



INSTITUTO
UNIVERSITÁRIO
DE LISBOA

Monitorização e análise de consumos energéticos em Espaços Públicos

Daniel Dantas Calé

Mestrado em Engenharia de Telecomunicações e Informática

Orientador:

Professor Doutor João Carlos Amaro Ferreira, Professor Auxiliar com
Agregação
ISCTE-IUL

Co-Orientadora:

Professora Doutora Catarina Eufémia Domingues Alves Ferreira da Silva,
Professora Auxiliar
ISCTE-IUL

Dezembro, 2020



TECNOLOGIAS
E ARQUITETURA

Departamento de Ciências e Tecnologias da Informação

Monitorização e análise de consumos energéticos em Espaços Públicos

Daniel Dantas Calé

Mestrado em Engenharia de Telecomunicações e Informática

Orientador:

Professor Doutor João Carlos Amaro Ferreira, Professor Auxiliar com
Agregação
ISCTE-IUL

Co-Orientadora:

Professora Doutora Catarina Eufémia Domingues Alves Ferreira da Silva,
Professora Auxiliar
ISCTE-IUL

Dezembro, 2020

Direitos de cópia ou Copyright
©Copyright: Daniel Dantas Calé.

O ISCTE - Instituto Universitário de Lisboa tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicitar este trabalho através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, de o divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao meu orientador Professor. Dr. João Carlos Ferreira por todo o apoio e orientação ao longo de todo o trabalho. Desde logo, por ter aceitado ser o meu orientador e propor um tema de dissertação que captou a minha atenção e dedicação. Pela confiança depositada em mim e total liberdade de ideias que tinha e queria desenvolver no trabalho, por ter disponibilizado todas as matérias que fui precisando e acesso total ao laboratório de IoT. Agradeço-lhe por valorizar o meu trabalho, bem como por me dar a oportunidade de apresentar e ensinar outros estudantes sobre este trabalho durante a Summer School 2020 do ISTAR, ISCTE-IUL. E também na parte mais importante, a escrita da dissertação agradeço junto com a Professora Catarina Ferreira da Silva, pela paciência e ajuda, na organização das ideias e na estrutura de escrita, de forma a tentar descrever em escrito todo o trabalho que fiz.

Gostaria também de agradecer à comunidade universitária ISCTE-IUL, em especial a Unidade de Manutenção, onde o Sr. Eng. João Moreira demonstrou total disponibilidade e interesse no meu trabalho, ajudando as permissões e com o seu tempo para visitar os quadros elétricos que tinha interesse em ver e pela ajuda na implementação dos sensores.

Um agradecimento a vários colegas e amigos, que me ajudaram com o seu conhecimento e experiência no desenvolvimento do trabalho. Em especial ao Sr. Eng. Rui Santos, pela ajuda no desenho da base de dados, ao Sr. Manoel Wagner de Melo, pela ajuda no desenvolvimento dos dashboards e pela escolha das cores. E agradecer ainda ao futuro Dr. Bruno Mataloto e ao Eng. Diogo Santos pela disponibilidade em partilhar as experiências, o que foi muito importante para dar os primeiros passos no trabalho e no mundo do IoT.

A todos os meus colegas de trabalho, agradeço por me ensinarem a ser um profissional melhor, por me aceitarem calorosamente. Pelo incentivo em terminar o mestrado e nunca terem posto entraves ou exigências em alturas mais críticas de trabalho ou na minha saída.

Quero ainda agradecer às minhas irmãs e irmão, pelo apoio e motivação em terminar o meu mestrado, sei que isto é apenas mais uma etapa mas no futuro ainda terei mais que vou precisar superar.

A todos os que enumerei o meu sincero, e mais alguns e posso ter esquecido o meu mais sincero “Obrigado”.

Resumo

Este documento apresenta o trabalho realizado na dissertação de mestrado em Engenharia de Telecomunicações e Informática e descreve o desenvolvimento, validação e posterior implementação do sistema de Gestão Energética de Edifícios Públicos (GEEP), um sistema com infraestruturas *Internet of Things* (IoT) e comunicação *Long Range Wide Area Network* (LoRaWAN), capaz de monitorizar o consumo de energia em tempo real de edifícios públicos. É um sistema caracterizado pela flexibilidade, eficiência e simplicidade na recolha e armazenamento de dados energéticos, e ainda disponibiliza processos de análise de dados, apresentando uma visão geral de consumo ao longo do tempo, com identificação de padrões de consumo.

Neste trabalho, foi projetado e feito todo o processo de desenvolvimento do sistema IoT GEEP, desde a fase de conceção da arquitetura do sistema até à fase de implementação; criado equipamentos de recolha de dados de energia consumida com o uso de placas eletrónicas Arduino e sensores de transformadores de corrente (TC), transmitindo os dados recolhidos através do protocolo de comunicação LoRaWAN aplicado no campus do Instituto Superior de Ciências do Trabalho e da Empresa, Instituto Universitário de Lisboa (ISCTE-IUL). Todos os restantes processos passam por um microcomputador Raspberry Pi usado como servidor de aplicação, bem como aplicações em *cloud*, *open-source* e sem licenças pagas, preparadas para visualização de *dashboards* em qualquer dispositivo móvel e computador com ligação à internet. Todos os equipamentos físicos do sistemas são de baixo custo e fácil implementação, simplificando a sua utilização em diferentes ambientes, desde edifícios públicos, de diferentes dimensões e complexidade.

Mas o principal propósito do sistema GEEP é demonstrar e informar utilizadores comuns, sem conhecimentos técnicos em eletricidade, o grau e quantidade de energia que consomem, por via de representações tridimensionais do local, gráficos e estatísticas, e desta forma dar mais informação para tentarem fazer um uso de energia mais sustentável e consciente.

Palavras-chave: Internet das Coisas, LoRaWAN, Análise de Dados, Consumo Elétrico, Monitorização de Energia, Cidades Inteligentes, Sustentabilidade, Sensores Transformadores de Corrente, BIM.

Abstract

This document presents the work done in the Master's thesis in Telecommunications and Informatics Engineering and describes the development, validation and subsequent implementation of the Public Buildings Energy Management (GEEP) System, a system based on the Internet of Things (IoT) infrastructure and Long Range Wide Area Network (LoRaWAN) communications, capable of monitoring the real time energy consumption of public buildings. It is a system characterised by flexibility, efficiency and simplicity with regards to the collection and storage of energy data, and also provides data analysis processes, presenting an overview of consumption over time, with identification of consumption patterns.

In this work, the entire development process of the IoT GEEP system was designed and carried out, from the design phase of the system architecture to the implementation phase; equipment was created to collect energy consumption information using Arduino electronic boards and current transformer (CT) sensors, transmitting the data collected through the LoRaWAN network located in the campus of the Instituto Superior de Ciências do Trabalho e da Empresa, Instituto Universitário de Lisboa (ISCTE-IUL). All other processes pass through a Raspberry Pi microcomputer used as an application server, as well as applications in cloud, open-source, prepared for viewing dashboards on any mobile device and computer with internet connection. All the physical equipment of the system is low cost and easy to implement, simplifying its use in different public buildings of different dimensions and complexity.

But the main purpose of the GEEP system is to demonstrate and inform common users, without technical knowledge in electricity, the degree and amount of energy they consume, by means of three-dimensional representations of the site, graphics and statistics, and thus give more information to try to make a more sustainable and conscious use of energy.

Keywords: Internet of Things, LoRaWAN, Data Analysis, Electrical Consumption, Energy Monitoring, Smart Cities, Sustainability, Current Transformer Sensors, BIM.

Índice

Agradecimentos	II
Resumo	III
Abstract	IV
Lista de Figuras	VII
Lista de Acrónimos e Nomenclatura.....	IX
Capítulo 1. Introdução	1
1.1. Motivação	1
1.2. Enquadramento	2
1.3. Objetivo	3
1.4. Estrutura da Dissertação	4
Capítulo 2. Estado da Arte	5
2.1. Sustentabilidade.....	5
2.1.1. Programas de Sustentabilidade.....	7
2.2. Sistemas de Monitoração de Energética.....	9
2.3. Cloud Computing, Fog Computing e Edge Computing	11
2.4. Servidor MQTT	12
2.5. Representação Visual 3D	14
Capítulo 3. Sistema IoT - Gestão Energética de Edifícios Públicos	17
3.1. Identificação dos requisitos	17
3.2. Arquitetura e Descrição do Sistema	19
3.2.2. Hardware Layer: Sensor e Microcontrolador.....	20
3.2.2.1. Sensor Transformador de Corrente: SCT-013-000.....	22
3.2.2.2. Microcontrolador: Arduino MKR 1300 WAN	24
3.2.3. Network Layer: LoRaWAN e TTN (MQTT)	25
3.2.4. Data Layer: Node-RED, Base de Dados e Jupyter Notebook	26
3.2.4.1. Servidor Node-RED.....	27
3.2.4.2. Base de dados	28

3.2.4.3. Jupyter Notebook	30
3.2.5. Application Layer: Dashboard, Power BI e BIM	31
3.2.5.1. Dashboard Node-RED.....	31
3.2.5.2. Power BI.....	33
3.2.5.3. Modelo BIM	34
3.3. Desenvolvimento do sistema	35
Capítulo 4. Implementação e Resultados	37
4.1. Implantação do Sistema	37
4.1.1. Visualização Dashboard Online.....	40
4.1.2. Visualização do Modelo BIM	41
4.2. Implementação no AVAC Edifício 1.....	43
4.2.1. Visualização Dashboard Online	44
4.3. Validação do Sistema no Laboratório IoT - Sala C707.....	46
4.3.1. Visualização Dashboard Online.....	47
4.4. Dificuldades de desenvolvimento	48
Capítulo 5. Conclusão	51
5.1 Trabalhos Futuros	52
Referencias Bibliográficas	54
Anexos	58
Anexo 1: Esquema elétrico Quadro 1-S, Serviços Académicos	58
Anexo 2: Artigo Submetido	61

Lista de Figuras

Figura 1 - Previsão de consumos de energia até 2050 [1].	1
Figura 2 - Gastos Energéticos por setores na EU [3].	2
Figura 3 - Os três pilares da sustentabilidade [21].	6
Figura 4 - Diferentes paradigmas de computação, do ponto de vista da rede de telecomunicações [21].	12
Figura 5 - Modelo simplificado do padrão publicar/subscrever [29].	13
Figura 6 - Exemplo Modelo BIM com demonstração de sensibilidade térmica [30].	15
Figura 7 - Arquitetura e constituição do sistema GEEP.	20
Figura 8 - Equação potência ativa média.	21
Figura 9 - Protótipo do sensor IoT de corrente trifásica.	21
Figura 10 - Princípio de transformador de corrente [31].	22
Figura 11 - Três Sensores TC SCT-013-000 usados para medir corrente trifásica.	22
Figura 12 - Diagrama de Circuitos sensor trifásico.	23
Figura 13 - Arduino MKR WAN 1300, com antena LoRa.	24
Figura 14 - Consola de comando de aplicação da TTN.	25
Figura 15 - Servidor do Sistema GEEP, a.) Microcomputador Raspberry Pi, b.)	
Funcionalidades das aplicações do servidor.	27
Figura 16 - Exemplo de fluxo programável no Node-RED - Secretaria ISCTE-IUL.	27
Figura 17 - Diagrama de Relação entre entidades - SMARTBUILDING_ISCTE.	29
Figura 18 - Funções Python - Pandas e Numpy.	30
Figura 19 - Visualização da confirmação dos sensores do sistema, através do Dashboard Node-RED.	32
Figura 20 - Dashboard Power BI, Menu de opções.	33
Figura 21 - Modelo BIM - Secretaria do ISCTE-IUL.	34
Figura 22 - Diagrama de funcionamento do sistema GEEP.	35
Figura 23 - Implantação dos sensores na secretária.	38
Figura 24 - Sensores em funcionamento e a transmitir dados para o sistema GEEP.	39
Figura 25 - Dashboard Node-RED para gestão e manutenção dos sensores da secretaria do ISCTE-IUL.	40
Figura 26 - Dashboard Power BI com gráficos e estatísticas dos consumos de energia da secretaria.	41
Figura 27 - Modelo BIM dos Serviços Académicos do ISCTE-IUL, com consumos de energia.	42

Figura 28 - Implantação dos sensores de monitorização do AVAC do Edifício 1.....	44
Figura 29 - Dashboard Node-RED para gestão e manutenção do sensores do AVAC Edifício 1.....	45
Figura 30 - Dashboard Power BI com gráficos e estatísticas dos consumos de energia do AVAC.	45
Figura 31 - Sensor ambiente de teste e Debug do Sistema, implementado no Laboratório de IoT.	46
Figura 32 - Sensor de trifásico AC para testes e Debugs, no Laboratório de IoT.	47
Figura 33 - Dashboard Node-RED para gestão e manutenção do sensores do Laboratório de IoT.	48
Figura 34 - Quadro 1S - Pannel normal, descrição dos circuitos.	58
Figura 35 - Quadro 1S - Pannel emergência, descrição dos circuitos.	59
Figura 36 - Circuitos de tomadas do quadro elétrico dos Serviços Académicos.....	60

Lista de Acrónimos e Nomenclatura

AC	Corrente Alternada
AI	<i>Analog Input</i>
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
BIM	<i>Building Information Model</i>
CC	<i>Cloud Computing</i>
COVID-19	Coronavirus Disease 2019
DB	<i>Data Base</i>
DI	<i>Digital Input</i>
EC	<i>Edge Computing</i>
EU	Euro
FC	<i>Fog Computing</i>
GEEP	Gestão Energética de Edifícios Públicos
ICT	<i>Information and Communications Technology</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
ISCTE-IUL	Instituto Superior de Ciências do Trabalho e da Empresa, Instituto Universitário de Lisboa
IT	Tecnologias da Informação
LoRa	<i>Long Range</i>
LoRaWAN	<i>Long Range Wide Area Network</i>
MQTT	<i>Message Queuing Telemetry Transport</i>
QGBT	Quadros Geral de Baixa Tensão
UE	União Europeia.
TC	Transformador de corrente
TTN	The Things Network
k/T/W/Wh	Kilo/Tera/Watt/Watt-hour

Capítulo 1. Introdução

1.1. Motivação

Desde o início do século XXI, as tecnologias de informação têm vindo a mudar e a evoluir constantemente, tornando-se uma parte muito importante da sociedade moderna em todo o mundo. Para suportar esta evolução, a produção de energia tem um papel importante, de acordo com um estudo realizado em 2018, continuará a aumentar exponencialmente até 2050 de modo a suportar os consumos energéticos mundial [1]. Como se pode observar na Figura 1, a maioria do consumo mundial de energia primária resulta da queima de fontes poluentes e não renováveis, o que contribui para o aquecimento global, afetando a saúde da humanidade nas próximas gerações [2] e os ecossistemas em todo o mundo.

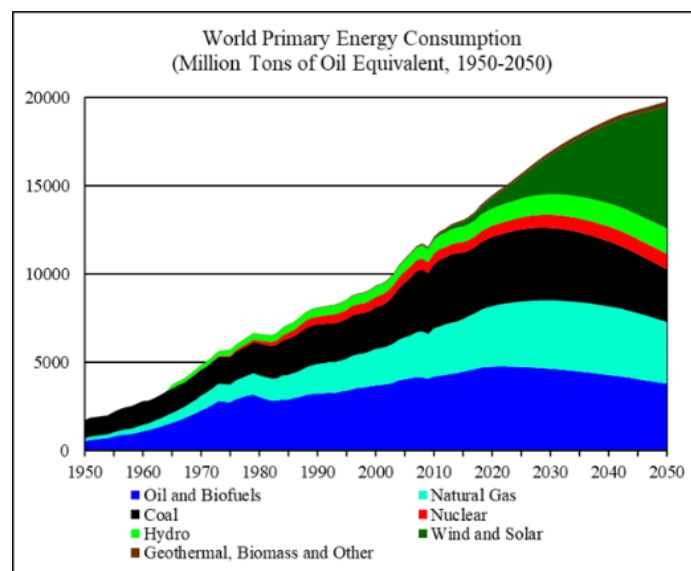


Figura 1 - Previsão de consumos de energia até 2050 [1].

Apesar de a produção de energia renovável ter vindo a crescer durante as últimas décadas, não é suficiente para compensar a redução substancial da queima de combustíveis fósseis. Assim, é necessário encontrar formas de utilizar a energia de uma forma mais sustentável e rentável, evitando o desperdício energético e reduzindo assim a pegada de carbono derivada da sua produção.

1.2. Enquadramento

Nos últimos anos, a sustentabilidade energética e a preocupação ambiental são temas de destaque para a sociedade contemporânea, mas é difícil implementar medidas que fazem realmente a diferença. Como se observa na Figura 2, o consumo de energia está dividido em vários sectores da sociedade, por esta razão, é difícil apresentar medidas para reduzir o consumo de energia em todos os sectores. Apesar disso, é possível utilizar a energia de uma forma mais sustentável, por exemplo:

Nos 28 Estados-Membros da União Europeia (UE) houve uma diminuição de 5,7% no consumo de energia entre 2005 e 2017, principalmente devido a reduções no sector da indústria onde o consumo energético tem um peso económico elevado [3].

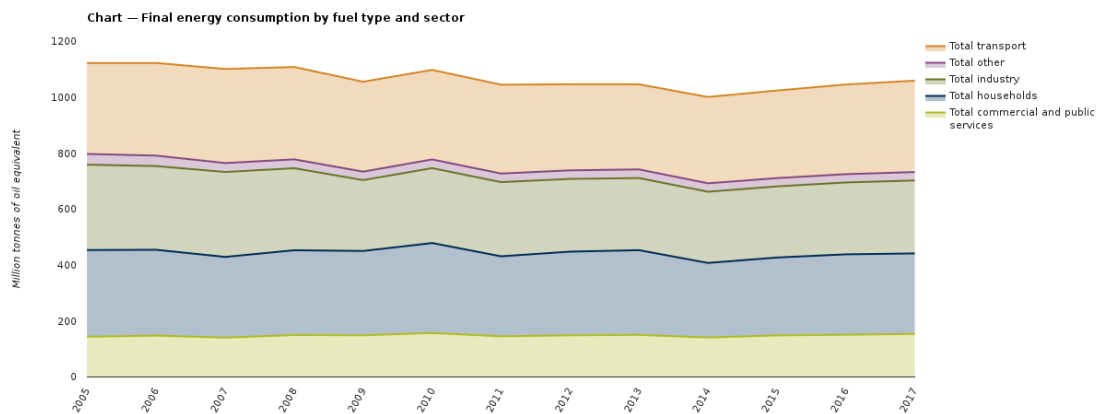


Figura 2 - Gastos Energéticos por setores na EU [3].

O principal motivo para a redução do consumo energético no sector da indústria deve-se ao investimento em novas tecnologias de monitorização. Uma das novas áreas tecnológicas em desenvolvimento é a *Internet of Things* (IoT), que disponibiliza métodos para obter dados e fornecer análises e estatísticas a partir de sensores sem fios com a possibilidade de se instalar em qualquer local possível, tendo assim a capacidade de ajudar em muitos fatores da sociedade.

Exemplos de tecnologias IoT variam desde dispositivos orientados para o consumidor, tais como artigos de consumo (*smartphone* ou *smartband*), soluções domésticas inteligentes (*Consumer IoT*), a equipamentos ligados em empresas (*Enterprise IoT*) e bens industriais tais como máquinas, robôs, ou mesmo trabalhadores em fábricas e instalações industriais inteligentes (*Industry 4.0*) [4].

1.3. Objetivo

O objetivo deste trabalho é desenvolver um sistema IoT de gestão energética em edifícios públicos que permita a recolha de informação de energia consumida em tempo real e apresentar a informação de consumos energéticos ao utilizador final. Este sistema faz parte de um projeto científico em curso com financiamento da Gulbenkian no ISCTE, o *University Community Engagement in Technologies for Sustainability: a Social Architecture*¹.

Os principais objetivos que propomos atingir com esta dissertação são os seguintes:

- Implementar um sistema IoT em salas e locais no *campus* ISCTE-IUL tendo em conta o tema da sustentabilidade, e recolha de informação de consumos de energia;
- Desenvolver várias aplicações para visualização, com diferentes abordagens de mostragem da informação recolhida e processada.

Este trabalho foi implementado em salas e áreas no campus ISCTE e será utilizado para recolha de dados, com a duração de um ano, para o projeto em curso. Estes dados são processados e apresentados visualmente aos utilizadores em modelos 3D e gráficos estatísticos, através do uso de cores e de modelos comparativos de consumos elétricos.

Deste modo, é apresentado o consumo de energia médio e atual de uma forma mais perceptível para qualquer utilizador, com ou sem conhecimentos na área, oferecendo uma ferramenta que poderá ser utilizada para uma utilização de energia mais sustentável.

¹ <https://ciencia.iscte-iul.pt/bo/author/projects/1189>

1.4. Estrutura da Dissertação

A dissertação está dividida em cinco capítulos de forma a apresentar os conceitos, os objetivos, as funcionalidades do sistema e conclusões de forma simples e clara.

No capítulo 1, apresentam-se as motivações e os objetivos que levaram a esta dissertação, assim como as ideias que surgiram para contornar os problemas atualmente encontrados na sustentabilidade energética.

No capítulo 2, é feita a revisão do estado-da-arte dos temas abordados e das tecnologias usadas no sistema GEEP desenvolvido. Apresentamos ainda vários sistemas existentes que possuem temas ou objetivos similares ao da presente dissertação e que ajudaram a complementar e a melhorar o seu desenvolvimento.

No capítulo 3, identificamos os requisitos para o desenvolvimento do nosso sistema e como foi pensado a arquitetura do mesmo, dividindo o sistema em várias partes e explicando o funcionamento de cada e como se interligam. Em cada parte do sistema, que demos o nome de *Layer*, descrevemos como é constituído, que tipos de serviços e tecnologias foram usadas, assim como, o seu funcionamento.

- *Hardware Layer*: constituição dos sensores;
- *Network Layer*: protocolos de comunicação e de rede;
- *Data Layer*: servidores de rede e armazenamento em base de dados;
- *Application Layer*: descrição de funcionalidades e aplicações do sistema.

No capítulo 4, apresenta-se o funcionamento do sistema GEEP e em que casos foi aplicado. Nos locais com implementação de sensores, apresentamos a caracterização de cada local, objetivos definidos, um mapa de implementação, e os pormenores e particularidades de cada caso. Finalmente, apresentamos os resultados obtidos, teste de funcionalidades e problemas de desenvolvimento ocorridos durante a realização deste trabalho.

Na conclusão, no capítulo 5, apresentamos os resultados e conclusões que obtivemos no trabalho. Apresentamos ainda os próximos passos no desenvolvimento do sistema GEEP e futuras aplicações interessantes, como melhorar a interação com o utilizador e, assim, possibilitar uma gestão energética mais sustentável.

Capítulo 2. Estado da Arte

Com a análise do estado da arte, é pretendido mostrar a literatura dos vários temas relevantes para o desenvolvimento desta dissertação. O primeiro tema diz respeito à sustentabilidade e aos vários programas de sustentabilidade que têm vindo a ser desenvolvidos. Foram investigados vários sistemas de monitorização por sensores e que usam tecnologias IoT, desta forma tentamos obter o máximo de conhecimento para aprofundar o sistema desta dissertação. Como o sistema é constituído por vários componentes e equipamentos computacionais, e dada a importância do processamento dos dados e onde este é feito, foi feita uma pesquisa dos diferentes tipos de computação, por forma a tentar usar todos os equipamentos de maneira correta e eficaz. Com a comunicação sem fios necessária usar para a implementação de sensores IoT, o uso de tecnologias de controlo de mensagem enviadas e recebidas pelo sistema torna-se de elevada importância, desta forma investigamos tecnologias que ajudem neste aspecto, e assim o protocolo *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT) foi considerado para esse efeito. Finalmente, foi investigado o modelo *Building Information Model* (BIM), como forma de amostragem dos dados recolhidos pelos sensores IoT, pois difere de outras formas mais convencionais, tais como a mostragem do valor inteiro dos dados ou de gráficos e estatísticas. O BIM é uma forma mais simples de relacionar os dados recolhidos digitalmente com um modelo do mundo físico, e desta forma existir uma relação mais natural para o entendimento dos dados pelos utilizadores.

2.1. Sustentabilidade

A sustentabilidade não é um processo simples, é um conjunto de abordagens que têm como objetivo assegurar que a evolução tecnológica e social da atual geração assegura as necessidades presentes sem comprometer as necessidades da geração futura:

“Sustainability – the capacity to endure - has emerged as a concern of central relevance for society. However, the nature of sustainability is distinct from other concerns addressed by computing research, such as automation, self-adaptation, or intelligent systems. It demands the consideration of environmental resources, economic prosperity, individual wellbeing, social welfare, and the evolvability of technical systems.” [5].

