

**UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA**

Faculdade de Ciências e Tecnologia

Mestrado integrado em  
Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Programa de Introdução à Investigação Científica em  
Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

## **Relatório de Atividade**

**16981**

**Sistemas de Controlo Distribuídos Recorrendo a  
Microcontroladores e Microcomputadores**

***António Luís Teixeira da Silva Monte Pegado***

**58115**

Relatório apresentado na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa para avaliação no Programa de Introdução à Investigação Científica em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

André Rocha, DEEC

fevereiro, 2022

## **Resumo**

Neste Programa de Introdução à Investigação Científica com o grupo **RICS** foram explorados conceitos relacionados com sistemas de manufatura inteligentes e de controlo distribuído, codificação de sistemas em tempo real em diferentes linguagens de programação e implementação de diferentes protocolos de comunicação.

O presente estágio permitiu-me:

- explorar a instalação elétrica do kit de simulação de manufatura e de controlo distribuído – pesquisa relativa aos kits de simulação da *fischertechnik* e estudo das *datasheets* dos controladores baseados em *Arduino* e *Raspberry Pi*;
- programar os controladores para a execução de funcionalidades e acções direccionados à montagem final dos demonstradores – código desenvolvido em diferentes linguagens de programação como C/C++, *Java* e *Python*;
- integrar as funcionalidades de cada controlador em *Java* – estabelecer protocolos de comunicação (UDP e TCP) responsáveis pelo sincronismo associado ao sistema e pelo disparo de acções em tempo real – desenvolvimento de uma interface gráfica em *Java Swing* que permite ao utilizador controlar vários modos e parâmetros de execução;
- experienciar uma nova dinâmica e grupo de trabalho, num ambiente que estimula a cooperação e comunicação entre todos, permitindo assim tirar partido das competências de cada um em prol dos desafios e objetivos que o grupo tem a cumprir.

Este estágio proporcionou-me a experiência de trabalhar na minha área de interesse - Automação e Robótica em Sistemas de Tempo Real - aplicar conhecimentos adquiridos ao longo do meu percurso académico na NOVA SST, nas áreas de eletrónica, telecomunicações, programação e robótica, e desenvolver habilitações técnicas e competências de comunicação e de trabalho em grupo. Tratou-se de uma experiência que contribuiu para o meu desenvolvimento pessoal e profissional e a minha habilidade para a área e empenho demonstrados resultaram num convite por parte do professor André Rocha para contribuir em futuras atividades desenvolvidas pelo grupo de investigação RICS.

## **Abstract**

In this Introduction to Scientific Research Program with the RICS group, concepts related to intelligent manufacturing and distributed control systems, real-time systems coding in different programming languages and implementation of different communication protocols were explored.

This internship allowed me to:

- explore the electrical installation of the manufacturing simulation and distributed control kit – research on Fischer Technik simulation kits and study of datasheets for controllers based on Arduino and Raspberry Pi;
- programme the controllers for the execution of features and actions aimed at the final assembly of the demonstrators – code developed in different programming languages such as C/C++ and Python;
- integrate the functionalities of each controller in Java – establish communication protocols (UDP and TCP) responsible for the synchronism associated with the system and for triggering actions in real time – development of a graphical interface in Java Swing that allows the user to control various modes and execution parameters;
- experience a new dynamic and work group, in an environment that encourages cooperation and communication among all, thus allowing to take benefit from each one's skills in favour of the challenges and objectives that the group had to fulfil.

This internship provided me the experience of working in my area of interest - Automation and Robotics in Real Time Systems - to apply knowledge acquired during my academic career at NOVA SST, in the areas of electronics, telecommunications, programming and robotics, and to develop technical qualifications and communication and group work skills. It was an experience that contributed to my personal and professional development, and my skill in the area and demonstrated commitment resulted in an invitation from Professor André Rocha to contribute to future activities developed by the RICS research group.

## **Índice Geral**

1	INTRODUÇÃO.....	5
2	ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NO ÂMBITO DO PIIC.....	5
3	APRENDIZAGEM .....	12
4	CONTRIBUTO POTENCIAL .....	13
5	CONCLUSÕES.....	14

## **Índice de Tabelas**

Tabela 1 - Estruturação do estágio .....	5
Tabela 2 - Caracterização da Atividade PIIC 1 .....	7
Tabela 3 - Material utilizado para o desenvolvimento das tarefas da 1ª semana .....	7
Tabela 4 - Caraterização da Atividade PIIC 2 .....	8
Tabela 5 - Caraterização da Atividade PIIC 3 .....	10
Tabela 6 - Material utilizado para o desenvolvimento das tarefas da 3ª semana .....	10

