



**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 o desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, agradeço também 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 cinco anos. Especialmente aos “lutadores” que me acompanharam dentro e fora da biblioteca nas últimas semanas: a Matilde, o Ornelas, o Zé, o Mateus, o Canha, o Chico, o Manu, a Catarina, o André, o Silva, o Marcos, o Zé, a Inês, a Carolina, o Pedro, a Casais, a Sara e o Jacinto.

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

Indústria 5.0, Colaboração Humano-Robô, Realidade Mista, Gêmeo Digital, Colaboração Remota

## resumo

A transição para a Indústria 5.0 representa uma mudança significativa cujo objetivo consiste em reintroduzir o elemento humano no ambiente de produção, permitindo uma colaboração mais eficiente entre os operadores e os sistemas inteligentes da Indústria 4.0. A Colaboração Humano-Robô (HRC) proporciona uma maneira eficaz de facilitar a interação entre estes elementos, porém fazê-lo à distância ainda representa um dos maiores desafios desta transição. Face a esta lacuna, surge a Realidade Mista (RM), uma tecnologia revolucionária capaz de a colmatar, ao criar ambientes imersivos onde elementos físicos e virtuais coexistem e interagem em tempo real.

A presente dissertação tem como objetivo responder às novas necessidades da indústria, através do desenvolvimento de uma nova arquitetura que integra a RM com um braço robótico, proporcionando uma colaboração dinâmica e imersiva entre operadores locais e remotos.

O sistema desenvolvido permite ao utilizador local manipular o robô através de uma interface intuitiva composta por elementos visuais e auditivos, cujo propósito consiste em aumentar a sua imersão e segurança. As zonas de segurança virtuais implementadas pretendem garantir uma interação segura, parando automaticamente o robô caso sejam ultrapassadas. Os utilizadores remotos podem visualizar o cenário de colaboração em tempo real e controlar o robô através da aplicação desenvolvida. Foi adicionada uma câmara ao robô de modo a transmitir a sua perspetiva, permitindo ao utilizador remoto ter uma melhor percepção do cenário de colaboração.

Resumindo, foi desenvolvido um sistema abrangente que permite a integração de novas tecnologias, lançando as bases para melhorias futuras alinhadas com o crescimento e avanço dos cenários de colaboração na indústria. Sendo assim, esta dissertação procura contribuir para ambientes industriais mais eficientes e modernos, tendo em conta os valores centrados no ser humano na Indústria 5.0, promovendo práticas industriais mais eficientes, seguras e colaborativas.

**keywords**

Industry 5.0, Human Robot Collaboration, Mixed Reality, Digital Twin, Remote Collaboration

**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 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.

All in all, 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 acadêmica, 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.