Ao longo dos anos, vários autores definiram a sustentabilidade composta por três pilares centrais em desenvolvimento [6], [7], [8]:

- **Económico:** um sistema que seja economicamente sustentável deve ser capaz de produzir bens e serviços numa base contínua, a fim de obter lucro económicos. Mas enquanto o lucro é importante para qualquer negócio, o pilar económico também inclui a gestão empresarial de processos, tais como a conformidade, governação adequada, e gestão de risco;
- **Social:** um sistema socialmente sustentável deve ter o apoio dos seus funcionários, partes interessadas e consumidores/comunidade em que opera, e por isso deve alcançar justiça na distribuição e oportunidade, basicamente, tratando os funcionários da forma como eles devem ser tratados com os benefícios sociais em sectores como a saúde, a educação, e igualdade, bem como responsabilidade política e participação;
- **Ambiental:** centrado na redução do desperdício e na manutenção dos recursos, o sistema deve evitar a exploração excessiva de recursos, tanto renováveis como não renováveis, visto a primeira ser algo que definitivamente não pode ser esgotado. Processos ambientais podem incluir a manutenção da biodiversidade, a estabilidade atmosférica, e outras funções do ecossistema que não são normalmente classificadas como recursos económicos.

Estes três pilares, embora muitas vezes sejam desenvolvidos separadamente, podem e devem ser usados em conjunto para que se possam reforçar e ajudar mutuamente indo ao encontro de um verdadeiro sistema sustentável, tal como apresentado na Figura 3.

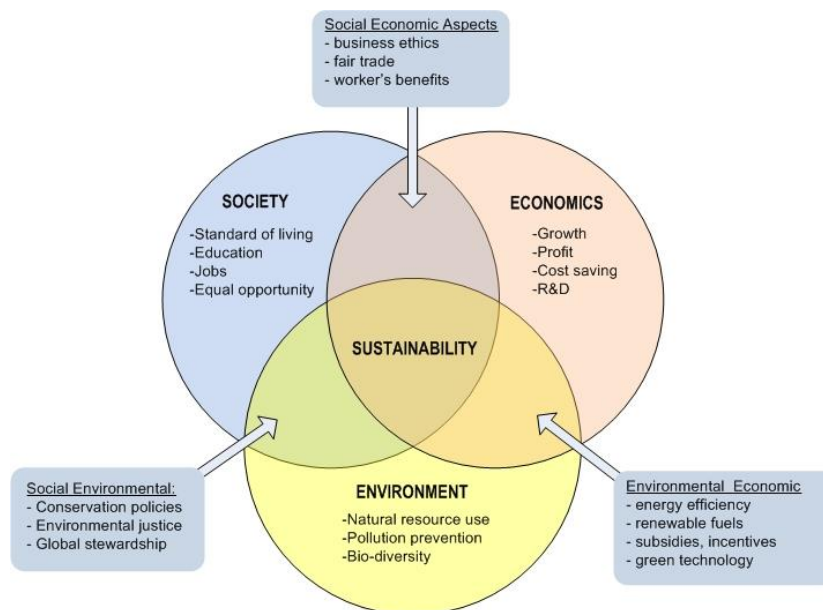


Figura 3 - Os três pilares da sustentabilidade [21].

2.1.1. Programas de Sustentabilidade

Na última década, tem havido grandes preocupações quando se trata do bem-estar do planeta. A União Europeia, especialmente, tem vindo a criar diretivas energéticas de gestão desde 2009 para trabalhar na melhoria da eficiência energética no futuro. Esta melhoria resultaria principalmente no aumento da poupança monetária, reduzindo da dependência de fornecedores externos de petróleo e gás, especialmente quando se trata de aquecimento e, como é habitual, com projetos de sustentabilidade, para ajudar a proteger o ambiente [9].

"Diretiva (UE) 2018/2002 da União Europeia Parlamento e do Conselho, de dezembro de 2018, que altera a Diretiva 2010/31/UE relativa ao desempenho energético dos edifícios e a Diretiva 2012/27/UE sobre eficiência energética", apresenta um novo quadro regulamentar que inclui uma meta de eficiência energética renovável para 20% de eficiência energética atingida em 2020 em 32,5% [9].

As principais diretrizes que a atual diretiva estabelece podem ser resumidas em alguns pontos:

- O estabelecimento de um novo objetivo de eficiência energética renovável de 32% até 2030 e a redução de emissões de gases com efeito de estufa em 40%;
- Aumentar a produção de energias renováveis;

"(27), O planeamento das infraestruturas necessárias para a produção de eletricidade a partir de fontes renováveis deverá ter em conta políticas relacionadas com a participação das pessoas afetadas pelos projetos, em particular a população local" [10].

- Facilitação da entrega e a redução dos procedimentos administrativos;

"(23), os Estados Membros devem prever medidas para simplificar a implantação de infraestruturas de recarga com vista a abordar barreiras, tais como incentivos divididos e complicações administrativas que os proprietários individuais encontram quando tentam instalar um ponto de recarga em o seu lugar de estacionamento".

"(34), os atuais sistemas de controlo independentes para o desempenho energético certificados podem ser usados para verificação de conformidade

e devem ser reforçados para assegurar que os certificados são de boa qualidade" [10].

- Criação de um ambiente sustentável com acesso igual para todos, assim concentrando-se não só no objetivo final, mas também na acessibilidade e na relação custo-eficácia quando se trata de renovações de edifícios mais antigos, juntamente com um enfoque nas técnicas que reduzem o consumo de energia para aquecimento ou arrefecimento, como por exemplo isolamento;
- Para fazer uso de novas tecnologias sensoriais, tais como sala de autorregulação com sensores de temperatura, não só cria uma gestão mais eficiente dos recursos, sendo assim uma tecnologia rentável e significativa de poupança de energia, mas também provou ser um substituto adequado para as inspeções periódicas;
- Criação de infraestruturas, em áreas residenciais e não residenciais, para facilitar a construção de mecanismos, tais como estações de carregamento inteligentes de forma a encorajar a utilização deste tipo de veículos que representam uma parte considerável de energia limpa. A criação de infraestruturas visa também diminuir os custos de instalação de pontos de recarga não só para os indivíduos, mas para empresas que tencionem fazer uso do serviço e fornecer as condições certas para a rápida implantação destas, quando necessário;
- Criação de um indicador de prontidão inteligente que meça o grau de preparação de um edifício para acomodar dispositivos inteligentes;

"(30), O indicador de prontidão inteligente deve ser usado para medir a capacidade de edifícios para utilizar tecnologias de informação e de comunicação e sistemas eletrónicos para adaptar o funcionamento dos edifícios às necessidades dos ocupantes e dos utilizadores e para melhorar a eficiência energética e o desempenho geral dos edifícios. O indicador de prontidão inteligente deve sensibilizar os proprietários dos edifícios e os ocupantes do valor por detrás da automação e monitorização eletrónica de edifícios e dos sistemas técnicos de construção e deve dar confiança aos ocupantes sobre a poupança efetiva dessas novas funcionalidades melhoradas" [10].

Dentro das diversas iniciativas, a GAIA (*Green Awareness in Action*) [11] é uma das principais, contextualizada neste trabalho, pois os seus principais objetivos centram-se na

criação de ecossistemas de *Information and Communications Technology* (ICT) especificamente para edifícios educacionais de modo a motivar e apoiar a mudança de comportamento dos cidadãos de forma a alcançar uma maior eficiência energética. Esta iniciativa está atualmente implementada em mais de 24 edifícios do sector educacional em três países cobrindo o Norte, Centro e Sul da Europa levando a reduções de mais de 15% na energia consumida.

2.2. Sistemas de Monitoração de Energética

O aumento da demanda para o uso de energia limpa leva a um aumento da procura de projetos e infraestruturas IoT adequados para criar uma gestão mais eficiente da energia consumida em edifícios. Contudo, em alguns casos, a monitorização do consumo de energia pode ter as suas dificuldades. O trabalho elaborado por D. Brunelli, I. Minakov, R. Passerone, e M. Rossi [12] é um exemplo da crescente demanda pelo consumo de energia e plataformas de medição de eficiência para sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC). Também é um exemplo de como a falta de uma infraestrutura de comunicação adequada pode ter interferências de equipamentos de comunicação por radiofrequência próximos, levando a uma crescente perda de pacotes, que por sua vez causou a falta de sincronização em tempo real entre nós de comunicação, levando a resultados impróprios no consumo de energia. Outro obstáculo que os investigadores enfrentam é a falta de um padrão nos dados criado por soluções de monitoramento energético e, como tal, *Brick* [13], é uma das propostas de esquemas uniformes que definem uma ontologia concreta para sensores, subsistemas e relações entre eles, o que permitiria utilizar aplicações portáteis.

No projeto apresentado em [14] os autores apresentam o desenho e avaliação do sistema PTEC (*Predictive Thermal and Energy Control System*), um sistema de previsão térmica e de controle de energia em um centro de dados. O objetivo do estudo era verificar se o PTEC poderia realizar eficientemente monitoramento do centro de dados com um baixo custo no uso de energia. O sistema recolhe dados tanto dos ventiladores do servidor como do ar condicionado e verifica essas informações com a temperatura do *data center*. A avaliação do sistema é feita por meio de simulação, a fim de verificar a eficiência e capacidade do PTEC. A avaliação do PTEC mostrou a possibilidade de reduzir consumo de energia de resfriamento e circulação em até 34% e 30%, respetivamente. Outro

método, com sensores de temperatura e humidade junto com uma *cloud management* do ar condicionado também poderá melhorar a infraestrutura de apoio, controlando, em certos momentos, os procedimentos de resfriamento desperdiçados, assim permitindo uma margem para aumentar a carga dos servidores de rede, aumentando o desempenho enquanto mantém temperaturas adequadas, reduzindo, também, o consumo energético [15].

A pesquisa feita em [16] apresenta uma solução de baixo custo para implementar um sistema de monitoramento do consumo de energia e ambiental usando uma infraestrutura de IoT *open source*, cujo objetivo era semelhante a um dos estudos de caso nesta dissertação: o monitoramento do consumo energético em edifícios públicos educacionais. Enquanto isso, em [17] a abordagem diferente da economia de energia é apresentada pelo uso de sensores de ocupação em grandes edifícios comerciais, para determinar os padrões de ocupação em certas áreas e, deste modo a criação de um padrão de horário AVAC mais eficiente que possa criar reduções de até 38% do consumo de energia, mantendo o conforto térmico.

Quando se trata de monitorização de energia usando dispositivos comerciais, podemos apresentar três dos mais comuns disponíveis no mercado:

1. *Smart Energy by Develco Products* [18]: focado no monitoramento da energia geral dos edifícios, fornece não apenas ferramentas para medir o consumo de energia, através de meios intrusivos, mas também a geração de energia, como o monitoramento da energia fotovoltaica com o uso de vários protocolos de comunicação, tais como Zigbee, Z-Wave, Wireless M-Bus, e Bluetooth Low Energy;
2. *Sense: Home Energy* [19]. Cujas principais particularidades são o uso de sensores não intrusivos, constituídos por grampos de amperagem ou transformadores de corrente, que medem o campo magnético criado pela passagem de corrente no cabo elétrico, de modo a calcular o consumo de energia de forma não intrusiva sem haver necessidade de modificar a estrutura elétrica pré-existente de rede já construída. Na presente dissertação utilizámos sensores semelhantes aos sensores de corrente não intrusivos;
3. *Engage: Efergy* [20]. É mais uma solução de monitoramento do consumo de energia doméstica que usa transformadores de corrente para medir a energia com a

possibilidade de se misturar com futuros sensores energéticos, permitindo, assim, uma experiência tanto intrusiva quanto não intrusiva;

Nesta dissertação apresentamos uma solução semelhante às listadas a cima, utilizando transformadores de corrente (TC) e um microcontrolador Arduino MKR WAN1300, com comunicação LoRA (para enviar dados de consumo de energia a um servidor de fonte aberta); Node-RED (que permite a visualização de diferentes formas da informação recolhida); e a análise descritiva dos dados através de um *dashboard* configurável e acedível via *web browser*.

2.3. Cloud Computing, Fog Computing e Edge Computing

Com o constante desenvolvimento e crescimento de projetos com aplicações IoT, foram aparecendo vários desafios, tais como, a elevada transferência de dados vinda dos inúmeros tipos de sensores, a limitada largura de banda na transferência de informação que gera grandes latências de comunicação e, a dificuldade de, num sistema com processamento centralizado, dar resposta em alguns processos que exigem rápida reação e respostas a eventos. Para tentar contornar esses desafios e outros problemas que possam acontecer com uma estrutura de computação de informação centralizada num único ponto, começaram a ser desenvolvidos paradigmas alternativos de computação, como *Cloud Computing* (CC), *Fog Computing* (FC) e *Edge Computing* (EC) [21]. A Figura 4 apresenta esquematicamente estes diferentes paradigmas de computação:

- CC, ou computação em nuvem, como definido em [22], permite o acesso livre e conveniente a redes partilhadas de recursos informáticos configuráveis: Como, por exemplo, servidores, armazenamento de informação, aplicações e serviços que podem ser rapidamente provisionados e iniciados com um esforço mínimo de gestão ou interação com o fornecedor de serviços;
- FC, ou computação em nevoeiro, no exemplo de um sistema de monitorização energético descrito em [23], um programa em FC faz os cálculos do custo do fornecimento de água quente através da utilização de diferentes fontes de energias e procede de forma a minimizar o custo para o consumidor. Nesta rede de energia inteligente, os sensores enviam os dados de consumos para o servidor de rede e este faz a comparação dos consumos com a faturação de

vários fornecedores de energia de forma intermitente, tentando obter o menor gasto para os recursos consumidos;

- EC, ou computação de borda, no sistema descrito em [24], é uma estrutura de rede focada em fazer o processamento de informação o mais próximo possível da fonte do dados, em muitos casos, o próprio sensor. Trata-se de uma solução para problemas causados por recursos finitos, tais como largura de banda, recursos de servidor e os custos adicionais pelo processamento em *cloud*.

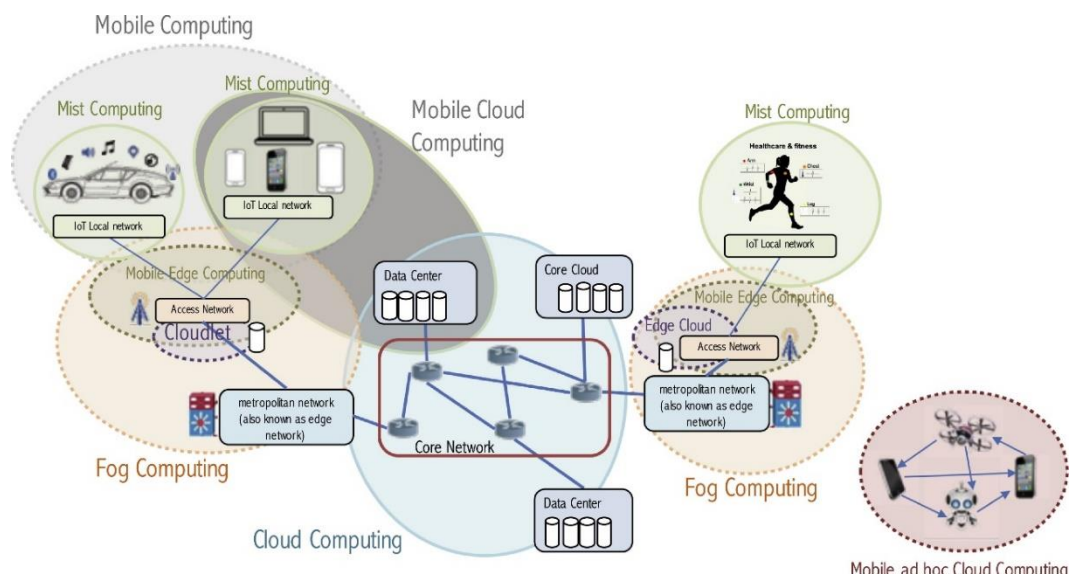


Figura 4 - Diferentes paradigmas de computação, do ponto de vista da rede de telecomunicações [21].

No nosso sistema e, de forma a desenvolver o sistema de forma mais inteligente e sustentável usando os recursos computacionais de todos os equipamentos do sistema e visando melhorar o rendimento dos mesmos, abordamos os conceitos das diferentes arquiteturas de computação tentando implementar algumas das componentes do CC, do FC e do EC.

2.4. Servidor MQTT

MQTT é um protocolo leve de publicação/assinatura de mensagens concebido para telemetria M2M (máquina-a-máquina) em ambientes com pouca necessidade de largura de banda. Embora tenha começado como um protocolo proprietário, foi lançado Royalty free em 2010 e tornou-se um padrão da *Organization for the Advancement of Structured Information Standards* em 2014 [25].

O MQTT é atualmente muito usado e um dos principais protocolos de implantação de sistemas IoT [26]. É um protocolo muito leve e pacotes binários, e devido à sua sobrecarga mínima pela simplicidade, o MQTT distingue-se na transferência de dados em comparação com protocolos como o HTTP. Outra característica importante deste protocolo é facilidade de implementação no lado do cliente. Estas características tornam o MQTT perfeito para dispositivos restritos com recursos limitados característico dos sistemas IoT.

“MQTT is a Client Server publish/subscribe messaging transport protocol. It is light weight, open, simple, and designed so as to be easy to implement. These characteristics make it ideal for use in many situations, including constrained environments such as for communication in Machine to Machine (M2M) and Internet of Things (IoT) contexts where a small code footprint is required and/or network bandwidth is at a premium. “[27].

O protocolo corre sobre protocolos de rede que fornecem ligações viáveis, bidirecionais e possui as seguintes características [28]:

- Utilização do padrão de mensagens de publicar/subscrever que fornece a distribuição de uma ou várias mensagens e a copulação de aplicações, como demonstrado na Figura 5;
- Um transporte de mensagens que é agnóstico ao conteúdo da carga útil;
- Garantia de qualidades de serviço para a entrega de mensagens;
- Pequena sobrecarga de transporte e trocas de protocolos minimizados para reduzir o tráfego na rede;
- Um mecanismo para notificar as partes interessadas quando uma desconexão anormal ocorre.

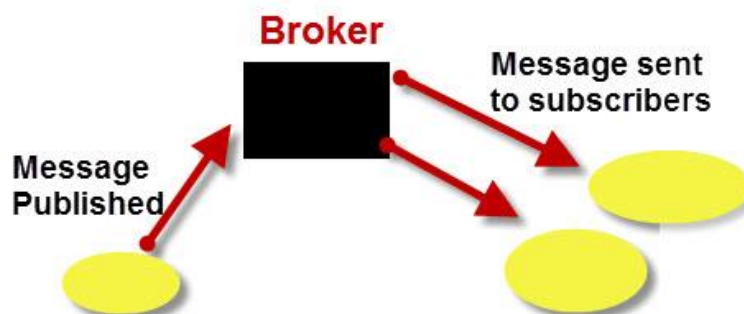


Figura 5 - Modelo simplificado do padrão publicar/subscrever [29].

O padrão publicar/subscrever, também conhecido como pub/sub, fornece uma alternativa à arquitetura tradicional cliente-servidor. No modelo cliente-servidor, um cliente comunica diretamente com o servidor, mas este padrão separa o cliente que envia uma mensagem (o publicador), do cliente ou clientes que recebem as mensagens (os subscritores). Os editores e assinantes nunca contactam diretamente entre si e nem precisam de confirmar a existência entre eles para comunicar, a ligação é tratada por um terceiro componente, o *broker*. O trabalho do *broker* é filtrar todas as mensagens recebidas e distribuí-las corretamente aos subscritores [29].

2.5. Representação Visual 3D

Com a evolução dos tipos e variedades de sensores e tecnologias, atualmente temos uma quantidade de dados e informação que a mente humana não consegue processar e entender, de forma a usar essa informação da melhor forma possível no mundo físico real com objetivos práticos. Desta forma, a visualização e o processamento da informação recolhida é bastante importante para se conseguir uma representação real de fácil compreensão para qualquer utilizador. Uma dessas formas de visualização da informação é a representação 3D do um espaço ou edifício, onde existe uma interligação do espaço real que existe e parte das Tecnologias da Informação (IT) onde se consegue fornecer qualquer informação pretendida e programável - mais *user friendly* para o utilizador final.

O BIM é uma ferramenta e metodologia de visualização 3D com diversas possibilidades de utilização e versatilidade, é utilizada principalmente por arquitetos e engenheiros civis, durante o processo de projeto e construção. Atualmente, é mais usado como um modelo do que vai ser construído. Se o modelo for atualizado durante a construção, na entrega, e na vida do edifício, torna-se um *digital twin*, replicando o conteúdo e o comportamento da instalação. O BIM utiliza processos inteligentes baseados em modelos que proporcionam simulações, em ambiente virtual, e modelagem digital, desta forma também tem grande potencial para ser usado como uma representação de informação [30]. A Figura 6 exemplifica da utilização do BIM em um sistema IoT de sensibilidade térmica.

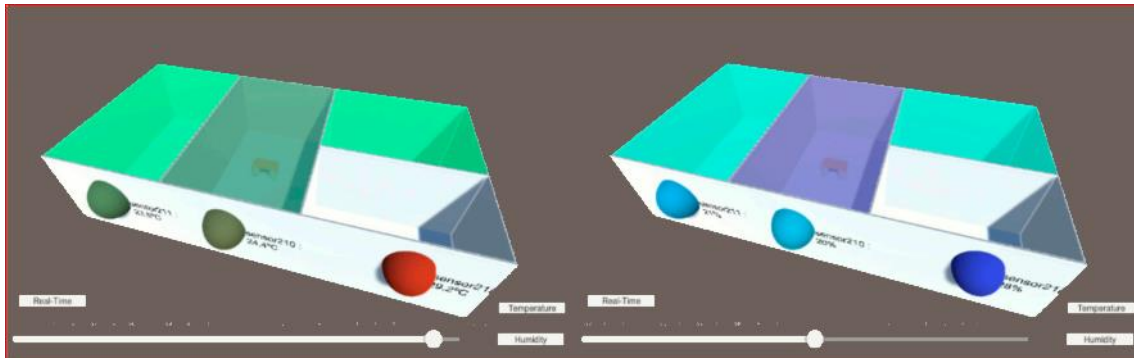


Figura 6 - Exemplo Modelo BIM com demonstração de sensibilidade térmica [30].

Deste modo, podemos também definir o BIM como uma metodologia para a administração do edifício e atividades de construção. Ambas têm um forte ênfase na colaboração entre as partes interessadas e uma descrição geométrica detalhada em 3D de uma instalação e do seu conteúdo: sistemas mecânicos, móveis e equipamento. Num projeto BIM, as informações e geometria estão associadas. Por exemplo, uma porta é representada por uma geometria 3D, que pode ser mais ou menos fiel à realidade, e pelas informações sobre os materiais, intrusão, e classificação de resistência ao fogo ou tipo de bloqueio, ou quaisquer outros dados relevantes. Entidades abstratas, tais como os espaços também estão presentes nos BIMs, assim como informações sobre as atividades ou ocupantes.

Capítulo 3. Sistema IoT - Gestão Energética de Edifícios Públicos

O sistema IoT, desenvolvido neste trabalho, tem como objetivo mostrar como se pode melhorar a gestão energética em edifícios. Realizou-se o planeamento e foi implementado um piloto no campus do ISCTE-IUL. O sistema denomina-se Gestão Energética de Edifícios Públicos (GEEP) e foi usada a metodologia típica de desenvolvimento de um sistema IoT:

1. Identificação dos requisitos (Secção 3.1);
2. Arquitetura e descrição do sistema (Secção 3.2);
3. Desenvolvimento do sistema (Secção 3.3);
4. Validação e implementação do sistema do campus do ISCTE-IUL (Capítulo 4);

3.1. Identificação dos requisitos

O sistema GEEP recolhe dados de consumos energéticos, processa esses dados de forma a obter informação relevante e apresenta os mesmos numa *interface* gráfica para interação humana mais simples para fácil perceção para os utilizadores do sistema. Desta forma para o desenvolvimento do sistema e para obter os objetivos pretendidos foram encontrados vários problemas e possível requisitos para os resolver:

- **Problema:** A identificação de padrões de uso é importante para verificar os consumidores de energia ou detetar desperdícios energéticos, mas para tal é necessário obter dados de consumos;
 - **Requisito:** Monitorização em tempo real do consumo energético e armazenamento dos dados de consumos para futura referência;
- **Problema:** Com o aumento do tempo de recolha dos dados pelos sensores, a sua visualização e entendimento fica dificultada devido ao grande o número de dados;
 - **Requisito:** Agregação dos consumos em filtros com base em diferentes atributos e intervalos de tempo. Com vários filtros de visualização de cada dia, semana, mês ou ano, e uma visão geral do consumo energético em cada local;
- **Problema:** Ambientes diferentes podem ter vários consumidores que se ramificam, por isso não só os dispositivos devem ser baratos para se poder instalar em grande

número, mas também precisam ser fáceis de instalar caso haja a necessidade de mudar a sua localização;

- **Requisito:** Facilidade de implementação para a possibilidade de mudança dentro de diferentes ambientes e baixo custo, mas com fiabilidade nos dados recolhidos;
- **Problema:** Como implementar os sensores em diferentes locais, independente das características dos mesmos ou da distância ao servidor do sistema, e de forma a transmitir os dados de forma eficiente e segura?
 - **Requisito:** Usar uma rede sem fios, como o caso da rede LoRaWAN existente nas instalações do ISCTE-IUL de forma a conseguir uma rede que cobre uma grande área de transmissão, na casa dos quilómetros numa única célula e otimizada para sensores IoT, com transmissão de baixo débito e mais importante, baixo consumo energético no caso de uso de bateria;
- **Problema:** O sistema, além dos sensores, é constituído por servidores e serviços com tecnologias preparadas para receber e tratar os dados recolhidos pelos sensores. Atualmente existem muitas empresas a desenvolver tecnologias IoT, mas aparentam soluções com licenças pagas de utilização e oferecem funções limitadas. É necessário recorrer a esse serviços pagos no desenvolvimento do sistema?
 - **Requisito:** Usar um servidor de baixo custo com tecnologia e serviços *open-source*, de forma a conseguir-se inúmeras possibilidades de configuração sem limitação de uso ou de licenças pagas com custos acrescidos. Além disso, obtém-se uma solução independente de serviços controlados por empresas externas.
- **Problema:** Dependendo do desafio, e do propósito do sistema, pode ser necessário implementar tipos diferentes de sensores, mas com a elevada diversidade de sensores existentes, o sistema consegue receber dados desses sensores?
 - **Requisito:** O sistema tem de ser flexível e de fácil utilização e manutenção. Tanto os servidores como a base de dados têm de estar preparados para receber diferentes dados dependendo do tipo de sensor e da unidade de medida.