## **Índice de Figuras**

Figura 1 - Montagem final dos 4 demonstradores controlados pelos controladores Arduino e RevPi .....	6
Figura 2 - Primeira montagem com um kit de processamento .....	7
Figura 3 - Controlador PLC da Industrial Shields M-Duino 58+ e demonstrador de processamento da Fischer Technik .....	8
Figura 4 - Segunda montagem com dois kits de processamento dispostos frente a frente controlados por Arduino .....	9
Figura 5 - Esquemático UDP .....	9
Figura 6 - PLC RevPi Core com módulo DIO e demonstrador de transporte da Fischer Technik .....	10
Figura 7 - Montagem final dos demonstradores constituintes da simulação de um sistema de manufatura .....	11
Figura 8 - Esquemático TCP .....	11
Figura 9 - Esquemático da rede dimensionada com todos os elementos envolvidos na comunicação .....	11
Figura 10 – Robotics and Industrial Complex Systems (RICS) .....	12
Figura 11 - Detecção e identificação de objetos .....	13
Figura 12 - Linha industrial na UNINOVA .....	14

## **1 INTRODUÇÃO**

No presente estágio PIIC, Sistemas de Controlo Distribuídos Recorrendo a Microcontroladores e Microcomputadores, abordei, conjuntamente com o meu colega João Amorim, conceitos relacionados com **sistemas de tempo real, controlo distribuído e protocolos de comunicação**.

Os planos de trabalho do PIIC foram planificados para terem a duração de 3 semanas, com o principal objetivo de realizar a comunicação e integração do controlo de diversos kits com recurso a controladores baseados em *Arduino* e *Raspberry Pi*. Tivemos a oportunidade de trabalhar com o grupo de investigação *RICS - Robotics & Industrial Complex Systems* – com a orientação do Professor André Rocha.

<b>Estruturação do estágio PIIC</b>		
<b>Sistemas de Controlo Distribuídos Recorrendo a Microcontroladores</b>		
<u>Composição do grupo de trabalho</u> António Pegado - 58115 João Amorim - 58324	<u>Orientador de estágio</u> Professor André Rocha	<u>Duração do estágio</u> 3 semanas, aprox. 8 h/dia Total de 112 horas

Tabela 1 - Estruturação do estágio

## **2 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NO ÂMBITO DO PIIC**

### **OBJETIVO E VISÃO GERAL**

O âmbito do estágio consistia em explorar os microcontroladores M-Duino 58+/57+ da *Industrial Shields*, e *Raspberry Pi Core w/DIO* e teve como **principal objetivo** aplicar as suas potencialidades ao controlo de quatro demonstradores da *fischer technik*, estabelecendo a comunicação entre controladores e integrando as funções programadas.

Ao longo do programa foram efetuadas as **montagens elétricas dos kits e controladores** que, por sua vez, foram **programados** e direcionados para o transporte e processamento de *packages*. Para este efeito, foram criados vários **clientes e servidores web que comunicam entre si por protocolos de comunicação** via Ethernet, como UDP e TCP.

A imagem abaixo representa a montagem final que planificámos no decorrer do estágio. A mesma engloba o controlo por diferentes controladores, a sua comunicação e montagem elétrica. Os kits A e D são controlados respetivamente por um M-Duino 58+ e por um M-Duino 57+. Os demonstradores B e C são ambos manipulados por um RevPi Core w/DIO.

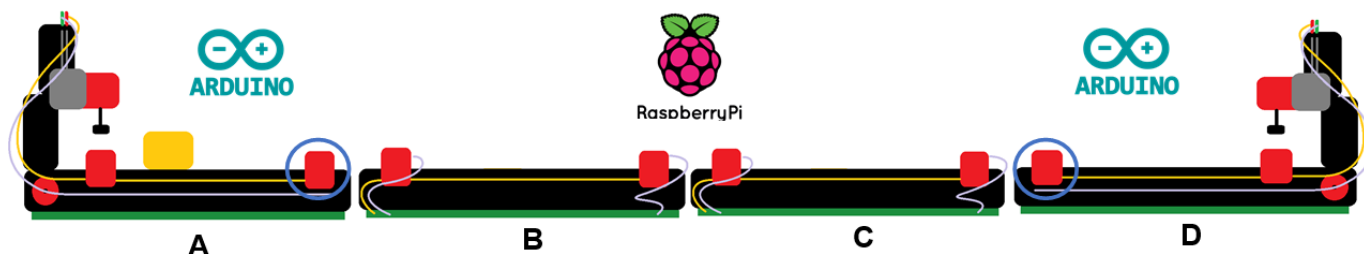


Figura 1 - Montagem final dos 4 demonstradores controlados pelos controladores Arduino e RevPi

A ideia de funcionamento dos demonstradores baseou-se na simulação do trabalho de uma linha de montagem e processamento industrial. Foram desenvolvidas funções específicas e independentes para cada kit que controlam a deslocação e processamento da *part*.

