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor João Antunes da Silva  
professor associado da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor João Antunes da Silva  
professor associado da Universidade de Aveiro

## **agradecimentos / acknowledgements**

Esta dissertação consiste no culminar de um percurso académico que se estendeu ao longo de 17 anos. Deste modo, gostaria de começar por agradecer à minha família, especialmente à minha mãe e ao meu pai por me terem proporcionado esta aventura, bem como, por terem celebrado todas as minhas conquistas.

Em segundo lugar, gostaria de agradecer aos meus orientadores, Professor Doutor Bernardo Marques e Professor Doutor Eurico Pedrosa, pelo apoio e orientação na conceção deste trabalho, bem como pelas diversas horas nas quais se dispuseram a ajudar-me, de modo a poder levar este projeto a bom porto. Gostaria também de agradecer ao Doutor João Alves, por me ter transmitido o seu conhecimento e experiência, fundamentais para a realização deste trabalho.

Por fim, mas não menos importante, gostaria de agradecer a todos os amigos que fiz ao longo deste percurso, tendo um especial carinho pela "família" que criei em Aveiro, por terem partilhado comigo belos momentos e pela constante presença e apoio nos últimos 5 anos.

A todos aqueles que se cruzaram comigo e de algum modo contribuíram para o meu crescimento pessoal e académico, o meu muito obrigado.

**palavras-chave**

texto livro, arquitetura, história, construção, materiais de construção, saber tradicional.

**resumo**

Um resumo é um pequeno apanhado de um trabalho mais longo (como uma tese, dissertação ou trabalho de pesquisa). O resumo relata de forma concisa os objetivos e resultados da sua pesquisa, para que os leitores saibam exatamente o que se aborda no seu documento.

Embora a estrutura possa variar um pouco dependendo da sua área de estudo, o seu resumo deve descrever o propósito do seu trabalho, os métodos que você usou e as conclusões a que chegou.

Uma maneira comum de estruturar um resumo é usar a estrutura IMRaD. Isso significa:

- Introdução
- Métodos
- Resultados
- Discussão

Veja mais pormenores aqui:

<https://www.scribbr.com/dissertation/abstract/>

**keywords**

Industry 5.0, Human Robot Collaboration, Mixed Reality, Digital Twin, Remote Collaboration, Unity, ROS.

**abstract**

The transition to Industry 5.0 marks a significant shift toward human-centric manufacturing, emphasizing seamless collaboration between human operators and intelligent machines. A critical challenge in Human-Robot Collaboration (HRC) is facilitating effective remote interaction, enabling humans and robots to cooperate across distance. Mixed-Reality (MR) emerges as a transformative technology capable of bridging this gap, by providing immersive environments where physical and virtual elements coexist and interact in real time.

This dissertation addresses the need for enhanced remote collaboration in Human-Robot Interaction (HRI) by developing a novel framework that integrates MR with a robotic arm to enable dynamic and immersive cooperation between on-site and remote human operators.

The developed system allows on-site users to manipulate the robot through an intuitive interface enriched with visual and auditory cues, enhancing user awareness and safety. Virtual safety zones are implemented to ensure secure interaction, automatically halting the robot if breached. Remote users can visualize the collaborative scenario in real time and control the robot via the shared MR application, supported by a live camera feed from the robot's perspective, providing comprehensive situational awareness.

Despite challenges encountered during development, mainly due to the lack of available documentation and application examples, such as ensuring accurate synchronization between the physical and virtual environments, the resulting framework demonstrates the potential of MR in enhancing HRC.

In conclusion, a comprehensive framework that enables the integration of novel software and technologies is presented, laying the groundwork for future enhancements aligned with societal growth and evolving industrial scenarios. This dissertation aims to contribute to the advancement of modern manufacturing environments by embracing the human-centric values of Industry 5.0, fostering more efficient, safe, and collaborative industrial practices.



**reconhecimento do uso de  
ferramentas de AI**

**Reconhecimento do uso de tecnologias e ferramentas de Inteligência Artificial (IA) generativa, softwares e outras ferramentas de apoio.**

Reconheço a utilização do ChatGPT (Open AI, <https://chat.openai.com/>) e do GitHub Copilot (<https://github.com/features/copilot>) para melhorar a escrita académica e fornecer sugestões de código e assistência no desenvolvimento do software.

I acknowledge the use of ChatGPT (<https://chat.openai.com/>) and GitHub Copilot (<https://github.com/features/copilot>) for refining academic language and offering code suggestions, aiding in the development of the software.