3.2. Arquitetura e Descrição do Sistema

Na definição de um sistema IoT, decidimos dividir a arquitetura do sistema em quatro camadas principais (*Layers*), como mostrado na Figura 7, de forma a descrever as diferentes funções e protocolos de funcionamentos dos componentes que constituem o sistema GEEP:

1. **Hardware Layer: Sensor e Microcontrolador** – é constituída pelos equipamentos na extremidade do sistema. Esta camada é composta pelo sensor que faz a leitura dos dados pretendidos e o microcontrolador que comanda o sensor e recolhe, armazena e transmite os dados. No caso deste sistema, o microcontrolador faz uma primeira análise dos dados e transmite a informação já processada em uma mensagem mais curta, mas sem perdas de informação. Nesta dissertação, para facilidade de entendimento, definimos como sensor, a totalidade do equipamento, ou seja, o sensor que faz a medida mais o microcontrolador que recebe e transmite esses dados;
2. **Network Layer: LoRaWAN e TTN** - é constituída por uma rede LoRaWAN, usada na comunicação dos sensores e transmissão da recolhida informação para uma LoRa Gateway, *The Things Network* (TTN) que faz a interligação entre a rede LoRaWAN e a *world wide web*. A TTN recebe *uplinks* dos sensores e redireciona esses dados para um servidor MQTT, onde posteriormente vários servidores e aplicações podem ir buscar essa informação e saber o estado dos sensores, ou fazer *downlinks* e enviar informação para os sensores caso necessário, como comandos a serem executados pelos atuadores;
3. **Data Layer: Node-RED, Base de Dados** – é o centro do sistema, constituído por servidores, Node-RED, que fazem o processamento dos dados para todas as funções do sistema e a obtenção de informação útil e de estatísticas de consumos. Deste *layer* também faz parte a base de dados onde se armazenam os dados de forma segura e acessível, para futuros projetos;
4. **Application Layer: Dashboard e BIM** – é onde acontece a interação com os utilizadores, dados recolhidos são analisados e usados para criar um *dashboard*, com painel de controle que apresenta a informações em gráficos detalhados juntamente com filtros de tempo e local. Para utilizadores com pouco conhecimento técnico, a plataforma BIM funciona como interação digital com o mundo físico. Desta forma é apresentada a informação de forma simples e de rápida compreensão.

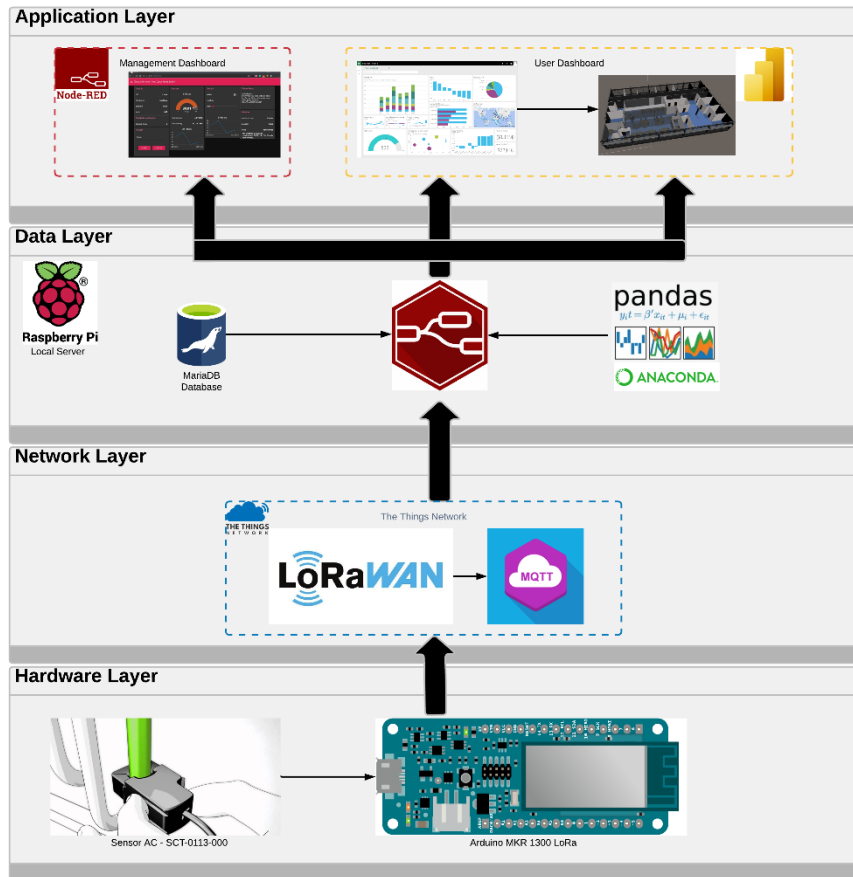


Figura 7 - Arquitetura e constituição do sistema GEEP.

3.2.2. Hardware Layer: Sensor e Microcontrolador

Esta *layer* é onde se localiza um dos extremo do sistema, é composto pelos sensores que calculam os consumos energéticos nos locais onde estão instalados. Estes sensores foram colocados em vários quadros elétricos gerais e fazem as leituras de corrente trifásica, ou seja, cada sensor mede três Correntes Alternada (AC) diferentes e calcula a potencia elétrica em kW, sabendo que a tensão elétrica fornecida é sempre constate nos 230V. Os sensores são protótipos feitos no Laboratório de IoT no ISCTE-IUL (Figura 9), compostos por um microcontrolador Arduino MKR 1300, ligado a pinças de transformador de correntes, com as principais características de facilidade de implementação e medição da AC de forma passiva, ou seja, é instalado sem ser necessário ação física no cabo de eletricidade onde está ligado e sem ser necessário cortar a energia local e sem afetar o fluxo normal de eletricidade. As pinças medem o campo magnético normalmente gerado pela passagem de corrente elétrica num cabo para fazer a medição aproximada da corrente consumida.

Quando o sensor recolhe medições consegue calcular a energia elétrica consumida por hora, $E(\text{kWh})$, usando a equação de potência ativa média apresentada na Figura 8.

$$P(t) = \frac{dE}{dt} = V(t) \cdot I(t),$$

onde $P(\text{potência})$, $E(\text{Energia})$, $V(\text{tensão})$, $I(\text{corrente})$ e $T(\text{tempo})$

Figura 8 - Equação potência ativa média.

De forma a obter dados de consumos energéticos elevados e significativos em edifícios públicos, os sensores foram desenvolvidos de forma a serem instalados em Quadros Gerais de Baixa Tensão (QGBT). Estes quadros como alimentam locais de elevados consumos necessitam de alguma potência elétrica, e por esse motivo são quadros trifásicos, ou seja, são alimentados por três cabos AC, independentes, que posteriormente são transformados em corrente monofásica, 1 cabos AC, usada na alimentação diária e cotidiana das tomadas elétricas normais. Deste modo, e como queremos medir valores globais de consumos elétricos, foram instalados sensores na entrada da alimentação dos quadros QGBT, usando sensores com três pinças, uma para cada fase AC, calculando a corrente ativa conjunta das três fases e aplicando a equação potência média.

Desta forma, após fazer as medições em cada fase, o sensor calcula a potência e a energia consumida e envia a informação usando a rede LoRAWAN, constituinte na *Network layer*, um nível superior na constituição do sistema.

A Figura 9 apresenta o sensor protótipo desenvolvido em laboratório, de tamanho reduzido de forma a permitir instalações reais em quadros elétricos do ISCTE-IUL. Na construção do sensor, verificamos dois componentes principais, necessários de configuração e montagem, as pinças de transformação de corrente (secção 3.2.2.1) e o microcontrolador Arduíno com comunicação LoRa (secção 3.2.2.2).

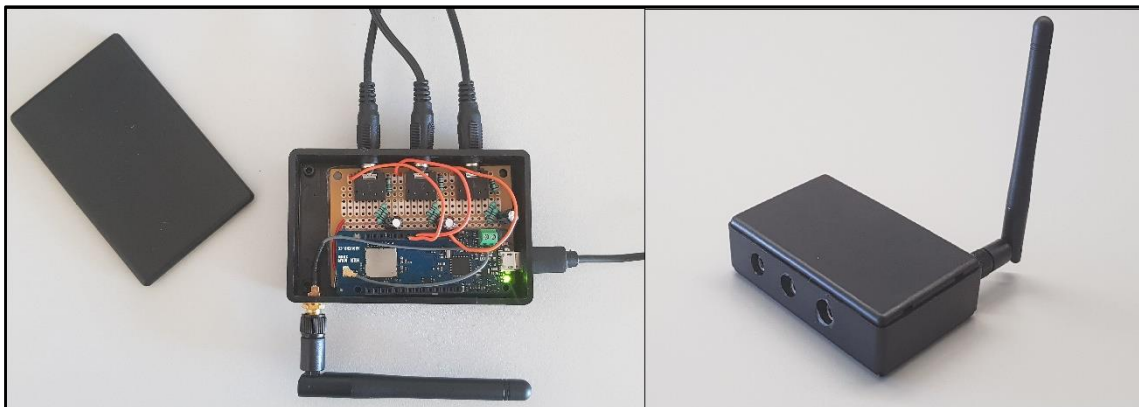


Figura 9 - Protótipo do sensor IoT de corrente trifásica.

3.2.2.1. Sensor Transformador de Corrente: SCT-013-000

Os Sensores de Transformação de Corrente (TC) medem a corrente alternada que passa em um condutor elétrico, este tipo de sensor funciona com base em pinças de corrente, que por sua vez utilizam TC. Como uma braçadeira de corrente, o sensor tem um anel de ferrite, com uma bobina de arame à sua volta formando um enrolamento secundário, por sua vez, um condutor de corrente primária é então colocado entre o anel de ferrite que transporta a corrente atual que queremos medir, o condutor primário. Como mostra o exemplo da Figura 10, quando uma corrente alternada passa através do condutor primário, a cablagem secundária irá gerar uma corrente alternada, cuja os valores são muito menores, mas também proporcionais à corrente que queremos medir [31].

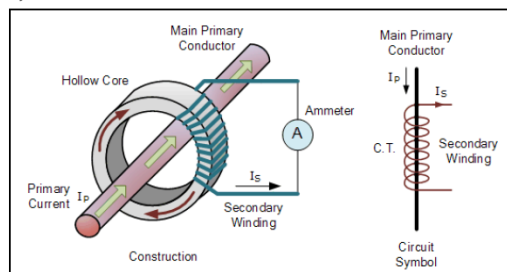


Figura 10 - Princípio de transformador de corrente [31].

Os sensores da família SCT, têm diferentes classificações secundárias, sendo as classificações os valores de corrente ou tensão que o sensor irá fornecer quando uma certa corrente primária estiver a ser passada. Nos testes e implementações do sistema, usamos o mesmo tipo de sensor SCT-13-000 (Figura 11) cuja relação de transformação é 100A:50mA, o significa que quando 100A está a passar pelo condutor primário, o valor da corrente que este sensor irá emitir é 50mA sem qualquer controlo da tensão, ou seja, o Arduino irá então ler a tensão elétrica resultante que este sensor TC emite.

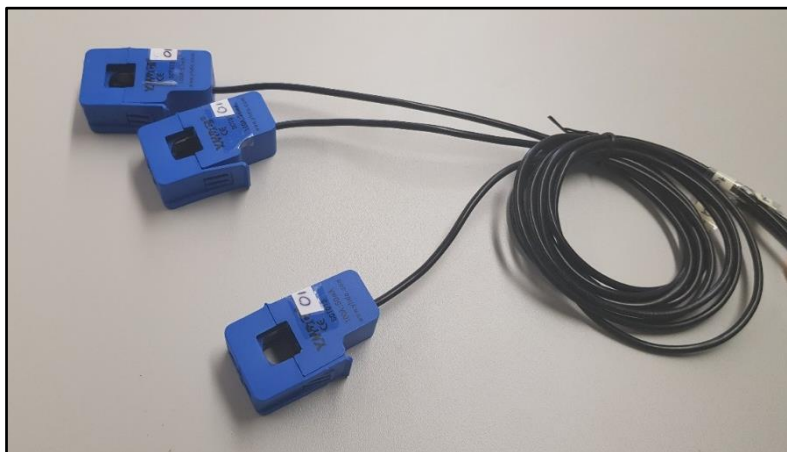


Figura 11 - Três Sensores TC SCT-013-000 usados para medir corrente trifásica.

Em relações de transformação como 100A:50mA, onde o sinal de saída é uma corrente sem tensão normalizada, existe a necessidade de adicionar uma resistência de carga fora do sensor TC para que o fluxo elétrico cumpra os requisitos da entrada analógica Arduino, 0v para o ADC (Analógico para Digital) de referência que dependerá da tensão de entrada do Arduino ou o valor máximo que o Arduino pode suportar. Neste caso, a resistência de carga precisa de ser calculada com base na corrente máxima que o sensor TC pode medir, e a voltagem de entrada da fonte de alimentação Arduino, o valor da resistência de carga tem um valor padrão e foi calculado no artigo referência [32].

As principais razões para a escolha do sensor TC SCT-013-000 foram os custos reduzidos, facilidade de implementação em protótipo, elevada precisão de leitura, a existência em laboratório de algumas unidades prontas para testar e a experiência adquirida em antigos projetos também desenvolvidos no ISCTE-IUL. O tamanho do sensor TC foi também um dos principais parâmetros ao escolher este transformador porque na maioria dos casos os quadros elétricos não estão devidamente preparados para receber sensores e o espaçamento entre cabos elétricos pode criar complicações na implementação. Outro fator que facilita a implementação além do tamanho é a forma do sensor TC, de uma pinça, de abertura e fecho fácil, o que significa que pode ser aberto e instalado à volta do cabo, o que é uma obrigação para este tipo de trabalho, uma vez que queremos tornar a implementação tão fácil quanto possível, sem precisar de alterar a estrutura física da rede elétrica ou cortar o fornecimento de energia em nenhuma ocasião.

Para cada Arduino foram utilizados três sensores TC do mesmo tipo, criando assim um sensor trifásico (Figura 9). Para ligar o Sensor e o Arduino foi utilizada uma placa de circuitos com componentes elétricos, com base nas especificações utilizadas no diagrama de circuitos da Figura 12.

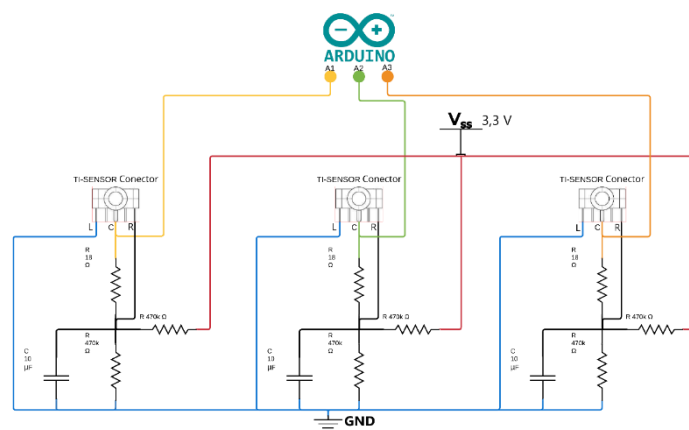


Figura 12 - Diagrama de Circuitos sensor trifásico.

3.2.2.2. Microcontrolador: Arduíno MKR 1300 WAN

O microcontrolador escolhido para configuração e controlo dos sensor foi a placa Arduíno MKR 1300 WAN (Figura 13), funcionando como controlador de recolha e transmissão de dados para o Sistema, processando os dados de corrente recolhidos pelo sensor TC, calculando a potência elétrica em cada local em kW e somando esses valores de potência num intervalo de tempo de 1 hora, e assim envia o valor da energia consumida total por hora em kWh. Depois de processado os valores de consumos energéticos, o Arduíno prepara uma mensagem com informação necessária para o Sistema saber qual o nome do sensor, o local e o consume e envia a mensagem através de uma rede LoRaWAN para um *gateway* LoRa, de onde o Sistema lê a informação. O Arduíno MKR 1300 WAN vem preparado para comunicar nas frequências portadora de 433/868/915 MHz, frequência utilizada na rede LoRaWAN, desta forma não é necessário nenhum módulo de comunicação extra na constituição do sensor.

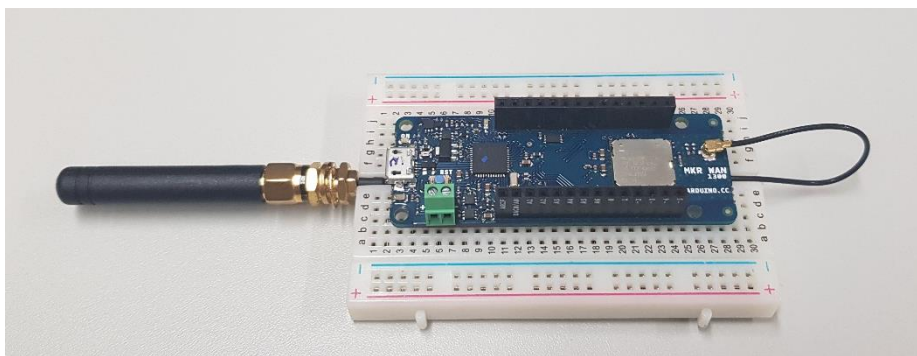


Figura 13 - Arduíno MKR WAN 1300, com antena LoRa.

As placas Arduíno são muito usadas nas tecnologias IoT, pois são muito simples de configurar, muito versáteis e com *Digital Input*(DI) ou *Analog Input*(AI) para se ligar qualquer tipo de sensor que se pretenda. Como é uma placa muito usada mundialmente, tem uma comunidade bastante grande e existem disponibilizadas muitas soluções *open-source* para soluções de automação e monitorização automática. No nosso sistema foram usadas 2 bibliotecas com funções predefinidas, de forma a facilitar a sua programação. Estas bibliotecas são as seguintes:

- **MKRWAN.h** - esta biblioteca fornece um API que utiliza o chip LoRa integrado para receber e enviar mensagens através de LoRaWAN. Com esta biblioteca, há a possibilidade de definir chaves e obter o *Device EUI* do sensor para se criar um

acordo com o porto de entrada para comunicar na *gateway* LoRa. Depois de um acordo ser criado, os dados podem ser enviados para rede LoRaWAN;

- **EmonLib h** - esta biblioteca fornece uma maneira fácil de transformar a tensão de entrada de uma AI do Arduino num valor legível de corrente que pode ser calibrado, funcionando como função de monitorização de energia. Para cada leitura, podemos definir o número de amostras recolhidas para a biblioteca para calcular. Quanto maior for o número de amostras, maior será a precisão de leitura, o que levará mais tempo para calcular a corrente. Com a soma de cada fase é calculada a potência aparente que é depois somado a um valor total de kWh por intervalo que é guardado na memória do Arduino até ser enviado como uma mensagem LoRa para o resto do sistema.

3.2.3. Network Layer: LoRaWAN e TTN (MQTT)

Esta *layer* é constituída pela rede LoRa e o *gateway* LoRaWAN da *The Things Network* (TTN). O protocolo LoRaWAN é utilizado para estabelecer uma ligação entre os sensores e um *gateway* que faz a transmissão dos dados em LoRa para a internet, por protocolo TCP/IP, e posteriormente a um servidor MQTT onde o servidor e as restantes aplicações do sistema acedem aos dados recebidos.

A TTN é um projeto mundial de livre acesso, usa uma variedade e grande número de *gateways* interligados [33], centrados na criação de uma rede IoT segura baseada na tecnologia rede LoRa, protocolo LoRaWAN e servidores MQTT. Cada sensor é adicionado à rede utilizando a consola do site da TTN que fornece uma interface de fácil acesso e intuitiva ao utilizador para melhor gestão dos dispositivos. Na Figura 14 mostra-se o exemplo da consola de comando da TTN para o sistema GEEP.

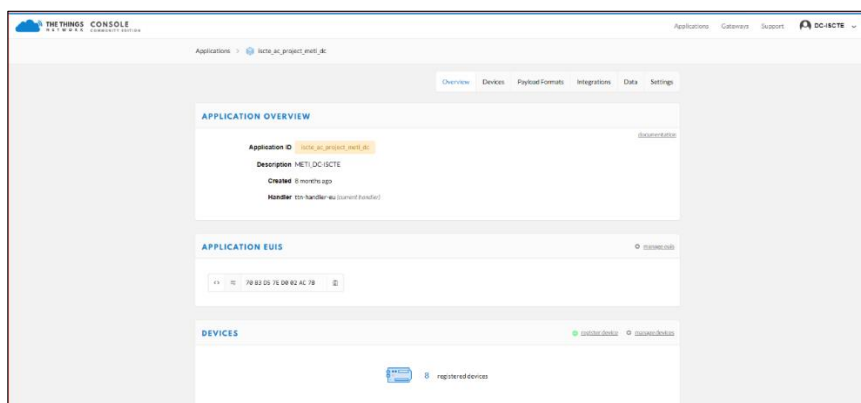


Figura 14 - Consola de comando de aplicação da TTN.

3.2.4. *Data Layer*: Node-RED, Base de Dados e Jupyter Notebook

Nesta *layer* realiza-se o processamento e armazenamento de todos os dados transmitidos pelos sensores, que posteriormente são analisados e enviados para as diversas aplicações e finalidades do sistema.

O servidor de aplicação é responsável pela receção dos dados do servidor LoRa e pelo seu processamento. Para este fim, um Raspberry PI (Figura 15.a), instalado na rede interna do ISCTE-IUL, com sistema operativo RaspbianOS, foi configurado para executar um servidor web local, utilizando o Node-RED [34]. Este servidor tem a função de processar as mensagens do tipo JSON recebidas via TTN com os pacotes de dados dos sensores instalados. Em seguida, cria entradas SQL correspondentes de acordo com o tipo do sensor e envia-os para uma DB MariaDB [35], um tipo de base de dados SQL *open-source*, flexível, armazenada localmente no mesmo Raspberry Pi. Os dados recolhidos pelos sensores são estruturados em tabelas individuais numa base de dados SQL para posterior análise, consulta e exportação. Os sensores TC enviam os dados da AC de cada fase, a potência calculada na altura das medições e a energia consumida no local na última hora na unidade de medida kWh, tendo o servidor o trabalho de receber e separar as mensagens nos diferentes valores e medida e guardar na DB os valores nas unidades locais e sensor correspondente.

No mesmo Raspberry tem-se também a funcionar um servidor Jupyter Notebook [36], outro *software open-souce* que permite criar uma aplicação web de documentos que contêm programação Python onde podemos usar as bibliotecas Numpy e Pandas. Os usos da aplicação incluem, limpeza e transformação de dados, simulação numérica, modelação estatística, visualização de dados e funções de *machine learning*. De forma a proteger a DB de acessos e alterações não autorizadas, o único serviço com acesso direta à mesma é o Node-RED, que insere e extrai os dados da DB, enviando-os posteriormente para as diferentes aplicações do sistema. No caso do Jupyter Notebook, o Node-RED envia os dados para serem analisados e o Jupyter Notebook envia de volta as estatísticas e os gráficos configurados para visualização e análise de informação.