Na sua complexidade final, o sistema funciona da seguinte forma:

- 1) O pacote dá entrada num dos sensores do kit A ou do kit D (assinalados a azul).
- 2) O sistema reconhece a entrada de uma peça e envia-a para ser processada na estação mais perto de si. O pacote é processado e devolvido ao seu ponto de entrada (sensor).
- 3) De seguida, o pacote é enviado de uma estação de processamento para a outra, percorrendo os kits de transporte B e C no sentido de transporte necessário.
- 4) Por fim, o pacote é processado pela estação oposta e é devolvido ao seu sensor.

## RESUMINDO

Na implementação do projeto temos **dois kits de processamento** (A e D), **dois kits de transporte** (B e C) e **três controladores industriais**.

Teve de ser realizada a **montagem elétrica** de todo o sistema, bem como a programação das funcionalidades dos controladores para cada kit (C++ e Python).

Foi estabelecida a **comunicação entre controladores**, recorrendo a diferentes protocolos de comunicação e integrando todo o sistema numa aplicação Java.

## **FASEAMENTO DA ATIVIDADE**

### **1ª SEMANA – PRIMEIRO KIT E PRIMEIRO CONTROLADOR – INVESTIGAÇÃO**

Na primeira semana de estágio planificámos explorar as potencialidades do controlador da Industrial Shields, M-Duino 58+, que foi instalado para coordenar as ações de um kit de processamento da Fischer Technik.

Sabíamos logo de início que estes primeiros dias de trabalho seriam desafiantes e iriam requerer muita **perseverança na pesquisa e estudo de conceitos fulcrais** a serem aplicados ao longo do projeto.

De forma geral, foram desenvolvidas todas as funcionalidades do demonstrador de processamento [A] e foi dedicada uma extensa pesquisa e estudo para assimilar conceitos tais como, o upload e download de código num web server via Ethernet; protocolos de comunicação UDP e TCP/IP; OTA - *Over the Air - Library* e Ethernet sockets; integração e controlo em Java.

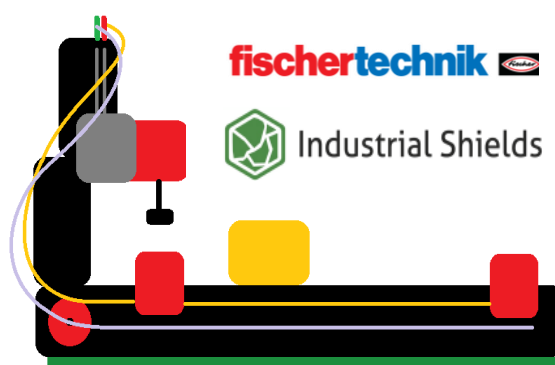


Figura 2 - Primeira montagem com um kit de processamento

Caraterização da Atividade PIIC			
Primeiro Kit e Primeiro Controlador – Pesquisa e Investigação			
<u>Grau de Autonomia</u>	<u>Grau de dificuldade</u>	<u>Duração da atividade</u>	<u>Estado</u>
Muito Alto	Intermédio	1 semana, 40 horas	Concluído

Tabela 2 - Caracterização da Atividade PIIC 1

MATERIAL	
<b>CONTROLADOR MODULAR PLC M-DUINO 58+</b> Equipamento da <b>Industrial Shields</b> baseado na placa Arduino Mega, <b>ATmega 2560</b> , especializado para uso profissional. O PLC M-DUINO é programado através de portas USB ou por conexão Ethernet. Trata-se de um controlador lógico com 58 I/Os.	<b>DEMONSTRADOR PUNCHING MACHINE 24V</b> Kit de simulação da <b>Fischer Technik</b> ideal para a demonstrações e <b>automação industrial</b> , como por exemplo o desenvolvimento de maquetes de estudo para grandes projetos.