Na Figura 15.b. apresenta-se o ecrã de funcionamento do servidor, com todas as aplicações funcionais e o log do sistema aberto.

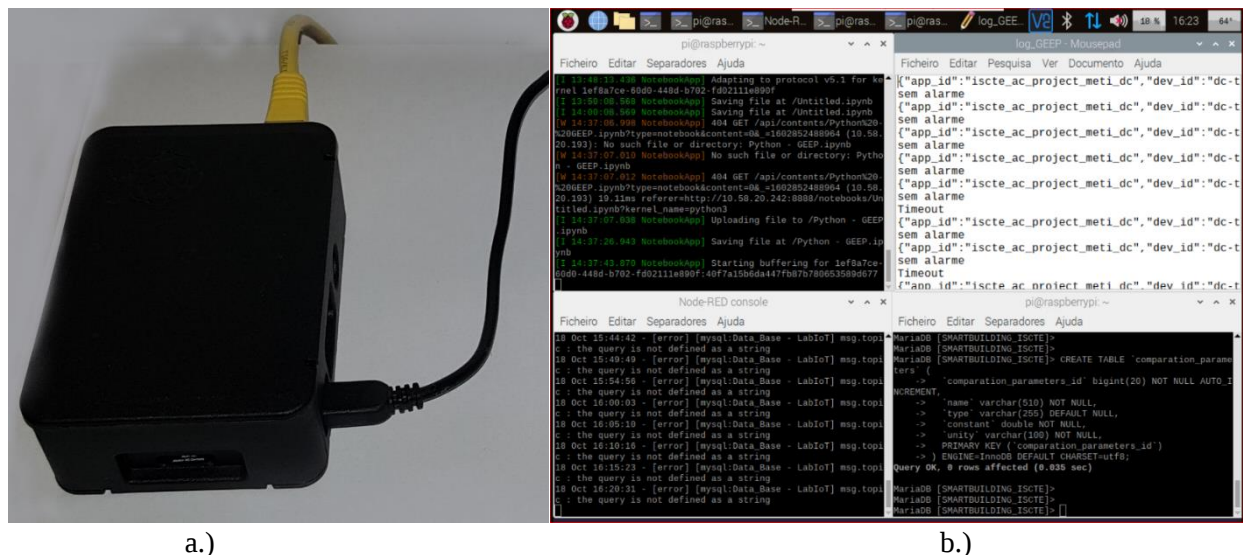


Figura 15 - Servidor do Sistema GEEP, a.) Microcomputador Raspberry Pi, b.) Funcionalidades das aplicações do servidor.

3.2.4.1. Servidor Node-RED

O servidor Node-RED é um *software open-source* criado especificamente para aplicações IoT onde é possível ligar aplicações externas, dispositivos físicos, outras interfaces de rede e serviços web. A principal razão para o uso do Node-RED como servidor central do sistema deve-se à sua simplicidade de programação baseado em fluxo e flexibilidade de aplicações, uma vez que permite a programação de regras em JavaScript para correr ou impedir a execução de fluxos específicos (Figura 16).

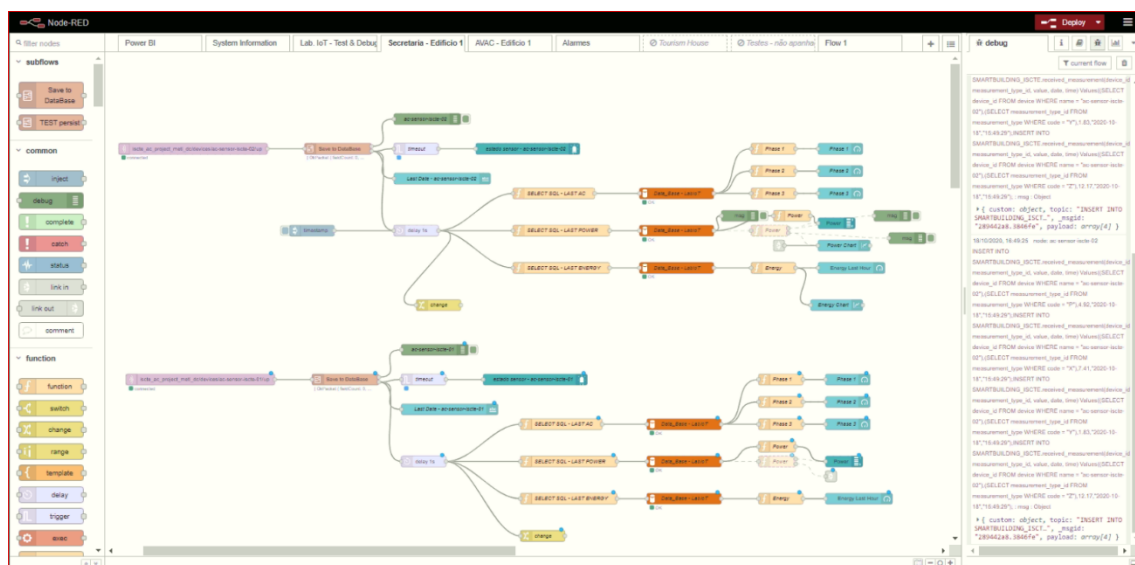


Figura 16 - Exemplo de fluxo programável no Node-RED - Secretaria ISCTE-IUL.

As aplicações de configuração no Node-RED do sistema GEEP são as seguintes:

- Confirmação de estados de todos os sensores do sistema e adição de novos sensores;
- Receção de mensagens LoRa com dados dos sensores;
- Tratamento da mensagem LoRa recebida e separação dos diferentes valores de medidas;
- Armazenamentos das medidas na DB do sistema;
- Envio da informação de consumos para aplicação final e *dashboard* de visualização para utilizador do sistema;
- Configuração de *dashboard* Node-RED para manutenção e gestores do sistema.

3.2.4.2. Base de dados

De forma a guardar os dados recolhidos por todos os sensores do sistema, após serem tratados pelo servidor Node-RED são guardados de forma segura e duradoura em uma DB MariaDB. Este servidor de base de dados é completamente gratuito com uma grande variedade de características, mantendo ao mesmo tempo a compatibilidade retroativa com o MySQL.

Para o Sistema GEEP, foi desenvolvido o esquema, representado na Figura 17, com relação entre tabelas, para uma configuração simples e flexível, mantendo um alto desempenho em termos de memória e facilidade de leitura e introdução de novas entradas SQL. Foi dado o nome de SMARTBUILDING_ISCTE à base de dados do sistema, composta pelas sete tabelas seguintes:

- **local** – tabela onde são inseridos os locais onde os sensores estão instalados ou já estiveram. Correspondem aos locais sobre os quais se quer obter informação. É composta por *name* (nome do local), *type* (tipo de local) e *building* (nome do edifício);
- **device** – tabela onde são inseridas as informações sobre os sensores que recolhem os dados para o sistema. Como a origem dos dados é nos sensores, é uma tabela central com relação com a maioria das restantes tabelas. É composta por *name* (nome do sensor), *local_id* (relação com o local onde está instalado o sensor), *status* (informação de estado do sensor, ON ou OFF), *EUI_address* (endereço EUI LoRa do sensor), *manufacturer* (fabricante e marca do sensor);

- **measurement_type** – tabela onde é inserida o tipo de medida do sensor e tipo de dados recolhidos. É composta por *name* (nome da medida), *unity* (unidade física correspondente), *code* (código de um byte para envio na mensagem LoRa);
- **device_measurement_type** – tabela de relação entre a tabela device e a tabela measurement_type. Serve para relacionar o sensor com o tipo de medições que é possível recolher;
- **received_measurement** - tabela onde são inseridos os valores dos dados recolhidos pelos sensores, com relação com o nome do sensor, os tipos de medições recolhidos, data e hora da mensagem enviada pelo sensor e a data de criação da entrada na DB;
- **received_alert** - tabela onde são inseridos os alarmes do sistema, tanto do estado dos sensores como dos restantes serviços do sistema GEEP. É composta por *device_id* (id do sensor), *alerte_code* (código do tipo de alarme), *device_status* (altera o estado do sensor em base de dados);
- **alert_message** - tabela onde é inserida o tipo de alertas configurados no sistema. É composta por *alerte_code* (código do tipo de alarme) *alert_message* (nome completo e descrição do tipo de alarme);

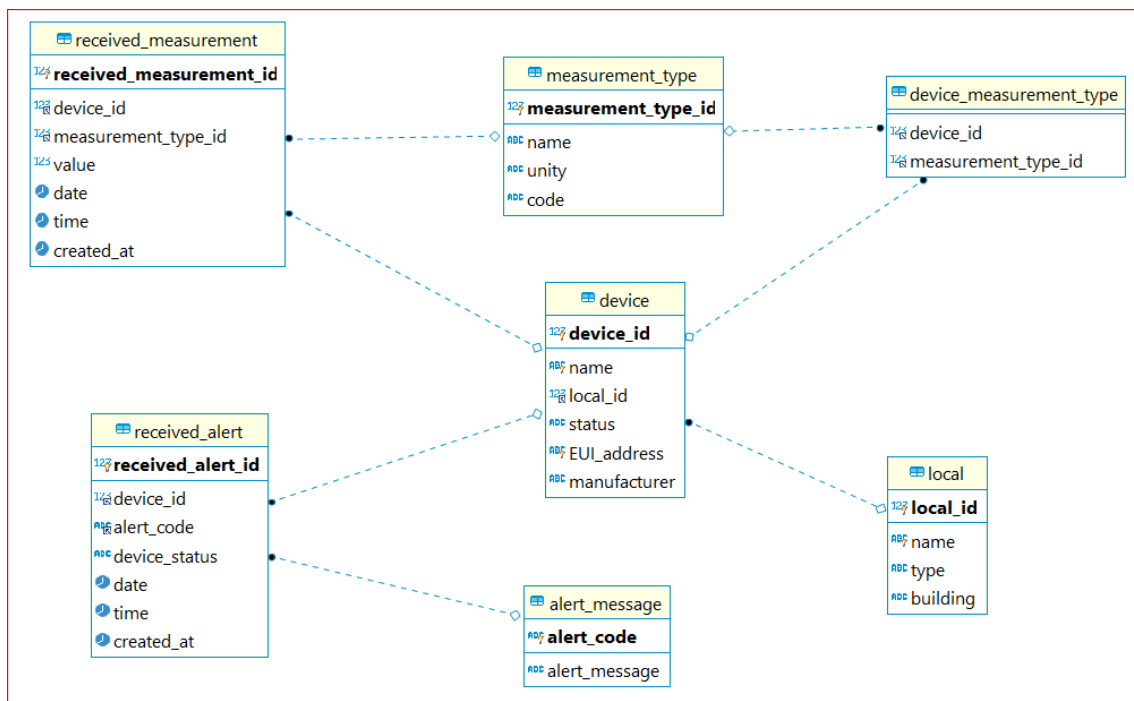


Figura 17 - Diagrama de Relação entre entidades - SMARTBUILDING_ISCTE.

3.2.4.3. Jupyter Notebook

De forma a extrair informação relevante, além da amostragem dos dados dos valores recolhidos pelos sensores, o sistema está preparado com funções de *machine learning* programadas em python e a correr no servidor Jupyter Notebook. Com um número elevado de dados recolhidos podemos programar as funções de *machine learning* de forma a detetar padrões de uso, anomalias ou alterações de consumo e fazer previsões de futuros consumos em cada local instalado os sensores.

Apesar de não ter sido possível recolher dados em quantidade suficiente para conseguir fazer todas as funções pretendidas, foi desenvolvido um servidor Jupyter Notebook com as funções representadas na Figura 18.

- Estatísticas da globalidade dos dados;
- Gráfico de distribuição por tempo e local;

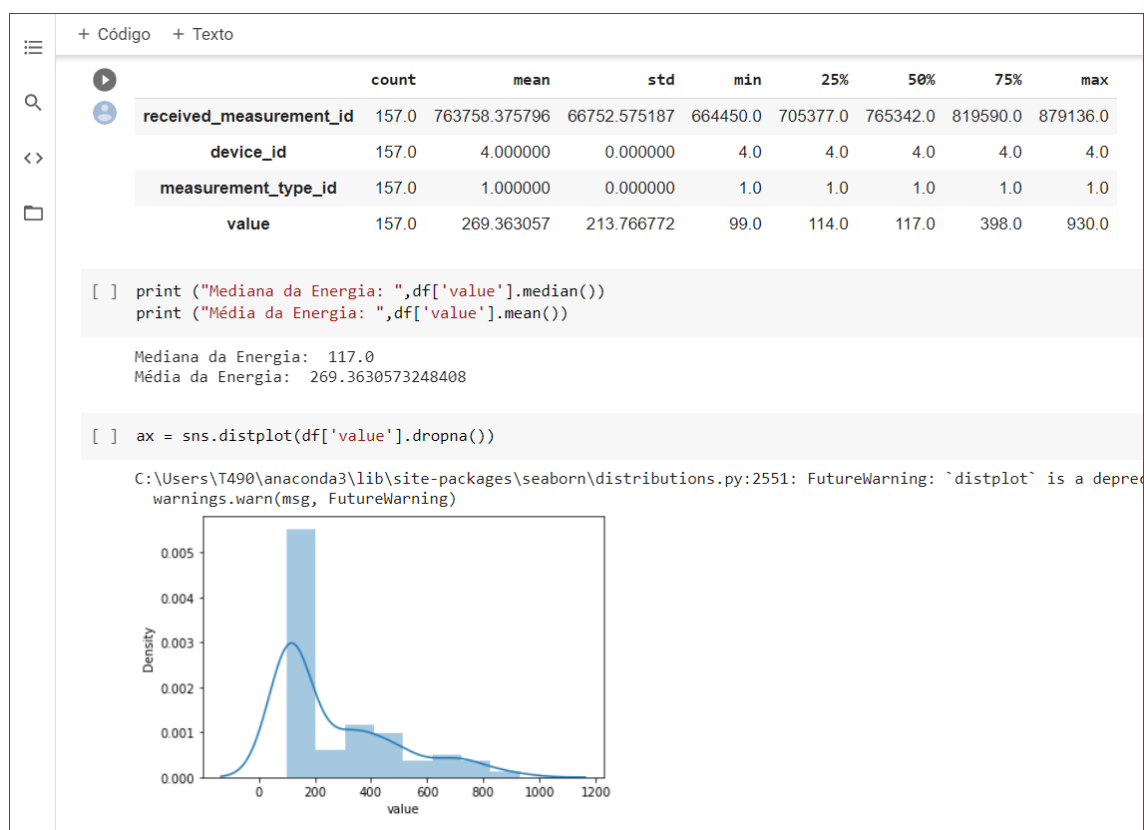


Figura 18 - Funções Python - Pandas e Numpy.

3.2.5. Application Layer: Dashboard, Power BI e BIM

Nesta *layer* é onde tanto os gestores como os utilizadores interagem com o sistema. Com o sistema a funcionar corretamente, é onde podemos observar os dados recolhidos e a informação processada, a fim de informar os utilizadores locais dos consumos energéticos.

Para a *Application Layer* optámos por desenvolver três diferentes tipos de aplicações dependendo dos diferentes tipos de utilizadores que entendemos têm um determinado perfil ao utilizarem o sistema GEEP. Para os gestores desenvolvemos um *dashboard* pelo servidor Node-RED, pois como se trata da componente central do sistema e onde passa todo o funcionamento do mesmo, é a forma simples e rápida de obter informação em tempo real de todo o estado e funcionamento do sistema. Mas de forma a obter informação útil de todos os dados agregados, desenvolvemos um *dashboard* na aplicação Power BI, com gráficos simples e intuitivos, onde é possível ver os consumos de cada local com filtros por tempo, sabendo os gastos por dias, semana ou mês. Com um aspeto visual agradável e muito simples de usar, o *dashboard* no Power BI foi desenvolvido a pensar nos utilizadores que querem saber os consumos globais. Este *dashboard* apresenta a evolução dos consumos ao longo do tempo e pode assim informar acerca da sustentabilidade energética. Para os utilizadores, sem qualquer conhecimento técnico, quer sobre energia elétrica, quer sobre gráficos e estatísticas, desenvolvemos um piloto modelo BIM da secretaria do ISCTE-IUL. Neste modelo representa-se uma cópia digital 3D da secretaria, onde é mostrado por três cores o nível de consumos em cada local, tendo o utilizador apenas necessidade de ver a cor do seu local para perceber se está a consumir muita energia.

Todas as aplicações de visualização foram desenvolvidas em *cloud* ou de forma a serem acessíveis online por qualquer utilizador com um equipamento ligado a internet, via protocolo HTTP.

3.2.5.1. Dashboard Node-RED

Na configuração do servidor Node-RED, existe na aplicação de desenvolvimento um dashboard acessível via HTTP pelo IP de rede do servidor (exemplo Figura 19). Apesar das limitações em termos de versatilidade de configuração e funções de visualização, este *dashboard* mostrou-se uma ótima solução para gestão e manutenção global do sistema

GEEP. Desta forma, é especialmente usada pelo gestor do sistema pois tem toda a informação dos sensores e restantes componente, informação que maioritariamente não interessa ao utilizador comum que só quer saber dos consumos energéticos ou dos valores recolhidos pelos sensores.

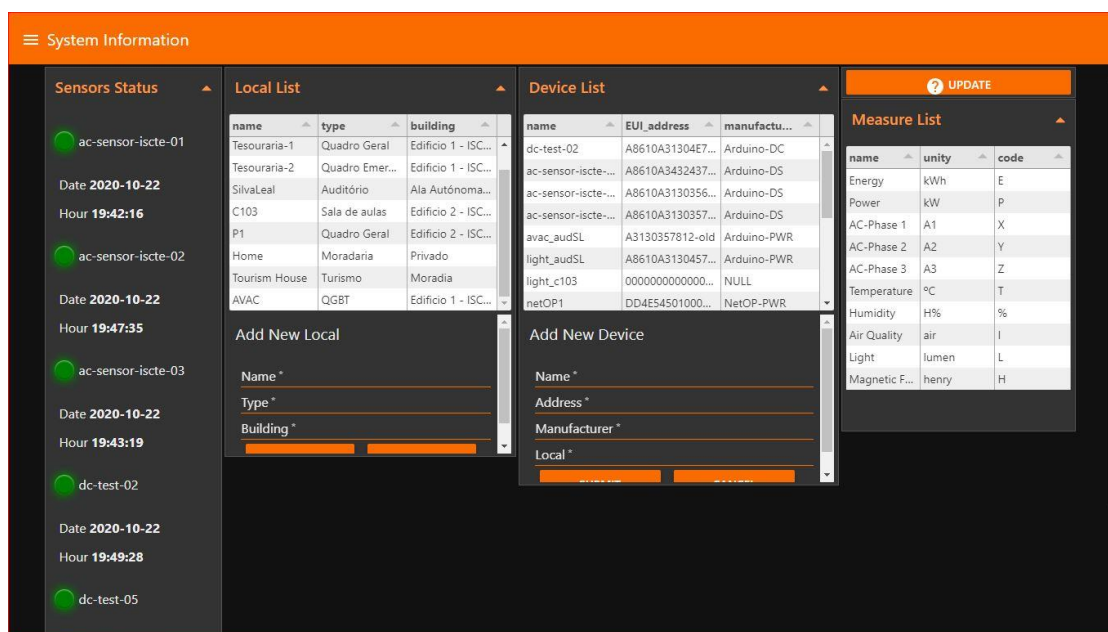


Figura 19 – Visualização da confirmação dos sensores do sistema, através do *Dashboard* Node-RED.

As principais funcionalidades do *dashboard* Node-RED são as seguintes:

- Visualização e manutenção de todos os sensores ativos no sistema;
- Manutenção da DB e atualização da lista de locais e sensores constituintes do sistema;
- Confirmação de receção de mensagens da rede LoRaWAN, por dia e hora;
- Verificação de dados de AC por fase, potência e energia por hora, recolhidos por cada sensor;
- Visualização rápida para calibração dos sensores e testagem de comunicação LoRA durante o processo de implementação dos mesmos nos quadros elétricos;
- Testagem e *debug* de funcionalidades e manutenção de todo o sistema GEEP;

3.2.5.2. Power BI

O Power BI é um *software* de configuração de *dashboard* desenvolvido pela Microsoft, fornece meios para visualizar os dados em tempo real quando os utilizadores quiserem. No nosso contexto, o principal objetivo do Power BI é fornecer informação diária usando uma análise descritiva e informar os utilizadores do sistema dos consumos de energia em cada local monitorizado. Este tipo de análise descritiva permite aos utilizadores compreender de uma forma diferente os consumos energéticos que realizam e com a agregação dos dados perceber a evolução dos consumos. Podem assim tomar decisões para tentar usar energia de forma mais sustentável no futuro.

Power BI foi escolhido como ferramenta de visualização pelas suas propriedades de utilização livre, mesmo em versão de teste grátis com limitações de uso. É uma ferramenta poderosa e otimizada, capaz de manipular, analisar e agregar elevados número de dados ao mesmo tempo. É também uma das ferramentas visuais que são agradáveis à vista e com a acessibilidade do programa para processamento em *cloud* permite uma fácil visualização por qualquer equipamento online.

Na Figura 20, podemos ver um exemplo do relatório mensal dos consumos energéticos no campus do ISCTE-IUL que pode ser filtrado por:

- a) Janela temporal (dia, semana, mês ou ano);
- b) Local que está a ser monitorizado;
- c) Tipo de medida a observar, energia (kWh) ou potência (kW);



Figura 20 - *Dashboard* Power BI, Menu de opções

3.2.5.3. Modelo BIM

Para uma visualização rápida e simples do nível de consumos em um determinado local, criámos uma visualização 3D em modelo BIM que permite que os utilizadores observem e interajam com o modelo 3D digital, com atualização em tempo real da informação da energia consumida, o que fornece à comunidade local uma visão geral do estado dos consumos energéticos. Esta abordagem tenta diminuir o tempo necessário de entendimento da informação do sistema, ao simplificar os níveis de consumo energético a uma série de escalas colorimétricas, permite aos utilizadores identificar as áreas e altura de tempo onde acontecem os maiores consumos. Desta forma o utilizador fica melhor informado e pode tomar medidas para melhorar a sustentabilidade energética ou criar consciência na comunidade de utilizadores locais presente também no local dos elevados consumos.

Um modelo BIM 3D pré-existente da secretaria do ISCTE-IUL, como demonstrado na Figura 21 - *Modelo BIM - Secretaria do ISCTE-IUL.*, foi feito como piloto e integrado no sistema para avaliar esta abordagem. Quando o modo de energia é selecionado, cada sala monitorizada apresenta uma cor, relacionada com consumos verificados no passado. Quando os consumos são semelhantes à média de utilização normal, com limite superior a 20%, o local monitorado aparece com cor azul. Se o consumo de energia estiver fora dos padrões habituais, o local apresenta a cor vermelha, representando assim um consumo energético excessivo, e a cor verde para valores abaixo da utilização normal. Estes padrões são extraídos por médias do histórico de dados, tendo em conta período de dia e outros parâmetros que se definam.

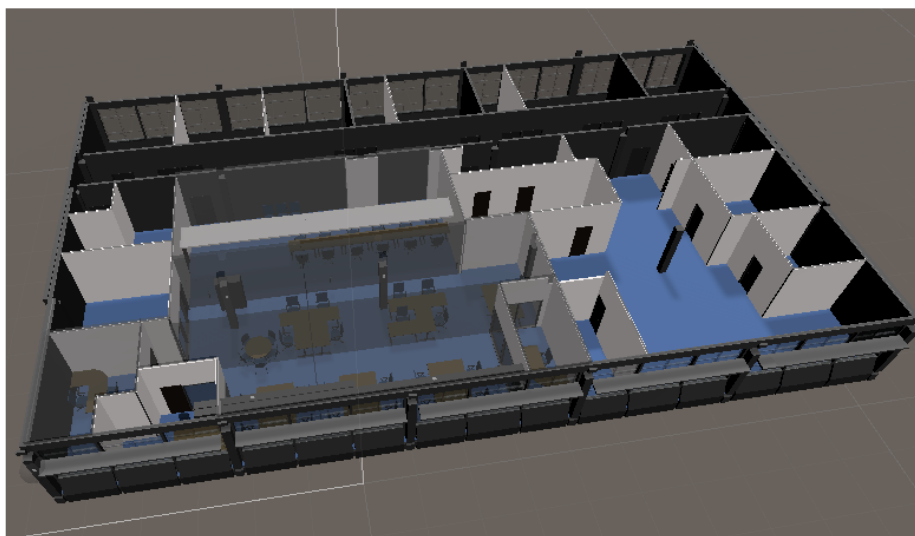


Figura 21 - Modelo BIM - Secretaria do ISCTE-IUL.

3.3. Desenvolvimento do sistema

Tendo em conta os requisitos definidos e a arquitetura do sistema, a Figura 22, ilustra o diagrama de funcionamento do sistema desenvolvido, desde os sensores de medição de energia, em diferentes locais, com a transmissão de dados em comunicação LoRa, o envio para um servidor local, desenvolvimento num computador, *single-board*, Raspberry PI, com recurso a uma base de dados (DB) MariaDB. Neste servidor encontra-se o Node-RED, uma ferramenta de desenvolvimento de aplicações e serviços online baseada em fluxos de programação visual, e funciona como servidor central do sistema ao fazer a conexão entre os sensores e a interface de visualização dos dados do utilizador, sendo o único serviço que introduz e lê dados na MariaDB. Para disponibilizar a informação recolhida e processada pelo sistema de forma online, acessível via protocolo HTTP, com acesso através de qualquer dispositivo com comunicação internet, o servidor local transmite a informação para um servidor *cloud* que, por sua vez, alimenta as diversas aplicações de visualização dos dados. Além disto, encontra-se configurado um *backup* em Google drive em *cloud* onde é guardada diariamente cópia da DB.

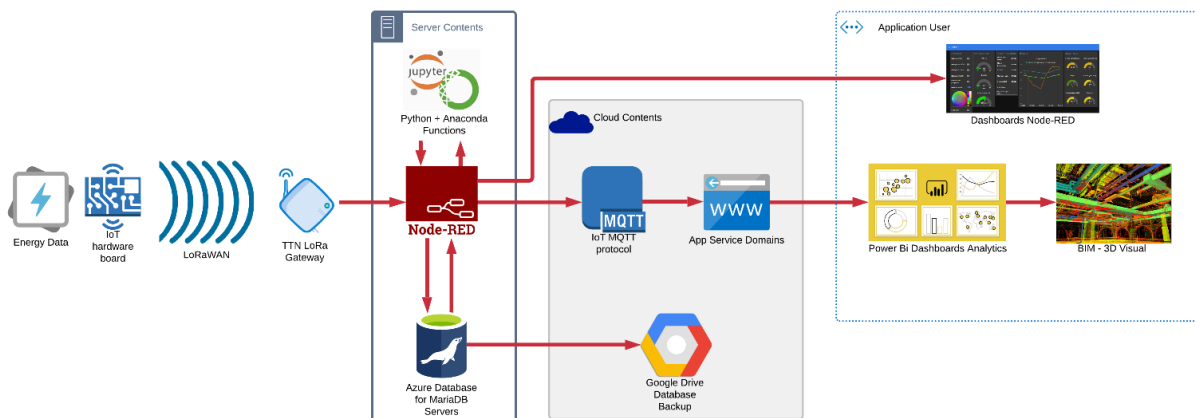


Figura 22 - Diagrama de funcionamento do sistema GEEP.

Toda *interface* de visualização foi feita com três modelos:

1. *dashboards* feito no PowerBI, publicado em *cloud*, para os utilizadores do sistema verem a apresentação dos dados processados e filtrados por tempo. Pretendida como uma forma de visualização mais simples e rápida de informar dos consumos em cada local;

2. *dashboards* feito no servidor Node-RED, para os gestores do sistema e espaços do edifício. Proporciona uma forma rápida de manutenção do sistema, com informação de atividade de cada sensor, últimas transmissões de medidas de corrente e alarmes de atividade. Tem ainda a funcionalidade de visualizar informação presente na DB e adicionar sensores e locais;
3. modelos 3D com recurso ao BIM onde são representados dados recolhidos com cores para permitir aos utilizadores do local terem uma melhor perceção dos valores de energia consumidos;

Capítulo 4. Implementação e Resultados

Com o sistema GEEP desenvolvido, e de forma a testar as funcionalidades em termos práticos, foram implementados sensores para monitorizar os seguintes locais no campus do ISCTE-IUL:

- Secretaria (Serviços Académicos) do ISCTE-IUL (Secção 4.1);
- AVAC Edifício 1 (Secção 4.2);
- Laboratório IoT – Sala C707 (Secção 4.3);

Foi configurado a transmissão em LoRa, a qual permitiu a recolha de dados em tempo real com a segurança associada pela solução comercial apresentada pela CISCO e instalada nas instalações do ISCTE-IUL. Foi desenvolvido o servidor local, instalado no laboratório IoT (sala C707) com todas as funcionalidades e protocolos usados no funcionamento do sistema. As aplicações de visualização estão disponíveis em *dashboards* online onde é possível observar o histórico de dados e gráficos dos consumos e a apresentação de um modelo 3D virtual onde a cor usada permite ao utilizador perceber o grau do consumo energético local. A cor mostrada varia entre três diferentes, sendo azul para consumos iguais à média habitual diária, verde para caso de consumo inferior e vermelho quando o consumo registado for superior à média diária.

Para validação do conceito, fizemos um piloto em modelo BIM da secretária do ISCTE-IUL. Dentro do trabalho em curso pretendemos validar o conceito proposto (trabalho em curso, cujo COVID atrasou a implementação projetada de Maio 2020), e apresentar um meio de alteração de cores no modelo, para que possa ser configurado de acordo com as preferências dos utilizadores.

Ao longo de todo o desenvolvimento, o tamanho da base de dados atingiu aproximadamente 150 MB com todos os dados que recolhemos, o que se traduz em cerca de 1,5 milhões de entradas de dados recolhidos e guardados em DB.

4.1. Implantação do Sistema

Os serviços académicos do ISCTE-IUL, também conhecido como secretaria da universidade, está situado no Edifício 1. Tem a característica de ser um conjunto de salas em *open-space* onde trabalham diariamente dezenas de pessoas para o funcionamento da parte académica da universidade. Os funcionários da secretaria fazem uso para trabalhar,

de computadores ou outros equipamentos eletrónicos que consomem energia elétrica, desta forma é um local com consumos elevados, em comparação com salas de aulas ou auditórios, e tem sempre pessoas a trabalhar durante todo o dia, o que ajuda na qualidades dos dados de consumos recolhidos. Por todos esses motivos, foi escolhido para implementar o sistema GEEP e servir como piloto com modelo BIM do local, uma vez fornecido pelo departamento de arquitetura do ISCTE-IUL.

Quando determinado o local a monitorizar, foi necessária saber exatamente onde implementar os sensores, ou seja, qual o quadro elétrico de distribuição na área da secretaria e quais os cabos de corrente trifásica para medição. Para saber essas informações necessárias, foi feita uma análise da rede elétrica do edifício 1 junto com a unidade de manutenção do ISCTE-IUL, que forneceu toda a informações e autorizações para implementar os sensores de forma segura, sem perturbar o normal funcionamento da universidade.

Depois de analisado o esquema elétrico do Quadro 1S (Anexo 1), fornecido pela unidade de manutenção, determinámos que de forma saber a energia total dos consumos na secretaria, e concluiu-se que era necessário implantar dois sensores, um no quadro geral e outro no quadro emergência, pois o circuito de tomadas elétricas e iluminação estavam dividido pelos dois quadros. Com todas a informação necessária e com o sistema pronto para a implantação, no dia 1 de outubro foi disponibilizado o acesso ao equipamento, um funcionário eletricitista para auxiliar na implantação dos sensores e fornecer uma tomada elétrica AC para alimentação externas dos sensores.

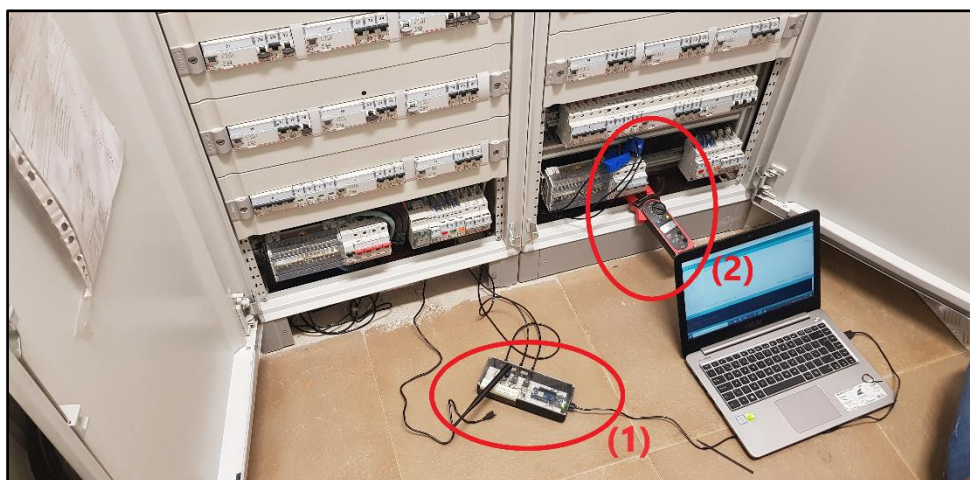


Figura 23 - Implantação dos sensores na secretária.

Na Figura 23 e Figura 24, apresenta-se a implantação dos sensores, onde se podem destacar cinco momentos:

- 1) Programação dos sensores e da comunicação com a rede LoRaWAN;
- 2) Calibração dos sensores TC com o auxílio de uma pinça amperimétrica, com valores precisos;
- 3) Disjuntor geral trifásico do quadro geral, que corresponde às ligações onde foi implantado um sensor;
- 4) Disjuntor geral trifásico do quadro emergência, que corresponde às ligações onde foi implantado um sensor;
- 5) Implantação dos sensores no fundo do quadro elétrico. Com o tamanho reduzido dos sensores foi possível escondê-los no fundo do quadro elétrico, sem perturbar o normal acesso ao quadro ou das restantes ligações;



Figura 24 - Sensores em funcionamento e a transmitir dados para o sistema GEEP.

Todo o processo de implantação dos sensores, ficou concluído em menos uma hora, foi confirmada a comunicação e transmissão pela rede LoRa e o armazenamento em DB dos dados recolhidos.

4.1.1. Visualização *Dashboard* Online

Com os sensores implementados e com os dados recolhidos guardados na BD os *dashboards* desenvolvidos conseguem mostrar a visualização da informação dos consumos. O *dashboard* desenvolvido no Node-RED, no menu da Secretaria - ISCTE (Figura 25) fornece de forma rápida ao gestor do sistema a informação do estado dos sensores implementado e os dados das últimas medições recolhidas. Também fornece visualização gráfica de todas a potência medida em kW e da energia por kWh, recolhidas por dia.

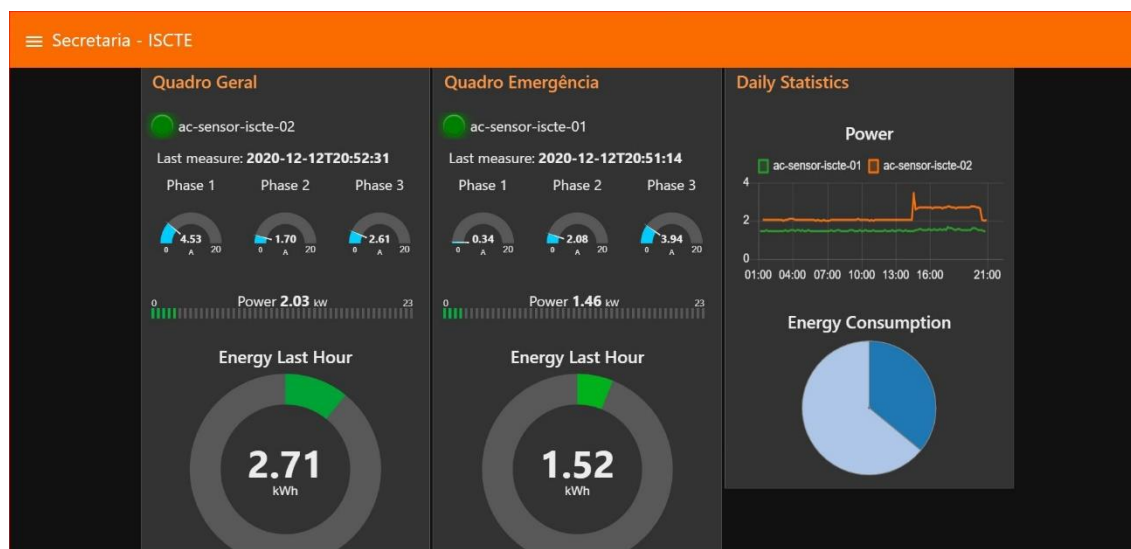


Figura 25 - *Dashboard* Node-RED para gestão e manutenção dos sensores da secretaria do ISCTE-IUL.

Para os utilizadores comuns, de forma a disponibilizar de forma fácil de entendimento os consumos locais, foi desenvolvido um *dashboard* em Power BI com a informação agrupada dos consumos por hora, dia ou mês. Na Figura 26 pode ser observado a visualização com a informação dos consumos de duas semanas da secretaria. Pode ser concluído rapidamente que a hora com maior média de consumos acontece às 14 horas e o principal consumos acontece entre as 7 horas e as 19 horas, o que corresponde ao horário de trabalhos dos funcionários da secretaria. Os dados obtidos são também coerentes com os consumos mais reduzidos verificados ao sábado e domingo. Com o gráfico de consumos geral por dia, é possível concluir de forma rápidas que a maior percentagem da

energia consumida é proveniente do quadro geral, a vermelho. Da análise da informação disponível, verifica-se que o dia da semana com maiores consumos médios acontece à sexta-feira. O consumo médio registado em dia da semana é de aproximadamente 200 kWh e o consumo total registado foi de 1870 kWh.



Figura 26 - *Dashboard* Power BI com gráficos e estatísticas dos consumos de energia da secretaria.

4.1.2. Visualização do Modelo BIM

Como forma de visualização alternativa foi feito um modelo BIM na secretaria. Este piloto de teste foi feito como modo de visualização da informação mais perto do mundo físico, com familiarização dos utilizadores locais com o desenho 3D. Como apenas se varia a cor do local consoante o consumo, os utilizadores não precisam de entender o valor real de energia em kWh, pois ao verem a cor que está assinalada no BIM conseguem obter a perceção imediata do consumo energético do local: se o consumo local é elevado o espaço do modelo BIM fica a vermelho, se o consumo está dentro da média do histórico o espaço fica azul, e finalmente se o consumo é inferior à média o espaço fica verde.

Para determinar a os valores de consumo em que o modelo BIM muda a cor, foi feito a média dos consumos a cada hora. Devido ao pouco número de dados conseguido durante

2 semanas, não se conseguiu testar muitas outras hipóteses de alteração da cor, e por esse motivo ficou definido na seguinte forma:

- Vermelho: consumos superiores a 120% da média do histórico de cada hora.
- Verde: consumos inferiores a 80% da média do histórico de cada hora.
- Azul: consumos entre os valores anteriores, ou seja, consumos semelhantes à média do histórico de cada hora.

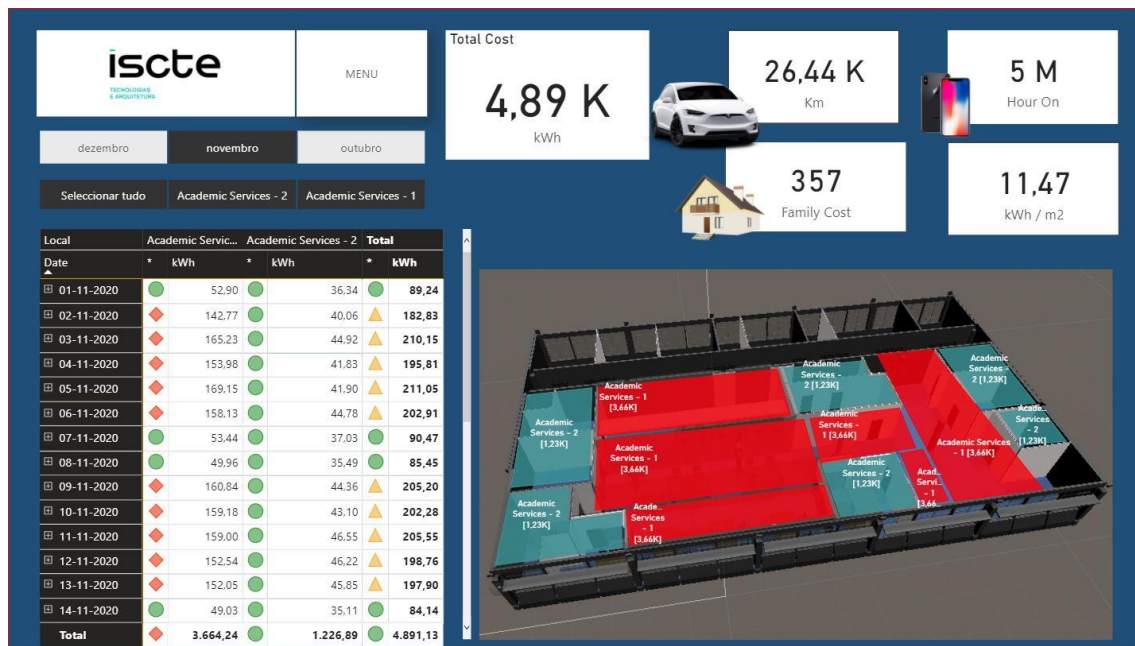


Figura 27 - Modelo BIM dos Serviços Académicos do ISCTE-IUL, com consumos de energia.

Como se pode observar na Figura 27, o modelo BIM da secretaria tem duas cores divididas em diferentes salas, esta divisão deve-se à particularidade da rede elétrica da secretaria, que tem dois quadros elétricos. Desta forma e com a informação de cada tomada elétrica normal e de emergência, presente no esquema elétrico Quadro 1-S, foi feita uma estimativa e dividida a área da secretaria por secções consoante o tipo de quadro.

Uma outra forma de mostrar o significado dos consumos de energia é a comparação com consumos de outros equiparados. Foi usado como comparação o valor dos consumos da secretaria em kWh e transformado em km percorridas por um automóvel elétrico da marca Tesla Modelo 3 [37], em horas de uso contínuo de um *smartphone* iPhone 11 Pro [38] e ainda comparado com a energia consumida em média por dia de uma família média portuguesa [39]. Estes valores podem visualizar-se na parte superior da Figura 27.

Todas estas formas de entendimento dos consumos de energia foram apresentadas aos utilizadores, pois o entendimento de energia na unidade padrão, kWh, serve pouco de referência para uma mais fácil compreensão dos consumos, o que dificulta os utilizadores na tomada de decisão para tentarem alterar as suas rotinas de consumo energético para formas mais sustentáveis.

4.2. Implementação no AVAC Edifício 1

O sistema de climatização é um dos setores onde se consome mais energia nos edifícios de grandes dimensões, como mostrado no estudo do estado da arte. Por esse motivo pode ser interessante obter informação relevante do consumo de energia e relacionar os dados recolhidos com dados de temperatura ou com estações meteorológicas anuais. Desta forma foi analisado com a unidade de manutenção do ISCTE-IUL, e conclui-se que o AVAC do Edifício 1 seria ideal para a implementação dos sensores trifásicos, pois como esse edifício é o mais antigo da universidade, possui um sistema AVAC centralizado, o que resulta em valores gerais do edifício inteiro. Outro motivo é a localização do armário elétrico, como se encontra no QGBT desse edifício, a implementação é de acesso restrito, o que facilita a segurança e a implementação do sensor.

Na Figura 28 apresenta-se a implantação dos sensores no sistema AVAC do Edifício 1 do ISCTE-IUL, onde se podem destacar cinco momentos:

- 1) Disjuntor trifásico, de alimentação do AVAC do Edifício 1;
- 2) Calibração dos sensores TC com o auxílio de uma pinça amperimétrica;
- 3) Implementação dos sensores TC em cada fase de entrada no disjuntor do AVAC;
- 4) Implementação dos sensores no fundo do quadro elétrico.



Figura 28 - Implantação dos sensores de monitorização do AVAC do Edifício 1.

Todo o processo de implantação do sensor de monitorização do AVAC ficou concluído em meia hora, e foi confirmada a comunicação e transmissão pela rede LoRa e o armazenamento em DB dos dados recolhidos

4.2.1. Visualização *Dashboard* Online

De forma igual ao processo de implantação dos sensores na secretaria, com o sensor implantado no QGBT e com os dados recolhidos guardados na BD, os *dashboards* desenvolvidos conseguem mostrar a visualização da informação dos consumos. O *dashboard* desenvolvido no Node-RED, no menu da QGBT - Edifício 1, representado na Figura 29, fornece de forma rápida ao gestor do sistema a informação do estado dos sensores implantados e os dados das últimas medições recolhidas. Também fornece visualização gráfica de toda a potência medida em kW e da energia por kWh, recolhidas por dia.

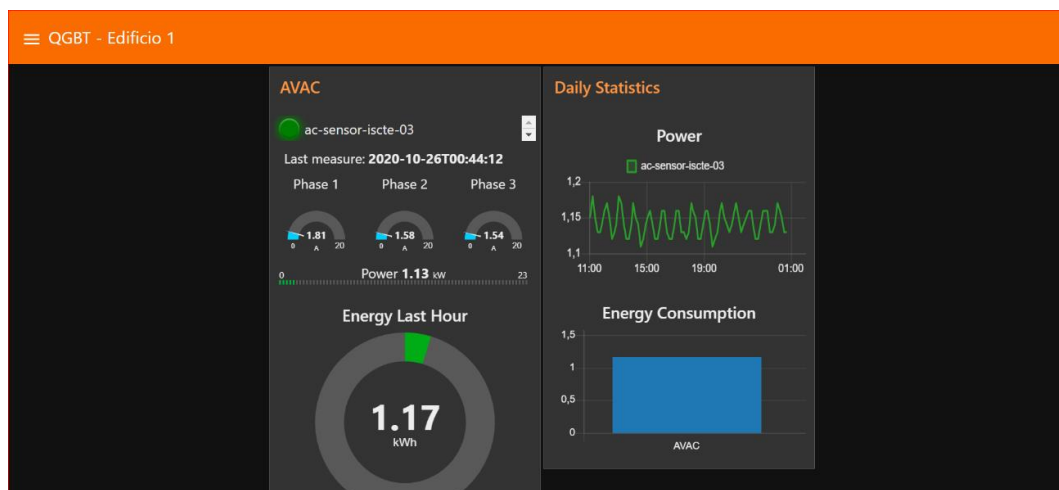


Figura 29 - *Dashboard* Node-RED para gestão e manutenção dos sensores do AVAC Edifício 1.

Para os utilizadores comuns, foi desenvolvido um *dashboard* em Power BI com a informação agrupada dos consumos por hora, dia ou mês. Na Figura 30 pode ser observado a visualização com a informação dos consumos de duas semanas da secretaria. Pode ser concluído rapidamente que a hora com maior média de consumos acontece às 13 horas e o principal consumo acontece entre as 6 horas e as 18 horas, o que corresponde ao principal período de aulas e ocupação das instalações. De forma coerente, verifica-se que os menores consumos registam-se ao sábado e ao domingo. Verifica-se ainda que o dia da semana com maiores consumos médios acontece à sexta-feira. O consumo médio registado em dia da semana é de aproximadamente 90 kWh e o consumo total registado foi de 818 kWh.



Figura 30 - *Dashboard* Power BI com gráficos e estatísticas dos consumos de energia do AVAC.

4.3. Validação do Sistema no Laboratório IoT - Sala C707

O primeiro sensor desenvolvido, para testagem do sistema GEEP, foi do tipo de sensor de dados ambientais. Este tipo de sensor foi escolhido pois é de fácil configuração e construção e permite obter dados fiáveis e em quantidade consideráveis para servir de teste e *debug* do sistema durante o desenvolvimento do sistema e das suas funcionalidades. Outro motivo foi a aprendizagem da comunicação LoRa, pois este tipo de sensor foi instalado com bateria de forma a ser portátil e de fácil testagem da rede LoRAWAN no campus do ISCTE-IUL. Na Figura 31 apresenta-se o protótipo do sensor contruído, com vários sensores instalados que transmitem dados recolhidos em intervalos de um minuto:

- 1) Sensor de Humidade e Temperatura;
- 2) Sensor de Qualidade do Ar;
- 3) Sensor de Luminosidade;
- 4) Sensor de Campo-magnético;

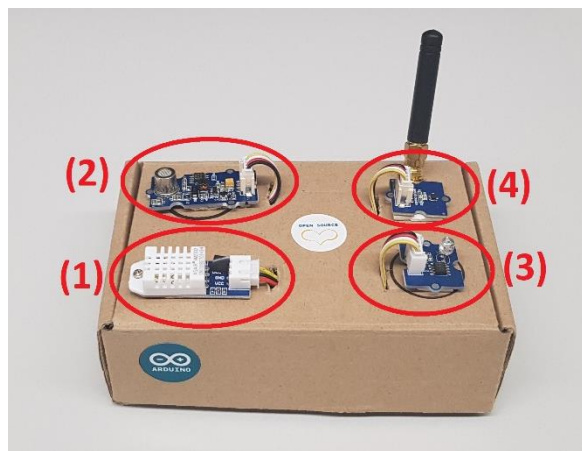


Figura 31 - Sensor ambiente de teste e *Debug* do Sistema, implementado no Laboratório de IoT.