Tabela 3 - Material utilizado para o desenvolvimento das tarefas da 1ª semana



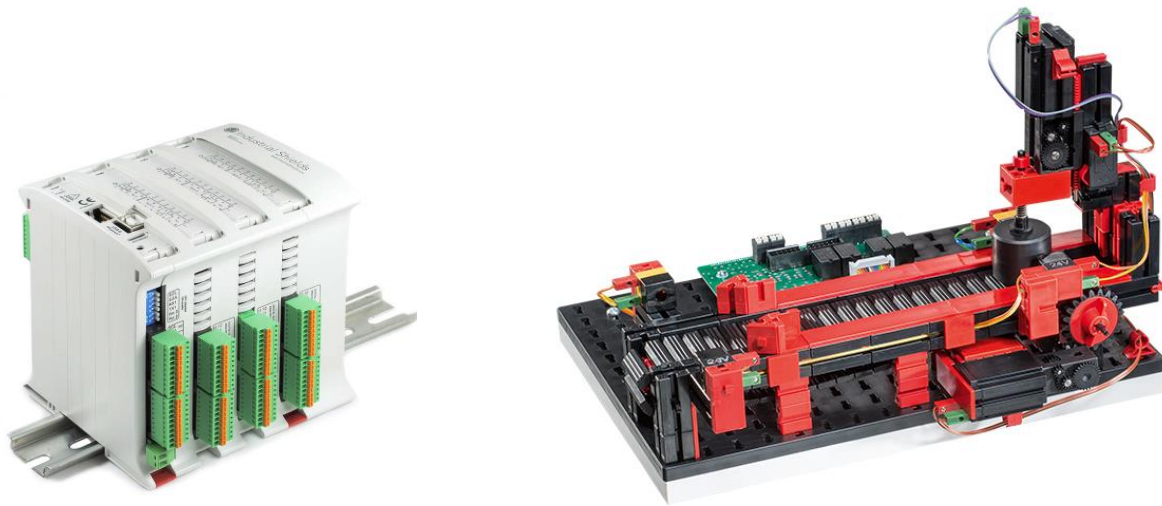


Figura 3 - Controlador PLC da Industrial Shields M-Duino 58+ e demonstrador de processamento da Fischer Technik

Foram programadas várias funções de movimento e ações que caracterizam o trabalho industrial numa linha de montagem. A codificação destas ações foi desenvolvida em linguagem C++, no Arduino IDE, e englobam o transporte do pacote, tanto para a direita como para a esquerda, a leitura de sensores, que sinalizam a posição do pacote, e o processamento e manipulação dos atuadores do kit.

Para o **controlo em tempo real** do deslocamento da passadeira, processamento do *package*, paragens de emergência e resumo de atividades, foi aplicada a biblioteca **FreeRTOS**, proporcionando a criação de *tasks*, a implementação de *queues* e o uso de semáforos – funcionamento em paralelo e conceitos de exclusividade mútua e sincronismo.

## 2ª SEMANA – MONTAGEM ELÉTRICA DO SEGUNDO KIT – COMUNICAÇÃO ENTRE KITS

A segunda semana ficou marcada por um envolvimento crescente com o grupo de investigação RICS. No início da semana participei numa habitual reunião do grupo RICS onde se discutiu o ponto de situação dos projetos em curso e planificámos o trabalho a ser realizado.

Caraterização da Atividade PIIC			
Montagem Elétrica do Segundo Kit – Comunicação entre Kits			
<u>Grau de Autonomia</u>	<u>Grau de dificuldade</u>	<u>Duração da atividade</u>	<u>Estado</u>
Muito Alto	Alto	1 semana, 40 horas	Concluído

Tabela 4 - Caraterização da Atividade PIIC 2

Comecei por trabalhar na montagem elétrica de um kit igual ao que tínhamos explorado, mas desta vez controlado por um PLC M-Duino 57+. A montagem foi concluída com sucesso e proporcionou-me trabalhar com materiais elétricos necessários à instalação kit - PLC, manusear instrumentos de medição elétricos e aperfeiçoar técnicas de trabalho com material elétrico.

Concluída a montagem deste novo kit definimos um novo objetivo: estabelecer a comunicação entre os dois controladores M-Duino por Ethernet e realizar a transição do package entre demonstradores como mostra a seguinte imagem.