A grande importância do sensor ambiente e o seu uso no sistema GEEP aconteceu durante o tempo de quarentena obrigatória devido à pandemia de COVID-19. Com a impossibilidade de acesso ao laboratório de IoT e de implantação dos sensores de energia em quadros elétricos trifásicos, este sensor serviu como principal sensor para o desenvolvimento do sistema GEEP, e possibilitou testar a configuração do Arduino, a comunicação com a TTN e o armazenamento dos dados na DB desenvolvida. Este sensor

revelou-se ainda importante para mostrar como o sistema GEEP é flexível na implantação de diferentes tipo de sensores. Apesar de o sistema estar otimizado para recolher dados de consumos energéticos, o mesmo pode recolher e armazenar outros tipos de dados, sem ser necessário alterar o restante sistema. A alteração do tipo de sensor necessita apenas de se alterar um tipo de formato de mensagem predefinida no sistema.

No laboratório IoT foi ainda desenvolvido um sensor TC (Figura 32) em circuito para recolha e testagem de dados de AC. Testámos a estrutura da base de dados e o processamento das mensagens enviadas pelo sensor para o Node-RED. Este sensor foi o mais usado para obter experiência e o modelo para a construção dos protótipos finais usados na implantação dos sensores em quadros elétricos reais.

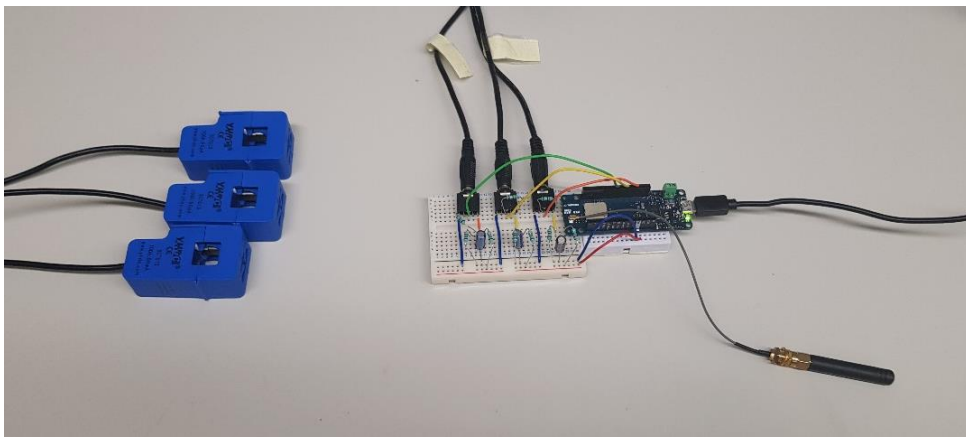


Figura 32 - Sensor de trifásico AC para testes e *Debugs*, no Laboratório de IoT.

4.3.1. Visualização *Dashboard* Online

No *dashboard* desenvolvido no Node-RED, está incluído o menu com os sensores implementados no laboratório IoT (Figura 33). Este fornece de forma rápida ao gestor do sistema a informação do estado dos sensores e os dados das últimas medições recolhidas. Tem ainda a função de poder ser usados para o desenvolvimento de novas funções e aplicações do sistema GEEP, sem comprometer os restantes sensores implementados e a transmitir dados de consumos de forma permanente.

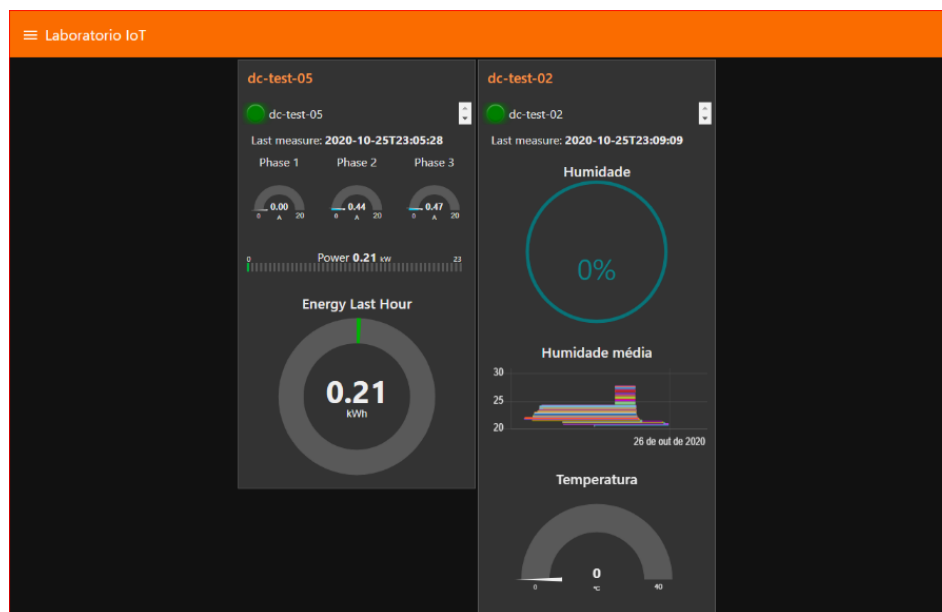


Figura 33 - *Dashboard* Node-RED para gestão e manutenção dos sensores do Laboratório de IoT.

4.4. Dificuldades de desenvolvimento

Foram mostrados todos os sensores implementados, mas apesar do sistema estar preparado para mais implementações de sensores em novos locais relevantes, não foi possível devido a várias dificuldades durante o processo de desenvolvimento e investigação desta dissertação. As principais dificuldades encontradas foram as seguintes:

- Rede LoRaWAN no campus do ISCTE-IUL ficou inoperacional a partir de novembro de 2019 e só voltou a ficar a funcionar em setembro de 2020. Desta forma tivemos de encontrar soluções alternativas para fazer testes locais com uma *gateway* LoRa de forma a poder efetuar testes de comunicação dos sensores com o sistema;
- Devido à pandemia de COVID-19 no início do ano 2020 e posterior confinamento obrigatório e encerramento das instalações do ISCTE-IUL, as instalações dos sensores que estavam previstas para março de 2020 foram adiadas. Por motivos logísticos e autorizações burocráticas só foi possível a implementação em outubro de 2020, diminuindo desta forma substancialmente o número de dados e informação de consumos sobre os quais pretendíamos trabalhar;
- Outra dificuldade gerada pela pandemia foi a impossibilidade de poder trabalhar localmente com os sensores e o servidor instalado na rede de telecomunicações do ISCTE, desta forma e devido a proteções e permissões de acesso não foi possível

implementar cedo no sistema uma forma de comunicação via rede exterior do ISCTE, mesmo pedindo ajuda à equipa de IT responsável;

Mesmo com alguns obstáculos, e apesar de não ter sido possível obter dados de consumo em quantidades elevadas para se fazer uma melhor análise dos dados, o sistema GEEP cumpre todos os objetivos propostos e mostrou ser robusto e fiável para se manter em funcionamento e continuar a ser trabalhado no futuro.

Capítulo 5. Conclusão

Neste trabalho, propusemo-nos criar o sistema GEEP, um sistema IoT de monitorização de consumos de energia flexível, sustentável e eficiente, capaz de medir os consumos em edifícios de grandes dimensões, onde os gastos são elevados e as instalações elétricas têm de ser seguras, discretas e com restrições de acesso. Por estes motivos o sistema tem a capacidade de ser instalado em diferentes tipo de ambientes e aplica diferentes paradigmas de computação, aumentando a independência de cada processo na recolha e processamento dos dados recolhidos.

Este trabalho foi aplicado em vários locais no campus do ISCTE-IUL, provou ser suficientemente flexível e funcional para cumprir os principais objetivos pretendidos, e mostrou ainda que os consumos energéticos são realmente elevados com várias formas de visualizar essa informação para qualquer utilizador, independente do conhecimento técnico deste. Foram executados três processos de implementação de sensores TC, utilizando o sistema desenvolvido, sem a necessidade de modificar a arquitetura do sistema ou os *layer* de constituição para os diferentes casos implementados.

Este trabalho contribuiu para o Projeto Gulbenkian, cujo um dos objetivos é melhorar a eficiência da universidade com a utilização de sensores IoT, como os apresentados neste trabalho, o que também significa que o sistema será utilizado num futuro próximo para medir vários quadros elétricos na universidade. Do mesmo modo, parte deste trabalho foi utilizado na formação de estudantes nos cursos práticos de uma universidade de Verão sobre a tecnologia LoRa em ambiente IoT e análise de dados.

De forma a sensibilizar estudantes ou utilizadores nas instalações do ISCTE, abordados vários tipos de visualização dos dados recolhidos, como um *dashboard* online, que qualquer pessoa consegue aceder, com informação em bruto das medições e energia consumida em tempo real, com gráficos e estatísticas com filtros por tempo e local para uma fácil visualização da informação acumulada e processada. Mas como, mesmo em forma *dashboard* a compreensão de energia não é simples, decidimos como principal abordagem o modelo BIM 3D como uma ponte entre administradores de sistemas e estudantes ou pessoas presentes no local. A perspetiva geral do público é que a ferramenta de visualização do modelo 3D pode melhorar o ambiente de trabalho dos estudantes se aplicada a uma escala maior.

Estamos também a trabalhar numa abordagem colaborativa do utilizador, onde a informação em tempo real do contexto local é fornecida aos dispositivos móveis dos utilizadores de uma forma que pode sensibilizá-los a usar energia de forma sustentável e realizar ações de poupança.

Em suma, este trabalho conseguiu alcançar o seu objetivo de criar um sistema IoT de baixo custo, flexível e que permite um processo de implementação fácil que pode ser aplicado em diferentes ambientes, a fim de obter informação de consumos energéticos. Conseguimos desenvolver uma solução que usa tecnologias IoT emergentes, como o uso da rede LoRaWAN para comunicação dos sensores de forma simples e segura. Outro aspeto importante é a integração dos vários servidores e aplicações, independentes de entidades externas, com total controlo e segurança dos dados, como o uso e manutenção física da DB e plataformas de desenvolvimento e programação como o Node-RED e Jupyter para desenvolvimento do sistema à medida dos objetivos propostos, sem limitações de uso ou a necessidade de licenças. Aproveitámos ainda o modelo BIM 3D da secretaria do ISCTE-IUL para implementar um piloto, que pode ser replicado para os restantes espaços em BIM, como forma fácil e rápida de visualizar a informação de consumos locais.

Finalmente, queremos destacar que este trabalho não tinha, de forma alguma, o objetivo de diminuir de forma ativa o consumo energético nos locais implementados. O trabalho focou-se na recolha, armazenamento, análise e apresentação de informação fidedigna. É um trabalho de sensibilização dos utilizadores a fazerem alterações de rotinas de uso por si, de forma a reduzir consumos e criar ambientes mais sustentáveis.

5.1 Trabalhos Futuros

Como desenvolvimentos futuros, e contando com prolongamento do projeto de sustentabilidade energética, prevemos os seguintes trabalhos futuros que poderão acontecer, havendo alguns que já se encontram mesmo a ser trabalhados:

- Contante evolução e manutenção de funções do sistema GEEP e alarmes de ativos de utilização e atuadores IoT.
- Com a continuação do funcionamento do sistema GEEP, este irá continuar a receber dados de consumos energéticos nos locais monitorizados. Desta forma, quando houver dados em volume suficientes guardados na base de dados, será possível

programar funções de *machine learning* de forma a detetar anomalias de rede, padrões de uso anormais e previsões futuras de consumos, o que pode ajudar bastantes em nível orçamental e influenciar a comunidade académica a consumir energia de forma mais sustentável.

- Acautelando futuros trabalhos de IoT e análise de dados ambientais, o sistema está preparado para receber qualquer tipo de sensor (dependendo do formato da mensagem) e pode servir de base para vários projetos IoT, sem ser necessário uma nova implementação ou testagem do sistema, além da implementação de novos sensores. O sistema armazenará os dados em DB SQL para serem analisados de forma que os futuros projetos pretenderem. Por exemplo, o sistema está preparado para receber informação de sensores acoplados a contadores de água para obter informação dos consumos de água.
- No futuro pode ser interessante conceber e implementar uma Blockchain que registe o tipo de utilizador do consumo e a informação de consumo energético. Isto pode facilitar a gestão de recursos energéticos associados ao tipo de utilizador. Contudo, a informação privada de cada utilizador é sensível. Por esse motivo a informação deve estar num circuito fechado, protegida contra acessos não autorizados e com salvaguarda de privacidade.
- Os dados dos consumos energéticos recolhidos na Secretaria do ISCTE-IUL, serão usados no projeto “IOT*(AMBISENSE) – SMART ENVIRONMENT MONITORING USING LORA” com o objetivo de comparação com os dados de temperatura ambiente, e influenciar os utilizadores locais para terem rotinas mais sustentáveis
- Adaptação do sistema GEEP para implementação em um dormitório universitário, para o projeto “Desenvolvimento de Perfil Energético utilizando IoT e Ciências de Dados”, com o objetivo de comparar o tipo de habitante do quarto com a energia consumida, para desta forma criar um perfil energético.
- Possível implementação em projetos de casas de turismo.

Referencias Bibliográficas

- [1] “World Energy 2018-2050: World Energy Annual Report (Part 1) | Seeking Alpha.” <https://seekingalpha.com/article/4184697-world-energy-2018minus-2050-world-energy-annual-report-part-1> (accessed Jul. 15, 2020).
- [2] F. P. Perera, “Multiple Threats to Child Health from Fossil Fuel Combustion: Impacts of Air Pollution and Climate Change,” *Environmental Health Perspectives*, vol. 125, no. 2, pp. 141–148, Feb. 2017, doi: 10.1289/EHP299.
- [3] “Final energy consumption by sector and fuel in Europe — European Environment Agency.” <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/final-energy-consumption-by-sector-10/assessment> (accessed Jul. 15, 2020).
- [4] “The Internet of Things (IoT) - essential IoT business guide.” <https://www.i-scoop.eu/internet-of-things-guide/> (accessed Jul. 19, 2020).
- [5] “Toward Model-Driven Sustainability Evaluation.: EBSCOhost.” <http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=5&sid=cae6bc4b-4642-47fe-8fa2-db24b7526f36%40sessionmgr101> (accessed Jul. 19, 2020).
- [6] B. Purvis, Y. Mao, and D. Robinson, “Three pillars of sustainability: in search of conceptual origins,” *Sustainability Science*, vol. 14, no. 3, pp. 681–695, May 2019, doi: 10.1007/s11625-018-0627-5.
- [7] J. M. Harris, “Sustainability and Sustainable Development,” 2003. Accessed: Jul. 19, 2020. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/237398200>.
- [8] “The 3 Pillars of Corporate Sustainability.” <https://www.investopedia.com/articles/investing/100515/three-pillars-corporate-sustainability.asp> (accessed Jul. 19, 2020).
- [9] “EU 2020 target for energy efficiency | Energy.” https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/targets-directive-and-rules/eu-targets-energy-efficiency_en (accessed Jul. 19, 2020).

- [10] “DIRETIVA (UE) 2018/ 2001 DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO - de 11 de dezembro de 2018 - relativa à promoção da utilização de energia de fontes renováveis.” Accessed: Jul. 19, 2020. [Online].
- [11] “GAIA objectives – Gaia Project.” <http://gaia-project.eu/index.php/en/gaia-objectives/> (accessed Jul. 19, 2020).
- [12] D. Brunelli, I. Minakov, R. Passerone, and M. Rossi, “Smart monitoring for sustainable and energy-efficient buildings: A case study,” in *2015 IEEE Workshop on Environmental, Energy, and Structural Monitoring Systems, EESMS 2015 - Proceedings*, Aug. 2015, pp. 186–191, doi: 10.1109/EESMS.2015.7175875.
- [13] B. Balaji *et al.*, “Brick: Towards a unified metadata schema for buildings,” in *Proceedings of the 3rd ACM Conference on Systems for Energy-Efficient Built Environments, BuildSys 2016*, Nov. 2016, pp. 41–50, doi: 10.1145/2993422.2993577.
- [14] J. Chen, R. Tan, G. Xing, and X. Wang, “PTEC: A system for predictive thermal and energy control in data centers,” in *Proceedings - Real-Time Systems Symposium*, Jan. 2015, vol. 2015-January, no. January, pp. 218–227, doi: 10.1109/RTSS.2014.27.
- [15] Q. Liu, Y. Ma, M. Alhussein, Y. Zhang, and L. Peng, “Green data center with IoT sensing and cloud-assisted smart temperature control system,” *Computer Networks*, vol. 101, pp. 104–112, Jun. 2016, doi: 10.1016/j.comnet.2015.11.024.
- [16] L. Pocero, D. Amaxilatis, G. Mylonas, and I. Chatzigiannakis, “Open source IoT meter devices for smart and energy-efficient school buildings,” *HardwareX*, vol. 1, pp. 54–67, Apr. 2017, doi: 10.1016/j.ohx.2017.02.002.
- [17] O. Ardakanian, A. Bhattacharya, and D. Culler, “Non-intrusive techniques for establishing occupancy related energy savings in commercial buildings,” in *Proceedings of the 3rd ACM Conference on Systems for Energy-Efficient Built Environments, BuildSys 2016*, Nov. 2016, pp. 21–30, doi: 10.1145/2993422.2993574.

- [18] “Smart energy - Power usage monitoring for IoT solutions.” <https://www.develcoproducts.com/business-areas/smart-energy/> (accessed Jul. 19, 2020).
- [19] “Technology - Sense.com.” <https://sense.com/technology/> (accessed Jul. 19, 2020).
- [20] “Engage, ‘Engage: Efergy.’” <https://engage.efergy.com/content/about-engage> (accessed Jul. 19, 2020).
- [21] A. Yousefpour, C. Fung, T. Nguyen, K. Kadiyala, F. Jalali, A. Niakanlahiji, J. Kong, J. Jue, “All one needs to know about fog computing and related edge computing paradigms: A complete survey,” *Journal of Systems Architecture*, vol. 98. Elsevier B.V., pp. 289–330, Sep. 01, 2019, doi: 10.1016/j.sysarc.2019.02.009.
- [22] M. de Donno, K. Tange, and N. Dragoni, “Foundations and Evolution of Modern Computing Paradigms: Cloud, IoT, Edge, and Fog,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 150936–150948, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2947652.
- [23] J. Li, J. Jin, D. Yuan, M. Palaniswami, and K. Moessner, “EHOPES: Data-centered Fog platform for smart living,” in *25th International Telecommunication Networks and Applications Conference, ITNAC 2015*, Dec. 2015, pp. 308–313, doi: 10.1109/ATNAC.2015.7366831.
- [24] J. Xie, S. Wang, and C. Yin, “Machine Learning Based Task Scheduling for Wireless Powered Mobile Edge Computing IoT Networks,” Oct. 2019, doi: 10.1109/WCSP.2019.8928109.
- [25] “Beginners Guide To The MQTT Protocol.” <http://www.steves-internet-guide.com/mqtt/> (accessed Sep. 04, 2020).
- [26] “MQTT Version 3.1.1.” <http://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v3.1.1/mqtt-v3.1.1.html> (accessed Aug. 28, 2020).
- [27] “BIM: O que é? Mestrado Integrado em Engenharia Civil,” 2012. Accessed: Jul. 19, 2020. [Online].
- [28] “MQTT Version 3.1.1.” <http://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v3.1.1/mqtt-v3.1.1.html> (accessed Sep. 04, 2020).

- [29] “Publish & Subscribe - MQTT Essentials: Part 2.” <https://www.hivemq.com/blog/mqtt-essentials-part2-publish-subscribe/> (accessed Sep. 04, 2020).
- [30] B. Mataloto, J. C. Ferreira, R. Resende, R. Moura, and S. Luís, “BIM in People2People and Things2People Interactive Process,” *Sensors*, vol. 20, no. 10, p. 2982, May 2020, doi: 10.3390/s20102982.
- [31] “Current Transformer Basics and the Current Transformer.” <https://www.electronics-tutorials.ws/transformer/current-transformer.html> (accessed Oct. 18, 2020).
- [32] “Learn | OpenEnergyMonitor.” <https://learn.openenergymonitor.org/electricity-monitoring/ct-sensors/interface-with-arduino> (accessed Oct. 21, 2020).
- [33] “Network | The Things Network.” <https://www.thethingsnetwork.org/docs/network/> (accessed Oct. 18, 2020).
- [34] “Node-RED.” <https://nodered.org/> (accessed Oct. 18, 2020).
- [35] “MariaDB Foundation - MariaDB.org.” <https://mariadb.org/> (accessed Oct. 18, 2020).
- [36] “Project Jupyter | Home.” <https://jupyter.org/> (accessed Oct. 18, 2020).
- [37] “Autobahn-Test: Audi e-tron gegen Rest der E-Auto-Welt.” <https://nextmove.de/autobahn-test-audi-e-tron-gegen-den-rest-der-elektroauto-welt> (accessed Oct. 25, 2020).
- [38] “iPhone - Apple (PT).” <https://www.apple.com/pt/iphone/#footnote-9> (accessed Oct. 25, 2020).
- [39] “15, 25 ou mais de 30 euros por mês? Saiba quanto pode aumentar a conta da luz das famílias na quarentena – ECO.” <https://eco.sapo.pt/2020/04/06/15-25-ou-mais-de-30-euros-por-mes-saiba-quanto-pode-aumentar-a-conta-da-luz-das-familias-na-quarentena/> (accessed Oct. 25, 2020).

Anexos

Anexo 1: Esquema elétrico Quadro 1-S, Serviços Académicos

10/06/2014
18/06/2014
18/06/2014

ISCTE

QUADRO 1-S (PAINEL NORMAL)

DESCRIÇÃO DOS CIRCUITOS

	BOBINE DE DISPARO
1.	<u>CORTE GERAL</u>
	RELÉ DIFERENCIAL
2.	PORTA FUSÍVEL DE PROTECÇÃO
3.	SINALIZADORES DE FASES
4.	PROTECÇÃO SINALIZADORES DE FASES
5.	PROTECÇÃO DESCARREGADOR DE SOBRETENSÕES
6.	DESCARRAGADOR DE SOBRETENSÕES
7.	PROTECÇÃO DIFERENCIAL CIRCUITOS 8 A 10
8.	ILUMINAÇÃO ZONA ATENDIMENTO (FUNCIONÁRIOS), SERV. ACADÉMICOS E GABINETES
9.	RESERVA <i>Alim. Foral Alimentação</i>
10.	ILUMINAÇÃO ZONA ATENDIMENTO (PÚBLICO), SERV. ACADÉMICOS E SALA Q.ELÉCTRICO
11.	PROTECÇÃO DIFERENCIAL CIRCUITOS 12 A 14
12.	ILUMINAÇÃO GABINETES SERVIÇOS FINANCEIROS
13.	ILUMINAÇÃO ZONA DIREITA SERVIÇOS FINANCEIROS
14.	ILUMINAÇÃO ZONA ESQUERDA SERVIÇOS FINANCEIROS
15.	PROTECÇÃO DIFERENCIAL CIRCUITOS 16 A 18
16.	ILUMINAÇÃO OPEN SPACE SERVIÇOS ACADÉMICOS (ZONA INTERIOR + CENTRO)
17.	ILUMINAÇÃO OPEN SPACE SERVIÇOS ACADÉMICOS (ZONA JANELAS)
18.	RESERVA
19.	PROTECÇÃO DIFERENCIAL CIRCUITOS 20 A 22
20.	RESERVA
21.	ILUMINAÇÃO (CIRCUITO OLHOS DE BOI ANTIGOS)
22.	ILUMINAÇÃO TESOOURARIA
23.	PROTECÇÃO DIFERENCIAL CIRCUITOS 24 A 26
24.	RESERVA
25.	RESERVA
26.	RESERVA
27.	PROTECÇÃO DIFERENCIAL CIRCUITOS 28 A 30
28.	RESERVA
29.	TOMADAS CIRCUITO 39
30.	RESERVA
31.	PROTECÇÃO DIFERENCIAL CIRCUITOS 32 A 34
32.	TOMADAS CIRCUITO 29
33.	TOMADAS CIRCUITO 37
34.	TOAMDAS CIRCUITO 36
35.	PROTECÇÃO DIFERENCIAL CIRCUITOS 36 A 38
36.	RESERVA
37.	RESERVA
38.	RESERVA
39.	PROTECÇÃO DIFERENCIAL CIRCUITOS 40 A 42
40.	TOMADAS CIRCUITO 16
41.	RESERVA
42.	RESERVA
43.	PROTECÇÃO DIFERENCIAL CIRCUITOS 44 A 46
44.	TOMADAS CIRCUITO 25
45.	TOMADAS CIRCUITO 26
46.	TOMADAS CIRCUITO 27
47.	PROTECÇÃO DIFERENCIAL CIRCUITOS 48 A 50 RESERVA

Figura 34 - Quadro 1S - Painel normal, descrição dos circuitos.