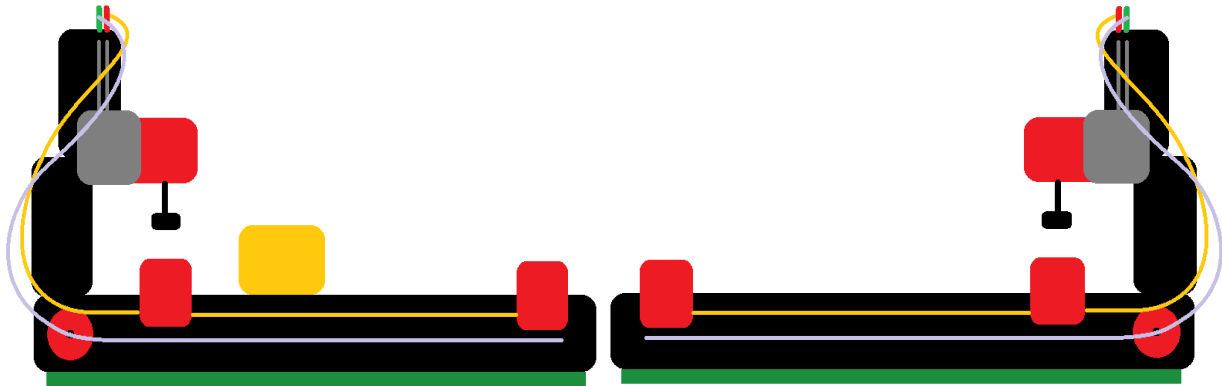


Figura 4 - Segunda montagem com dois kits de processamento dispostos frente a frente controlados por Arduino

De forma semelhante, programámos as ações e funcionalidades do novo kit (D), muito idênticas às do demonstrador (A) já explorado. Seguidamente, desenvolvemos uma aplicação em Java aplicando a programação orientada a objetos, bem como uma interface gráfica para o controlo das ações dos nossos kits.

A pesquisa efetuada ao longo da primeira semana de estágio acabou por se mostrar importante. Permitiu-nos estabelecer a comunicação via Ethernet entre o Java e os dois controladores, recorrendo ao protocolo de comunicação UDP, e assim garantir a transição do pacote entre kits.

O **User Datagram Protocol (UDP)** é um protocolo de comunicação simples e **sem conexão**, pois, embora permita o envio de um *datagram* num pacote IPv4, não garante que este tenha chegado corretamente – isto levou-nos mais tarde a desenvolver a comunicação por **TCP**

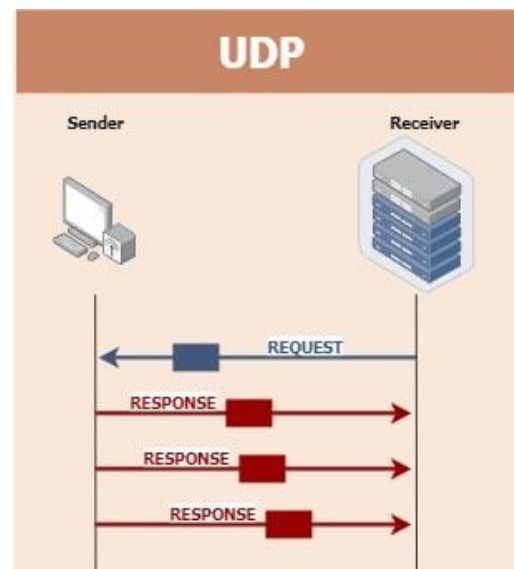


Figura 5 - Esquemático UDP

### 3ª SEMANA – MONTAGEM ELÉTRICA E SETUP FINAL – COMUNICAÇÃO TCP

Para esta última semana planeámos explorar as capacidades do controlador *RevPi Core 3*. Este controlador foi utilizado para monitorizar o comportamento dos dois últimos kits a serem instalados na nossa montagem, responsáveis pelo transporte do produto entre as duas estações de processamento com que já tínhamos trabalhado.

Caraterização da Atividade PIIC			
Primeiro Kit e Primeiro Controlador – Pesquisa e Investigação			
<u>Grau de Autonomia</u>	<u>Grau de dificuldade</u>	<u>Duração da atividade</u>	<u>Estado</u>
Muito Alto	Muito Alto	1 semana, 40 horas	Concluído

Tabela 5 - Caraterização da Atividade PIIC 3

MATERIAL	
<b>CONTROLADOR MODULAR PLC REVPI CORE 3</b> Modelo da KUNBUS baseado no microcontrolador <b>Raspberry Pi</b> . Pode ser complementado com outros módulos de I/O analógicos ou de conexão à rede. Para o nosso projeto foi utilizado o módulo <b>DIO</b> , <i>Digital Input and Output</i> .	<b>DEMONSTRADOR CONVEYOR BELT 24V</b> Kit de simulação da <b>Fischer Technik</b> ideal para a demonstrações e <b>automação industrial</b> , como por exemplo o desenvolvimento de maquetes de estudo para grandes projetos.