INSTITUTO DE
TÉCNICA DE
ELECTRICIDADE

ISCTE

QUADRO 1-S (PAINEL EMERGÊNCIA)

31007A

DESCRIÇÃO DOS CIRCUITOS

1. CORTE GERAL
2. SINALIZADORES DE FASES
3. PROTECÇÃO SINALIZADORES DE FASES
4. PROTECÇÃO DESCARREGADOR DE SOBRETENSÕES
5. DESCARREGADOR DE SOBRETENSÕES
6. PROTECÇÃO DIFERENCIAL CIRCUITOS 7 A 9
7. TOMADAS CIRCUITO 32
8. TOMADAS CIRCUITO 31
9. TOMADAS CIRCUITO 30
10. PROTECÇÃO DIFERENCIAL CIRCUITOS 11 A 13
11. RESERVA
12. RESERVA
13. RESERVA
14. PROTECÇÃO DIFERENCIAL CIRCUITOS 15 A 17
15. TOMADAS CIRCUITO 33
16. TOMADAS CIRCUITO 35
17. TOMADAS CIRCUITO 34
18. PROTECÇÃO DIFERENCIAL CIRCUITOS 19 A 21
19. TOMADAS CIRCUITO 12
20. TOMADAS CIRCUITO 13
21. TOMADAS CIRCUITO 14
22. PROTECÇÃO DIFERENCIAL CIRCUITOS 23 A 25
23. TOMADAS CIRCUITO 22
24. TOMADAS CIRCUITO 23
25. TOMADAS CIRCUITO 24
26. PROTECÇÃO DIFERENCIAL CIRCUITOS 27 A 29
27. TOMADAS CIRCUITO 20
28. TOMADAS CIRCUITO 21
29. BASTIDOR (ANTIGO)
30. PROTECÇÃO DIFERENCIAL CIRCUITOS 31 A 33
31. BASTIDOR SERVIÇOS FINANCEIROS
32. TOMADAS CIRCUITO 18
33. TOMADAS CIRCUITO 19
34. PROTECÇÃO DIFERENCIAL CIRCUITOS 35 A 37
35. TOMADAS CIRCUITO 15
36. RESERVA
37. BASTIDOR (SALA QUADROS ELÉCTRICOS 1S)
38. PROTECÇÃO DIFERENCIAL CIRCUITOS 39 A 41
39. TOMADAS CIRCUITO 38
40. RESERVA
41. RESERVA
42. PROTECÇÃO DIFERENCIAL CIRCUITOS 43 A 45
43. RESERVA Bastidor
44. RESERVA
45. RESERVA
46. PROTECÇÃO DIFERENCIAL CIRCUITOS 47 A 49
47. RESERVA
48. RESERVA
49. RESERVA

Figura 35 - Quadro 1S - Pannel emergência, descrição dos circuitos.

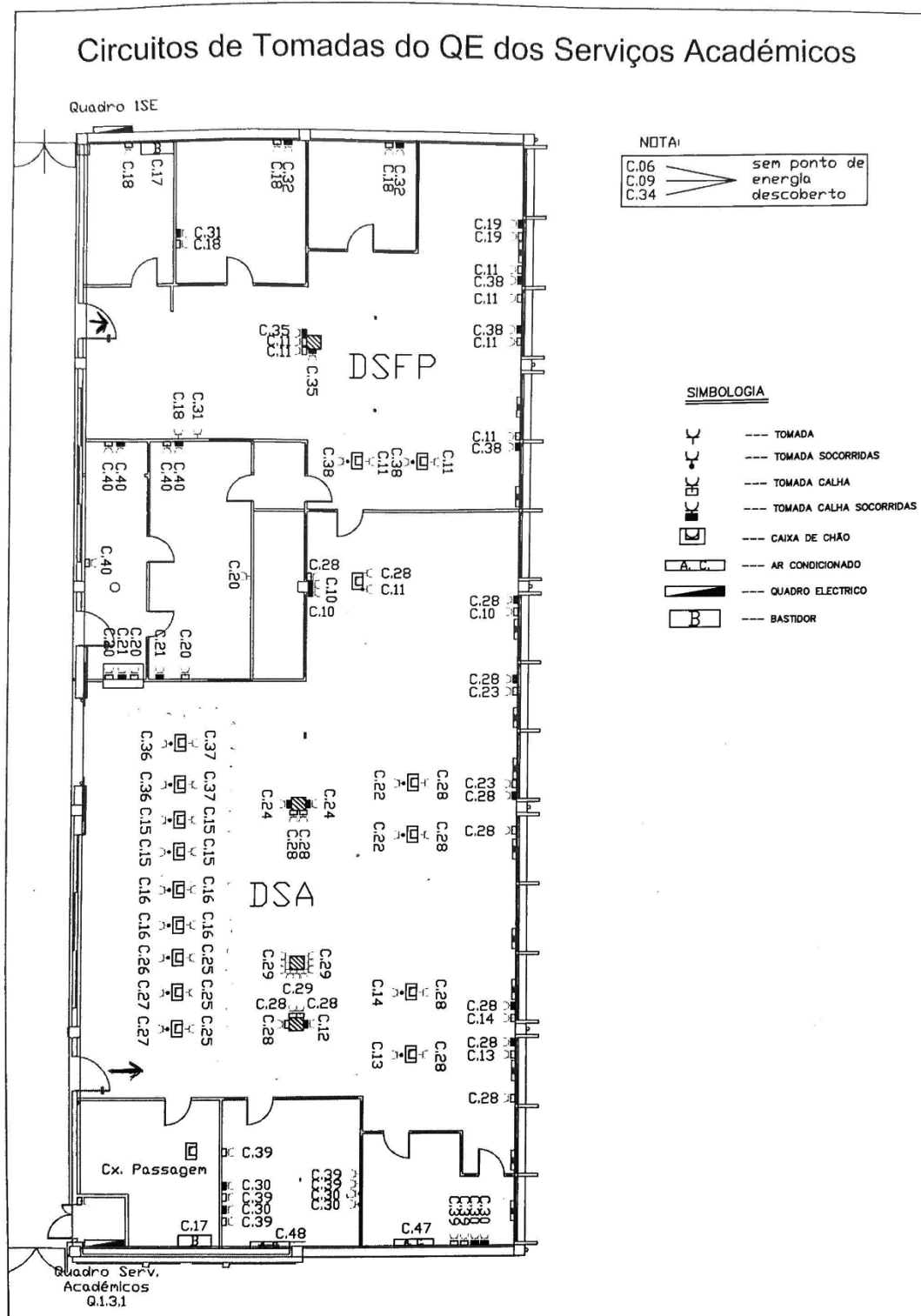


Figura 36 - Circuitos de tomadas do quadro elétrico dos Serviços Académicos

Anexo 2: Artigo Submetido

Artigo submetido a MDPI Sustainability ao special issue Emerging Energy Technologies and Energy Saving.

Manuscript ID: sustainability-1071272.

Type of manuscript: Article.

Title: 3D IoT System for Environmental and Energy Consumption Monitoring System.

Article

3D IoT System for Environmental and Energy Consumption Monitoring System

Daniel Calé¹, Bruno Mataloto¹, Kaiser Carimo¹, and Joao C Ferreira^{1,2,*}

¹ ISTAR-IUL, Instituto Universitário de Lisboa (ISCTE-IUL), 1649-026 Lisboa, Portugal;

² INOV INESC Inovação-Instituto de Novas Tecnologias, 1000-029 Lisboa, Portugal;

* Correspondence author: Daniel_Cale@iscte-iul.pt (D.C); Bruno_Mataloto@iscte-iul.pt (B.M.); Kaiser_Jacinto_Carimo@iscte-iul.pt (K.C); joao.carlos.ferreira@iscte-iul.pt (J.C.F.)

Received: date; Accepted: date; Published: date

Abstract: Energy consumption in buildings are related to environmental conditions and user behaviour. In our research work, we develop a novel approach to monitor and interact with local users providing local context information with colours. Energy and local environment parameters like temperature (internal and external), luminosity, humidity and energy are measured real-time and stored to identify consumption patterns and other savings actions. To involve local users, collected data is represented in 3D colour representation using local building plants. Colours shown in a three simplified scale (red (above), green (usual or recommended) and blue (bellow), allows users perception of local consumption (above/bellow usual patterns) and also to highlight temperature/luminosity on comfort zone or above/bellow. This allows user commitment and their participation in saving actions like turn off lights no increase/decrease local temperature if it is in the comfort zone

Keywords: Internet of Things, LoRaWAN, BIM Model, Sustainability, Building Monitoring, Smart Cities, Environmental Conditions, Data Analysis.

1. Introduction

Buildings account for a significant proportion of energy consumption and related CO₂ emissions worldwide. The construction industry, for instance, accounts for 39% and 40% of energy use and 38% and 36% of CO₂ emissions in the U.S. [1] and Europe [2], respectively. The

use of fossil fuel-generating fuels leads to CO₂ emissions and induces air pollution and global warming, in [3], the authors used a climate prediction model to project temperature changes till 2025 and results show that the lowest temperature variation will result in a 1.09 quadrillion BTU's of energy increase for cooling or heating. While renewable energy consumption and energy usage can have a positive effect on a country's GDP (gross domestic product), fossil fuel energy consumption has a significantly negative impact [4]. To make our buildings more efficient and sustainable, besides automatic rules, user interaction with monitoring systems can have a significant impact not only in energy savings but also modelling people's behaviour [5].

The energy savings and economic performance of building energy are subject to uncertainties, such as weather variations [6], construction operations [7], [8], shifts in human behaviour [9]–[11], and changes in government policy, [12], [13]. The behaviour of the occupant has a significant influence on the use of building energy [14] and is one of the most critical uncertainties concerning the energy saving on buildings. Owens and Wilhite [10] concluded that about 10-20 per cent of domestic energy usage in the Nordic counties could be saved by altering occupant actions alone. According to a study of the energy behaviour of householders by Yohanis [9], substantial energy savings can be achieved by improving the perception of occupant energy. The work of [11] also shows the importance of occupant behaviour in the use of energy for space and water heating in the Netherlands. These studies and others have shown that occupant actions can have a substantial effect on energy usage in buildings as well as on the saving potential of retrofit construction. Most studies, however, have used survey findings to obtain data. Occupant behaviour in buildings has been generally recognized as a major factor leading to differences between measured and simulated energy consumption in buildings [15]–[18]. There is a lack of user involvement in current ICT solutions that process the construction of energy consumption data, making them easy to understand, encouraging behavioural changes and ensuring their sharing among users. Several advantages have been highlighted, such as inspiring people, enhancing their knowledge, increasing their awareness [19], improving standard usage practices, encouraging green and sustainable behaviour, minimizing energy bills [20] or achieving financial advantages [21]. Since tangible benefits are absent, however, user engagement is not guaranteed [22]. The key reasons behind this emerge from the fact that while a great deal of data is collected around buildings, users do not understand the information [26]. Users, in fact, usually experience sensors in a passive way and are therefore not engaged for long periods of time [23], [24]. These seem to be some of the critical barriers to a concrete breakthrough in energy-saving ICT solutions [22].

This paper, therefore, proposes a method for user data perception using 3D colours models to give user data to understand and allows the users a better reality perception towards energy savings.

2. Literature Review

Thermal isolation is a critical construction requirement for new buildings. According to [25], buildings with more than 30 years old and less than 100 years old have the highest energy consumption per square meter ratio. This energy demand can reach up to 19 extra KWh per square meter. The authors in [26] analysed energy consumption of Hospitals, Office Buildings and Schools, being the average consumption values per square meter of 194.64KWh, 188.36KWh and 103.27KWh respectively. Air conditioning systems, lighting and the building thermal isolation itself were considered the key factors for these values.

Many studies such as [27]–[29], have been performed at schools, with an overall conclusion that heating /cooling systems have a major impact on energy usage, usually caused by heat losses on aged buildings. These factors also have a direct impact on people's comfort and even air quality when air is not renovated to increase heating/cooling efficiency. Authors in [27] also described the lack of energy consumption monitoring as a major problem, since having only a

single meter per building, caused energy audits to be less precise and harder to extrapolate into concrete data.

Because upgrading entire buildings to more efficient materials or heating /cooling systems can be very difficult to accomplish, IoT systems can help reducing energy waste and provide management tools that can be used by any user with different expertise. IoT can be used to control and monitor energy consumptions, such as in [30], where current sensors in a smart home application, were used to collect and send data to the web, giving users remote information on their mobile devices.

In [31], a general framework is proposed to accommodate smart cities IoT systems, and energy-efficient solutions are described such as lightweight protocols usage, predictive models for energy consumption, Cloud-based approaches and Low-power Transceivers. The IoT Energy monitoring system developed in [32], uses monitoring nodes that collect energy consumption data from Current sensors, to a local server, displaying information in gauges and charts accessible through a web application, giving the user general consumption values and changes during the day. Most IoT energy-related systems lack user interaction or practical and simple indicators for the general public to understand the provided information. Building Information Models are currently being used mostly for architecture purposes such as in [33], for prefabricated constructions, [34] for bridge construction projects, or even augmented reality for IoT sensors visualization [35].

When it comes to energy savings and user interaction, 3D BIM models have the potential to connect sensors with People to achieve a new savings paradigm however, few works combine these two technologies with user interaction as the focus. A review of BIM and IoT integrations [36] presented 11 articles about Facilities Energy Management, but none of them were intended for home/user interaction. In [37] the authors used temperature and humidity sensors, integrated with BIM models to present a 3D coloured map of a room and evaluate fluctuations during the day. Results showed a major temperature loss near the windows, alerting for deficient isolation. A BIM model was also integrated with indoor location sensors in [38], to create a support algorithm for emergency operations. For building management, augmented reality solutions in [39], integrate BIM structural data with environmental sensor's data to increase awareness for energy consumption and environmental conditions, however, the authors only present a conceptual design of the proposed approach.

As residential and commercial buildings represent almost 40% of the European Union total energy consumption [40], user interaction is essential to explore new ways to save energy. In [41], a concept study was developed using indoor-positioning data to contextualize energy consumptions, allowing users to relate activities and rooms to energy values unknown to them before. In [42] authors shows that energy user understand is an interactive visualization tool that allows energy consumption data manipulation using dynamic graphics. This tool was tested in 12 different homes where participants started to discover specific appliances consumptions, and how much energy a determined activity could spend such as using the microwave or using the Air conditioning system. In [5], [43], the authors used a user-centric approach with IoT and BIM models, similar to our work, to interact with users promoting behavioral changes and people engagement. Another concept work in energy management and savings was developed in [44] as a smart university platform that was able to aggregate sensor's data, environmental data and data center efficiency, displaying the information on a web service. The system promoted savings using rule-based actions and integrations with OpenADR standard for future implementation.

3. IoT System for Environmental and Energy Consumption Monitoring with 3D Modeling

3.1. System architecture

Our platform follows the principles of system integration through a common platform for multiple devices, all these devices transmit data to the platform using the Internet of Things (IoT) related technologies. In defining an IoT system, the system architecture was divided into four main layers, as shown in Figure 1:

- **Hardware Layer: Sensor and Microcontroller** - consists of the equipment at the end of the system. This layer is composed of the sensor that reads the desired data and the microcontroller that commands the sensor and collects stores and transmits the data. In the case of this system, the microcontroller makes a first analysis of the data and transmits the information already processed in a shorter message, but without loss of information.
- **Network Layer: LoRaWAN and TTN** - consists of a LoRaWAN network, used for sensor communication and transmission of the collected information to a LoRa Gateway, The Things Network (TTN) that interconnects the LoRaWAN network with the worldwide web. TTN receives uplinks from the sensors and redirects this data to an MQTT server, where later several servers and applications can retrieve this information and know the status of the sensors, or downlink and send information to the sensors if necessary, such as commands to be executed by the actuators;
- **Data Layer: Node-RED, Database** - is the center of the system, consisting of servers, Node-RED, which process data for all system functions and obtain useful information and consumption statistics. This layer is also part of the database where the data is stored in a safe and accessible way, for future projects;
- **Application Layer: Dashboard and BIM** - is where interaction with users takes place, data collected is analyzed and used to create a dashboard, with a control panel that presents the information in detailed graphs along with time and place filters. For users with little technical knowledge, the BIM platform works as a digital interaction with the physical world.

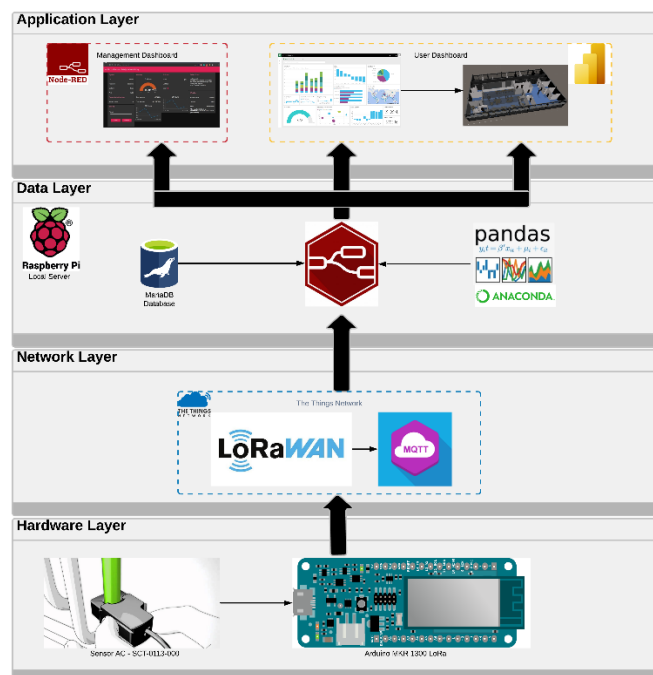


Figure 1 - Architecture and constitution of the IoT system.

3.2. Hardware Layer

This is the layer that surrounds the physical objects and sensors used to collect the desired data. Two prototypes were developed for this work:

- Environmental conditions.
- Energy consumption.

3.2.1. Environmental conditions

The prototype of this system was developed in ISCTE's IoT laboratory using the DTH22 sensor. It reads temperature and humidity values. Also, the BS France LoRa32u4 II microcontroller was required, which uses the LoRa communication protocol to transmit the data collected by the sensors to the LoRa gateway.

The first tests were performed on a breadboard, as this is more advisable for the initial testing phase where several changes have to be made at all times. Once the test phase was over it was replaced by a drilling circuit board, due to its advantages.

It was essential to design the electrical circuit in order to establish the connections of the sensors to the microcontroller using conductive wires. Then the conducting wires had to be soldered to the pins of the microcontroller so that they would not come loose, and to finish, the microcontroller was connected to a drilling circuit board.

As the prototype was designed to work without the need for a power source, it was necessary to add a 4000mAh lithium battery to power the sensors, because of this it can be installed anywhere. Figure 2 shows the assembly and presents the final prototype.

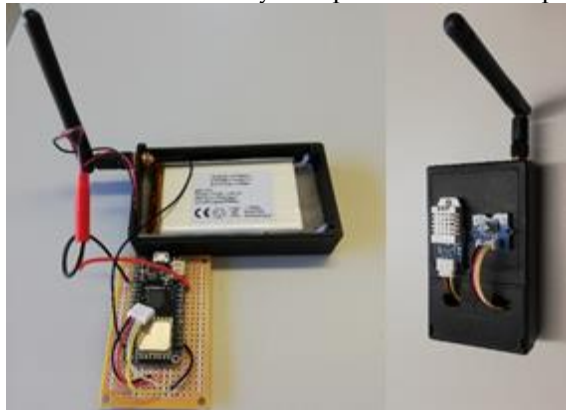


Figure 2 - Prototype of environmental conditions IoT sensor.

3.2.2. Energy consumption

The sensors that calculate the energy consumption have been placed in various general electrical cabinets and take the three-phase current readings, that is, each sensor measures three different Alternate Currents (AC) and calculates the electric power in kW, knowing that the electric voltage supplied is always at 230V. The sensors are prototypes made in the IoT Laboratory at ISCTE-IUL, composed of an MKR 1300 Arduino microcontroller, connected to current transformer clamps, with the main characteristics of ease of implementation and measurement of the AC in a passive way, i.e. it is installed without the need for physical action on the electricity cable where it is connected and without the need to cut local power and without affecting the normal flow of electricity. The clamps measure the magnetic field usually generated by the passage of electric current in a cable to make the approximate measurement of the current consumed.

Figure 3 presents the prototype sensor developed in the laboratory, reduced in size to allow real installations in ISCTE-IUL electrical panels. In the construction of the sensor, we verify two main components, necessary for configuration and assembly, the current transformation clamps and the Arduino microcontroller with LoRa communication.

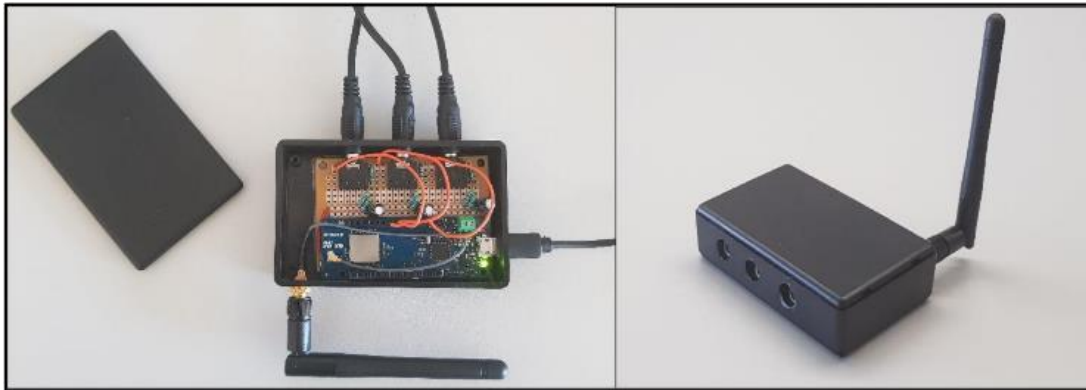


Figure 3 - Prototype of three-phase current IoT sensor.

A Current Transformer Sensors (CT) measure the alternating current passing through an electrical conductor, this type of sensor works as current clamps, which in turn use CT. Like a current clamp, the sensor has a ferrite ring, with a coil of wire around it forming a secondary winding, a primary current conductor is then placed between the ferrite ring that carries the current we want to measure, the primary conductor.

The sensors of the SCT family have different secondary classifications, the classifications being the current or voltage values that the sensor will provide when a certain primary current is being passed. In testing and deploying our system, we use the same type of SCT-13-000 sensor (Figure 4) whose transformation ratio is 100A:50mA, meaning that when 100A is passing through the primary conductor, the value of the current this sensor will emit is 50mA without any voltage control, i.e. the Arduino will then read the resulting electrical voltage that this TC sensor emits.



Figure 4 - Three TC SCT-013-000 Sensors used to measure three-phase current.

In transformation ratios like 100A:50mA, where the output signal is a no-voltage standard current, there is a need to add a load resistor outside the TC sensor so that the electrical flow meets the requirements of the Arduino analogue input, 0v for the reference ADC (Analog to Digital) which will depend on the Arduino's input voltage or the maximum value that the Arduino can support. In this case, the load resistance needs to be calculated based on the maximum current that the TC sensor can measure, and the input voltage of the Arduino power supply, the load resistance value has a standard value and has been calculated in the reference article [45].

The main reasons for choosing the TC sensor SCT-013-000 were the reduced costs, ease of implementation in prototype, high reading accuracy, the existence in the laboratory of some units ready for testing and the experience gained from old projects also developed at ISCTE-IUL. The

size of the TC sensor was also one of the main parameters when choosing this transformer because in most cases the switchboards are not properly prepared to receive sensors, and the spacing between electrical cables can create complications in implementation. Another factor that facilitates the implementation beyond the size is the shape of the TC sensor, a clamp, easy to open and close, which means that it can be opened and installed around the cable, which is a must for this type of work, since we want to make the implementation as easy as possible, without having to change the physical structure of the electrical network or cut the power supply at any time.

For each Arduino three TC sensors of the same type were used, thus creating a three-phase sensor (Figure 3). To connect the Sensor and the Arduino a circuit board with electrical components was used, based on the specifications used in the circuit diagram of Figure 5.

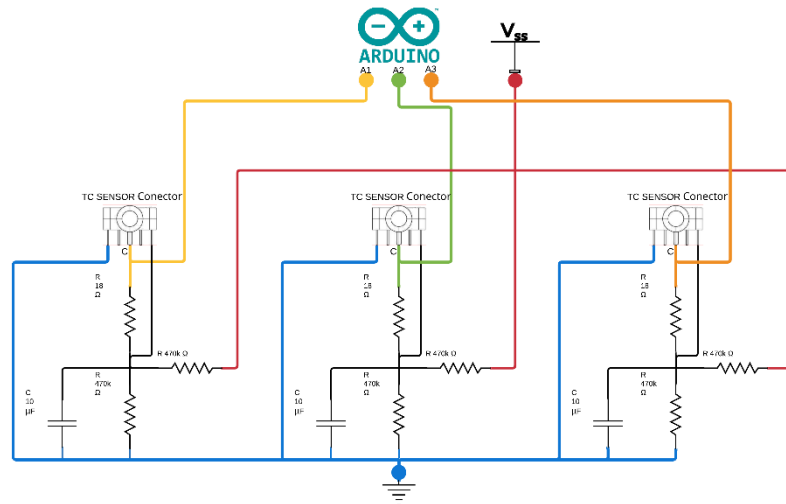


Figure 5 - Three-phase sensor circuit diagram.