Tabela 6 - Material utilizado para o desenvolvimento das tarefas da 3ª semana



Figura 6 - PLC RevPi Core com módulo DIO e demonstrador de transporte da Fischer Technik

Após ter realizado a instalação elétrica, com sensores e atuadores testados e registados, demos início à semana com uma importante pesquisa sobre o controlador *RevPi Core 3* e o módulo *RevPi DIO* com a finalidade de configurar corretamente o controlador e garantir que a montagem elétrica não tinha erros.

Posteriormente foram desenvolvidas as funcionalidades de transporte nos kits B e C programadas em *Python*. Foi realizada a montagem que se encontra representada na imagem abaixo, integrando os quatro demonstradores controlados por diferentes PLCs. Cabia-nos agora estabelecer a comunicação aos kits B e C através do protocolo UDP que estava já a ser desenvolvido, permitindo o controlo em tempo real de uma simulação de manufatura inteligente.

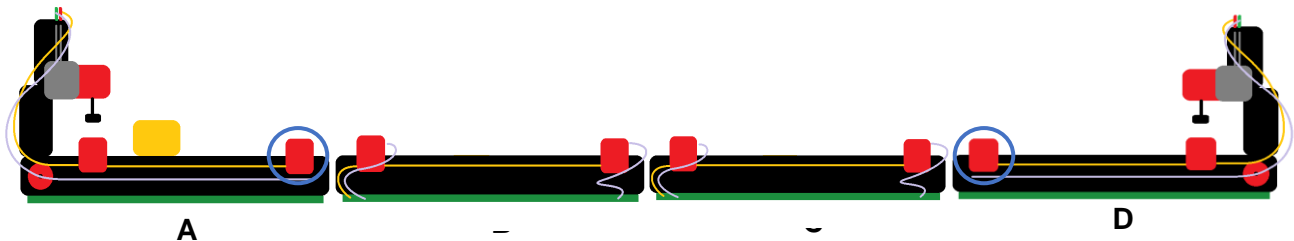


Figura 7 - Montagem final dos demonstradores constituintes da simulação de um sistema de manufatura

Uma vez atingida a comunicação por UDP via Ethernet, decidimos que, pelos problemas que estão associados a este protocolo, passaríamos a comunicar por TCP/IP. Garantimos assim que, após um *acknowledge* de ligação *client-server*, a comunicação não será interrompida, podendo confirmar o envio e a chegada do pacote.

**Transmission Control Protocol (TCP)** é um conjunto de protocolos de comunicação orientados à ligação capazes de estabelecer e manter uma comunicação, garantindo que todos os pacotes chegam ao seu destino através de *acknowledges*.

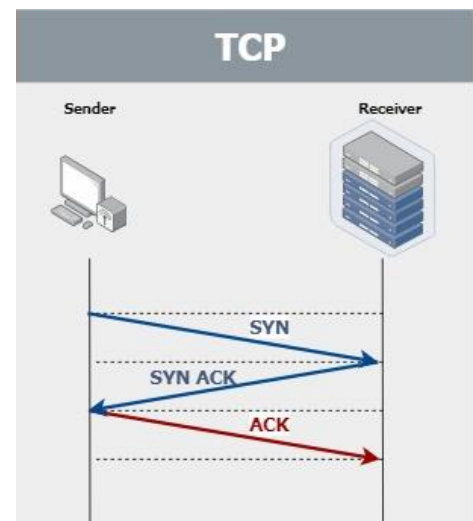


Figura 8 - Esquemático TCP

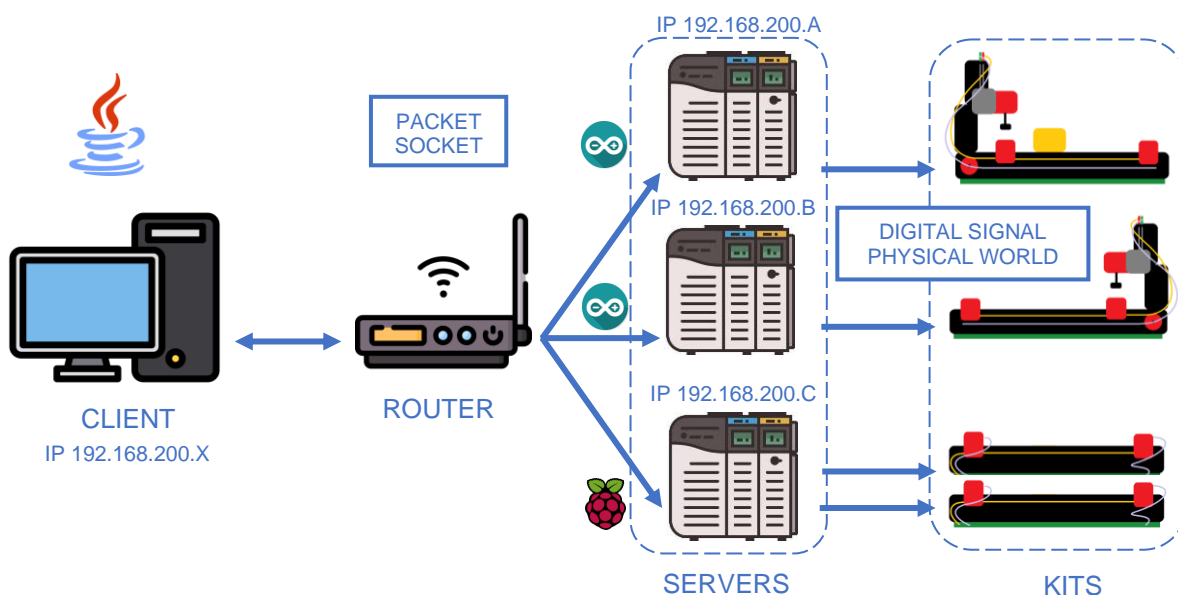


Figura 9 - Esquemático da rede dimensionada com todos os elementos envolvidos na comunicação

### **3 APRENDIZAGEM**

O presente programa de estágio, que decorreu entre os dias 7 e 25 de fevereiro, proporcionou-me a oportunidade de desenvolver muitas competências técnicas e organizativas, conjugar e aplicar conhecimentos que adquiri ao longo do meu percurso académico e explorar novas metodologias de trabalho em grupo.

Quanto às **competências pessoais** desenvolvidas, a planificação de tarefas proposta pelo grupo permitiu-me, não só aumentar o meu grau de organização, como também melhorar as minhas *skills* de comunicação, flexibilidade e adaptação a um novo ambiente de trabalho e a capacidade de autoanálise e de trabalho em equipa.

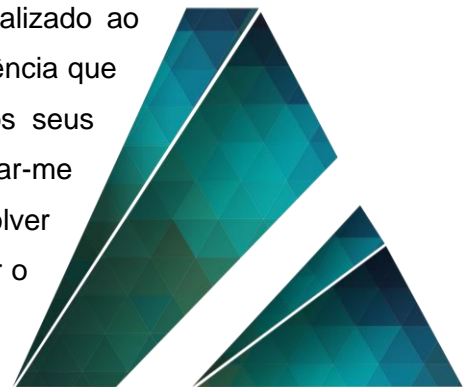
No entanto, a exigência do projeto resultou em alguns impasses que me ajudaram a melhorar as minhas habilidades de pesquisa e investigação para a resolução de problemas. Tudo isto contribui para o desenvolvimento do meu espírito crítico, autonomia e proatividade, três competências fulcrais para o meu futuro percurso.

Relativamente às muitas **competências técnicas** adquiridas, achei importante realçar o trabalho desenvolvido com o material elétrico para a instalação e montagem dos kits, a codificação dos PLCs - principalmente a programação das placas baseadas em *Arduino* e *Raspberry Pi* - e o desenvolvimento de protocolos de comunicação.

Estas atividades permitiram-me aplicar conhecimentos de várias unidades curriculares, como Sistemas em Tempo Real, Sistemas de Telecomunicações e Eletrónica, e ao mesmo tempo integrar vários conceitos no nosso sistema de simulação de manufatura inteligente. Tive a oportunidade de explorar outros ambientes de desenvolvimento integrado - *Arduino IDE* e *software Linux RevPi* - e linguagens de programação – Java, C++ e Python.

Finalmente, gostava de abordar o trabalho conjunto que foi realizado ao longo destas semanas com o grupo de investigação **RICS** e a experiência que foi **integrar o coletivo de trabalho** e conviver com cada um dos seus colaboradores. Foi muito gratificante conhecer este grupo – familiarizar-me com novos métodos de trabalho, participar em reuniões, desenvolver novas competências de comunicação e de cooperação e acompanhar o progresso dos diferentes projetos em que o RICS está envolvido.

Figura 10 – Robotics and Industrial Complex Systems (RICS)



De entre os vários projetos que o RICS se encontra a desenvolver, tive maior proximidade com o **AVANGARD, Advanced manufacturing solutions tightly aligned with business needs** - projeto europeu que trata da integração de três unidades de processamento num banco de testes de *Micro-factory*, foi concebido para produzir veículos elétricos urbanos e procura preparar o ambiente para novas formas de produção colaborativa e distribuída - e com o **AdAM, Advanced Automation for Manufacturing** - projeto que tem como objetivo adaptar certas alternativas e a inteligência da indústria de automação 4.0, i.e. *open-source frameworks*, *openMOS*, *ROS Industrial*, ..., a tecnologias de automação baseadas em padrões do século passado, com configurabilidade limitada, baixa reutilização e integrações complexas, e que não se adaptam às necessidades do mundo atual.

#### **4 CONTRIBUTO POTENCIAL**

As atividades propostas por mim e pelo meu colega foram muito bem planificadas e todas elas desenvolvidas com sucesso, fruto da nossa autonomia e empenho.

Para lá do objetivo final, contribuímos com ideias e, juntamente com o nosso orientador e outros colaboradores do grupo de investigação, projetámos planos a serem implementados no projeto desenvolvido ao longo do programa. A ideia central para trabalhos futuros assenta na **modulação e na identificação inteligente dos módulos/kits**. Tem como **objetivo tornar o sistema de manufatura mutável e mais flexível**, permitindo ao utilizador alterar e conjugar os diferentes módulos por diferentes ordens e este auto reprogramar-se, reconhecendo o posicionamento dos kits (*Object detection*) através de uma câmara com recurso a *Computer Vision* na distinção e identificação dos kits impulsionada por *deep neural networks (DNNs)* treinadas para reconhecer padrões.

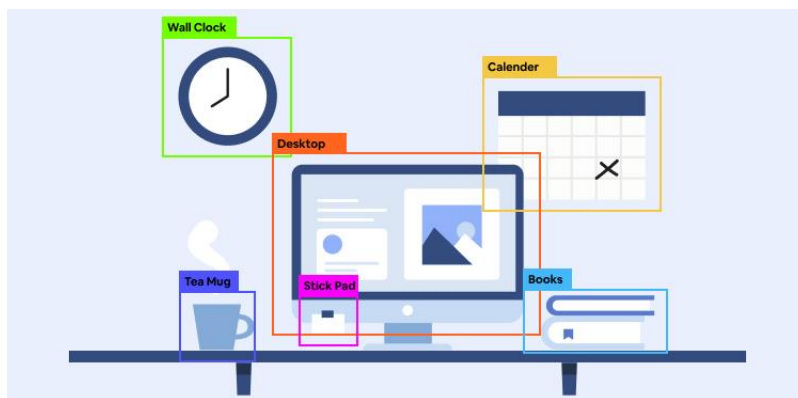


Figura 11 - Detecção e identificação de objetos



O projeto que desenvolvemos contribuiu, mais especificamente, para projetos e atividades futuras do grupo RICS – uma parte dos módulos do trabalho que explorámos será utilizado para uma demonstração na *Atlantic Innovation Week*, que decorrerá nos Açores de 14 a 17 de Março deste ano; e a codificação dos PLCs os conceitos de multi-threading aplicados em tempo real serão utilizados para programar uma linha industrial real, que se encontra na UNINOVA.



Figura 12 - Linha industrial na UNINOVA

## **5 CONCLUSÕES**

Sabíamos logo de início que o objetivo idealizado para o programa era ambicioso, mas estruturámos e planeámos as nossas tarefas com rigor, trabalhámos sempre com interesse e empenho e conseguimos completar o projeto, desenvolvendo ainda outras funcionalidades e planos para trabalhos futuros.

Fruto do meu empenho, interesse e habilidade para a área de estudo, foi-me proposto pelo professor André Rocha que continue a desenvolver o projeto deste estágio PIIC e a colaborar em futuras atividades do grupo RICS.

Este estágio permitiu-me conhecer melhor o trabalho que é feito nesta área de investigação científica. Proporcionou-me adquirir várias competências técnicas nas minhas áreas de interesse e desenvolver-me socialmente e profissionalmente. Tive a oportunidade de trabalhar com o notável grupo de investigação RICS, no qual fui muito bem recebido e me integrei rapidamente, e com o meu colega João Amorim com quem tive muito gosto de trabalhar.

## **AGRADECIMENTO**

Quero agradecer a todos os membros que constituem o grupo RICS que me acompanharam e com quem trabalhei ao longo destas 3 semanas, em especial ao professor André Rocha, pela experiência de aprendizagem e pela oportunidade de colaborar em projetos futuros do grupo, e ao meu colega João Amorim, que mostrou ser uma pessoa empenhada e organizada, com quem trabalhei muitíssimo bem no decorrer do projeto.