When determining the local to be monitored, it was necessary to know exactly where to implement the sensors, i.e. which electrical switchboard in the office area and which three-phase current cables to measure. To know this necessary information, an analysis of the electrical network of building 1 was made together with the maintenance unit of ISCTE-IUL, which provided all the information and authorisations to implement the sensors safely, without disturbing the normal functioning of the university.

After analysing the electrical scheme of the 1S board, provided by the maintenance unit, we determined that in order to know the total energy consumption in the office, and it was concluded that it was necessary to implement two sensors, one in the general board and another in the emergency board, because the circuit of electrical outlets and lighting were divided by the two boards. With all the necessary information and with the system ready for the implantation, on October 1st 2020 it was made available the access to the equipment, an electrical employee to help in the implantation of the sensors and to supply an AC electric socket for external feeding of the sensors.

The Figure 6 and Figure 7 shows the implantation of the sensors, where five moments can be highlighted:

- 1) Programming of the sensors and communication with the LoRaWAN network;
- 2) Calibration of the TC sensors with the aid of a clamp meter, with precise values;
- 3) Three-phase main switchboard circuit breaker, which corresponds to the connections where a sensor has been installed;
- 4) Three-phase main switchboard emergency circuit breaker, which corresponds to the connections where a sensor has been installed;

5) Implantation of the sensors at the bottom of the switchboard. With the reduced size of the sensors it was possible to hide them at the bottom of the switchboard without disturbing the normal access to the switchboard or the other connections.

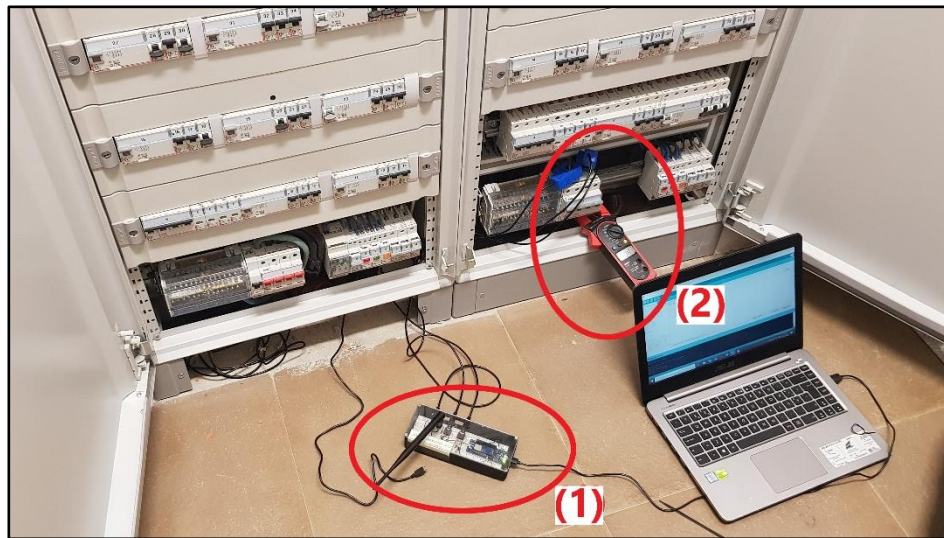


Figure 6 - Deployment of energy sensors.

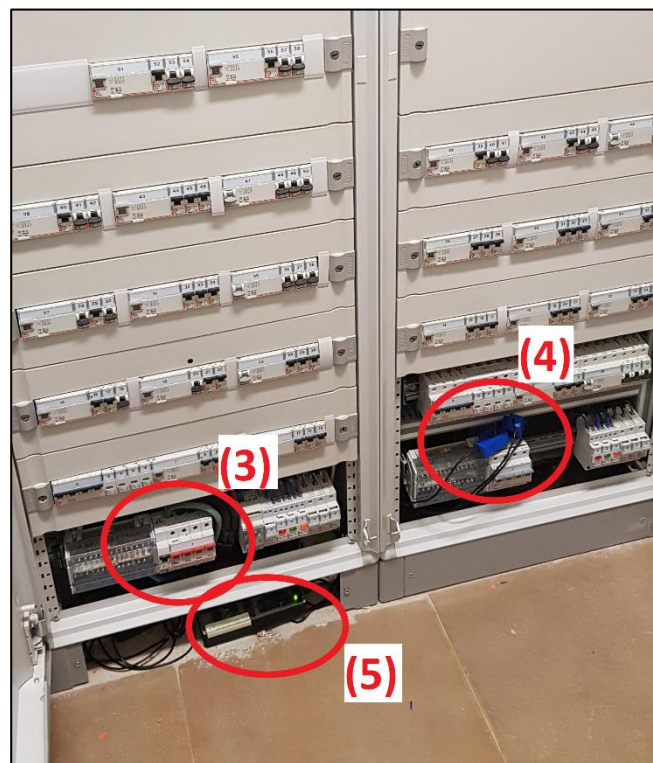


Figure 7 - Sensors in operation and transmitting data to the IoT system.

3.3. Network Layer

LoRa is a long-range, low power consumption IoT oriented communication technology, ideal for sensors. This technology is transforming the world of IoT, as it can create a LoRa network with a radius of up to 15km, in rural areas with only one gateway, where hundreds of sensors

can communicate with each other. This network allows data to be collected in real-time from various sensors that can be used in various sectors of society, optimizing processes and increasing the quality of life.

This layer consists of the LoRa network and the LoRaWAN gateway of The Things Network (TTN). The LoRaWAN protocol is used to establish a connection between the sensors and a gateway that transmits the data in LoRa to the Internet, by TCP/IP protocol, and then to an MQTT server where the server and the other applications of the system access the received data. The LoRa network was chosen because it is already in operation at ISCTE, and because it contains greater range coverage compared to ZigBee and Bluetooth. Regarding the choice of the LoRa server to be used, TTN was chosen because it has an interface that is easy to interpret and because it is completely free.

Before any device can use TTN (The Things Network), it is necessary to register the device in an application. Initially, we had to create an application in the TTN platform, and then we registered our microcontroller. For this, it was necessary to know the Device_EUI, which is the only device identifier on the network. Thus, the following steps were performed:

- Install the The Things Network library in Arduino IDE;
- Connect the microcontroller to the computer through a USB cable;
- Open the example of The Things Network sketch, and then DeviceInfo;
- Run the code and open the serial monitor for viewing the microcontroller Device_EUI.

With the microcontroller already registered in TTN, the next step was to activate it, the SendOTAA sketch example was used. In this case it was necessary to use the APPEUI and APPKEY of the application, where the first one identifies exclusively the server that processes the request to join the network and the second one corresponds to a AES-128 cryptographic key, with the function of exchanging data with the server and encrypting the communication. The TTN network server is located between the gateways and the application server, it has the function to process and route the data. There are two ways in which the sensors can connect to the TTN:

- BPA (Activation by customization):

In ABP activation mode it is not necessary to configure DevEUI, AppEUI or AppKey, because the NwkSKey and AppSKey session keys are pre-programmed on the device and it is previously registered on the network to which it will be connected.

Because it is pre-programmed with the session keys, there is the possibility that a hacker finds these values and creates his own devices with copies of these keys, compromising the integrity of the network. In this case, it is advisable not to use the same session keys when dealing with devices on the same network [46] <http://hdl.handle.net/10400.22/14640>.

- OTAA (Over the Air Activation):

According to [47] the Air Activation mode is the most used and safe way to connect to TTN. It is more reliable because the activation will be confirmed and safer because the session keys will be negotiated at each activation.

In OTAA activation mode, each device has DevEUI, AppEUI and AppKey, however, in this mode the devices do not have the necessary keys to start the connection to the network. To establish communication with the network, the device sends a Join-Request message, which is a connection approval request, in which DevEUI, AppEUI and AppKey (which will generate the NwkSKey and AppSKey keys) are sent. If the server accepts the request, a Join-Accept message is sent to the device, which will create the session keys through AppKey and AppNonce, also generated by the server, and later stored on the network.

The session keys can be stored and used to allow the exchange of messages between the server and the device [46] Figure 8 shows the encryption keys used by one of the developed devices.

Comparing the two modes it was concluded that OTAA would be the most suitable because it is safer than the BPA.

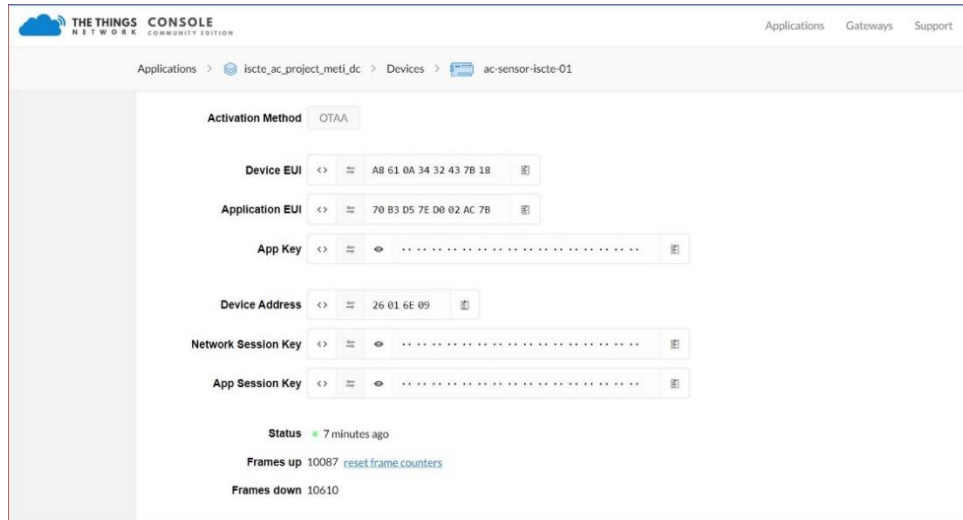


Figure 8 - TTN Console: Encryption keys for communication between the microcontroller and the LoRa gateway.

3.4 Data Layer

In this layer the processing and storage of all the data transmitted by the sensors is carried out, which are later analysed and sent to the various applications and purposes of the system.

The application server is responsible for receiving data from the LoRa server and processing it. For this purpose, a Raspberry PI (Figure 9), installed on ISCTE-IUL's internal network, with RaspbianOS operating system, has been configured to run a local web server, using Node-RED [48]. This server has the function of processing the JSON type messages received via TTN with the data packets of the sensors installed. It then creates corresponding SQL entries according to the type of sensor and sends them to a DB MariaDB [49], a flexible, open-source SQL database type, stored locally in the same Raspberry Pi. The data collected by the sensors are structured in individual tables in a SQL database for later analysis, query and export. Figure 9 shows the server operation screen, with all functional applications and the system log open.

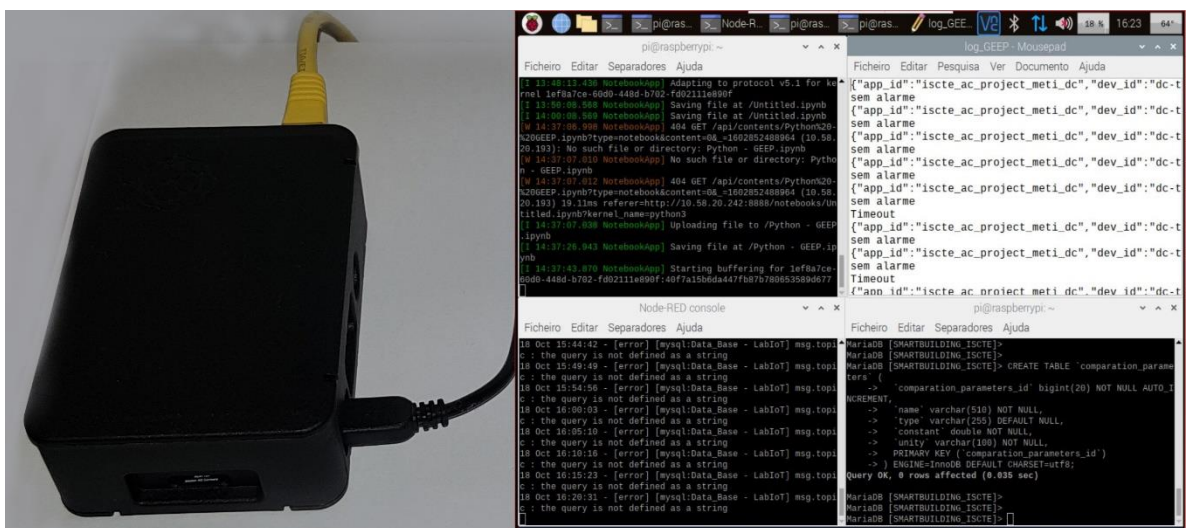


Figure 9 - Server and Application Features from the server.

3.4.1. Node-Red Server

Node-Red is a flow-based platform, which was developed to interact with hardware devices, APIs and online services in order to simplify IoT systems, allowing programming through a simple and intuitive graphical interface. To develop an application using the Node-RED, it is necessary to connect only the nodes to each other, where each has a specific function. This platform also allows the writing of more elaborate code using Java Script.

The configuration applications in the Node-RED of the IoT system are the following:

- Confirmation of status of all system sensors and addition of new sensors;
- LoRa message reception with sensor data;
- Treatment of the received LoRa message and separation of the different measurement values;
- Storage of the measurements in the system DB;
- Sending data to machine learning and receiving the processed data;
- Sending consumption information to the final application and dashboard visualization for the system user;
- Node-RED dashboard configuration for maintenance and system managers.

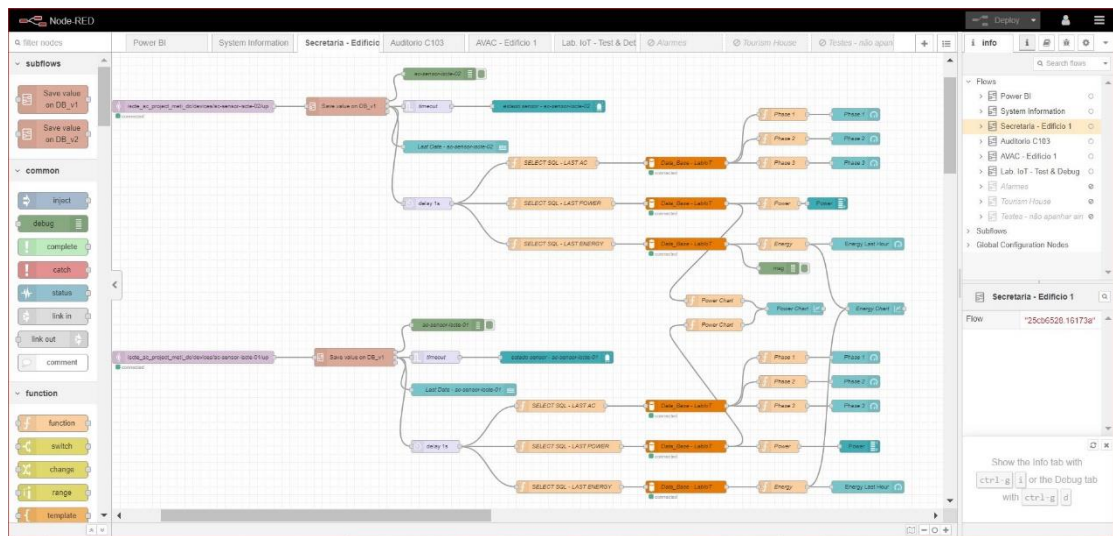


Figure 10 - Example of programmable flow in Node-RED.

3.4.2. Data Base SQL

In order to save the data collected by all the system's sensors, after being ratted by the Node-RED server, they are safely and permanently stored in a MariaDB. This database server is completely free with a wide variety of features, while maintaining backward compatibility with MySQL. For the IoT system, it was developed the scheme, represented in Figure 11, with relation between tables, for a simple and flexible configuration, maintaining a high performance in terms of memory and ease of reading and introduction of new SQL entries.

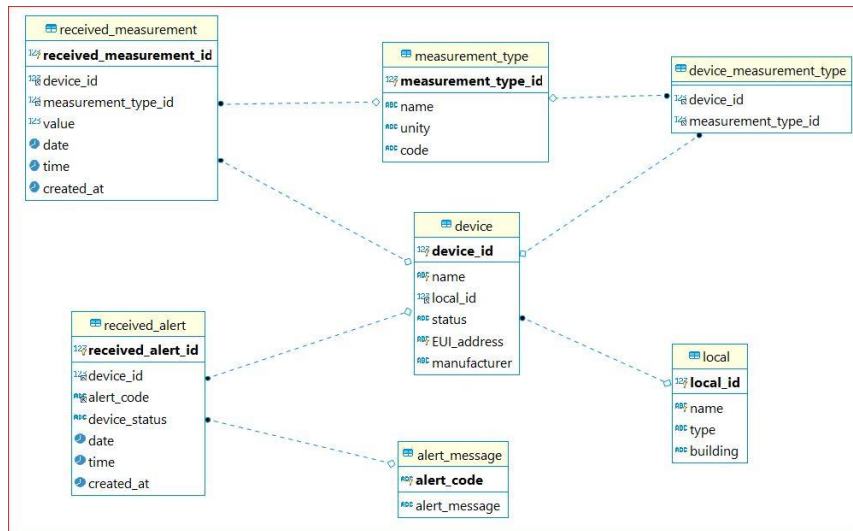


Figure 11 - SMARTBUILDING_ISCTE Data Base - Entity Relationship Diagram.

3.5. Application Layer

This layer is where the users interact with the system, this is the visual interface for observing the data collected by the sensors with time filters (time, day, weekday and month of the year). Is also presented relevant information on averages and statistics of energy consumption and environmental conditions.

It is in this layer that the main objective of the developed system is shown, to allow visualization of the data collected by the various sensors in a simple and easy way to predict by any type of user. This way, besides the typical visualization models of this system also presented, such as graphs of media and bars, it was developed a more appealing 3D visual model of the monitored place, where we present more relevant information for the user.

3.5.1. Building Information Model (BIM)

The Building Information Model (BIM) includes the complete geometric description of the building as well as the designation of the departments, in the form of a label, which allows the visualization of the location where each sensor was installed.

In this work, one of the forms of data representation consists of using an interface based on a BIM model. This approach allows, to the laymen, a better understanding of the variables of comfort of the environment where they are located, as well as simplifies the levels of energy consumption to a series of colorimetric scales, which allows the users to identify the areas and height of time where the biggest consumptions occur.

This model allows users to interpret the indicated values, in a simple way, since they are represented by colors, and each one of them indicates the comfort level of the space.

The usual is to present the data in dashboards, such as bar graphs or rows, tables or even simple images that help in the analysis of data, however, currently can complement the exposure with visual information, presenting this data, in real time in the BIM 3D color model. This allows any user to clearly understand what is going on in this environment, as it becomes simpler for a layperson to interpret data, through color, rather than a large amount of numbers.

4. Application Case

4.1. Pilote Academics Services at ISCTE-IUL

The academic services of ISCTE-IUL, also known as the university secretariat, is located in Building 1 with a 426,5 square meter area. It has the characteristic of being a set of open-space rooms where three dozen people work daily for the academic part of the university. The employees of the secretariat make use of computers or other electronic equipment that consume electrical energy, in this way it is a place with high consumptions, in comparison with classrooms or auditoriums, and always has people working all day long, which helps in the qualities of the consumptions data collected. Due to the significant number of people on site, the various electronic equipment used and the characteristic of being an open-space the local temperature has a big difference between the outside and the other neighboring rooms, in this way information on local temperature and humidity was collected to inform local employees. For all these reasons, academic services were chosen to implement the IoT system and to serve as a pilot with BIM model of the site, once provided by the architecture department of ISCTE-IUL.

For this case study there were two types of implementations:

- Environmental Monitoring;
- Energy Management.

The BIM model created includes the complete geometric description of the building allowing a more direct approach of the user to 3D visualization ensuring a greater perception of the environmental conditions around them. It can be seen in Figure 8, the area view of the BIM model of the office in 3D format. The BIM allows the data to be represented so that any user can perceive, easily and quickly, according to a perspective that can be configured for different cases.

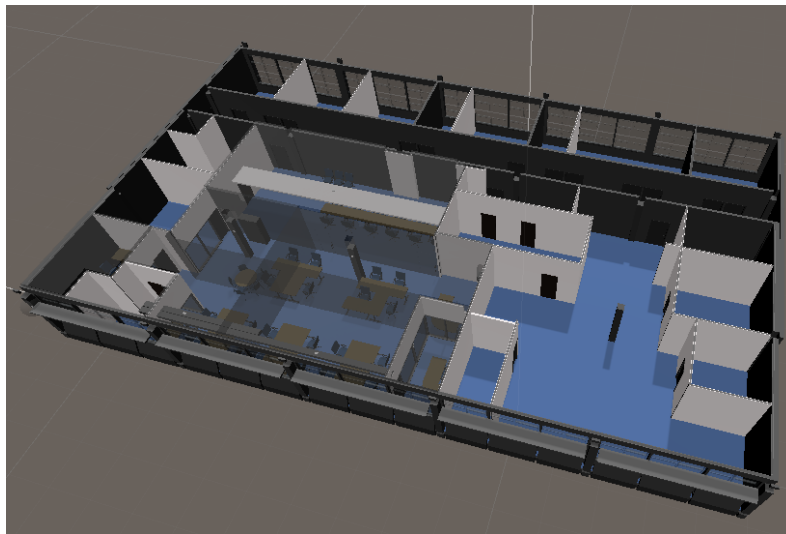


Figure 12 - BIM Model of Academics Services.

The main purpose of this visualization interface is to provide users of the site with current information on the data collected by the sensors installed inside the office. In this way it will be possible to analyze the comfort level of each room and the energy consumption. Regarding the current state of each room, we believe that a 3D environment, represented by colours, causes greater impact on people.

4.1.1. Environmental Monitoring

Environmental Monitoring provides a visualization interface to local employees with current information on environmental conditions within the office. In this way, it will be possible

to analyses the level of comfort of each room, or to opt for spaces where the temperature and humidity are in accordance with your taste. Regarding the current state of each room, we believe that a 3D environment, represented by colors, causes greater impact on people.

The temperature and humidity parameters of the rooms in the secretariat are presented using colours for each range of values defined in the scripts, being red to indicate higher temperatures (above 28°C), green for more pleasant temperatures (between 22°C and 28°C) and blue for those considered below average comfort (below 22°C). The same process was used to represent the humidity values, where the red colour shows that the humidity is below the WHO recommended average (below 40%), the green one that the humidity is pleasant (between 40% and 70%), and the orange one that is above the comfort level (above 70%). A summary of the above is given in Table 4.

The temperature values were based on ASHRAE Standard 5, which indicates that the comfort temperature in winter is between 21°C and 25°C, while in summer it is between 22,8°C and 27,8°C [50].

Table 1 - Colour scale for temperature and humidity

Temperature		Humidity	
Colour	Temperature range	Colour	Humidity level
Blue	< 22°C	Red	< 40%
Green	22°C - 28°C	Green	40% - 70%
Red	> 28°C	Yellow	> 70%

It was necessary to research the ideal percentage of humidity recommended for the human body. According to the WHO, this varies between 40% and 70% and can be harmful if it is above or below these values.

According to this institution, humidity values below 12% present a health risk, and it is recommended to determine the suspension of activities that require agglomerations of people, in enclosed spaces, such as classrooms, cinemas, offices, between 10 a.m. and 4 p.m. and the interruption of physical activities, mainly from 10 a.m. to 3 p.m. When the humidity value is above 70%, the risk of proliferation of fungi and bacteria that causes allergies increases.

The interface developed allows you to view the history of the data, through the calendar option, which is located in the bottom left corner that, when clicked, opens a calendar that allows you to choose the day, month and year. It is also possible to choose the time through the time bar. The data can be updated in real time using the real-time button. A label has been placed on each room and, depending on the display mode selected, it indicates the sensor name and the variable value in degrees Celsius or the humidity levels in percentage. The outside temperature and humidity are represented by the sensor204 next to the ball located in the lower left corner of the BIM model. This interface has two display modes, corresponding to temperature and humidity data.

When the temperature mode is selected, a temperature-related colour is displayed for each room. In Figure 13, the temperature display mode was selected in which it is easy to detect which rooms have the most pleasant temperature. Through this display interface, it is possible to recognize which rooms have the climate control system in operation. This requires only a simple analysis by comparing the temperature values in each room. The air conditioning is connected to the room where the sensor004 is located, as it indicates a temperature of 21.1°C, as opposed to the outside temperature, which is 32.6°C.

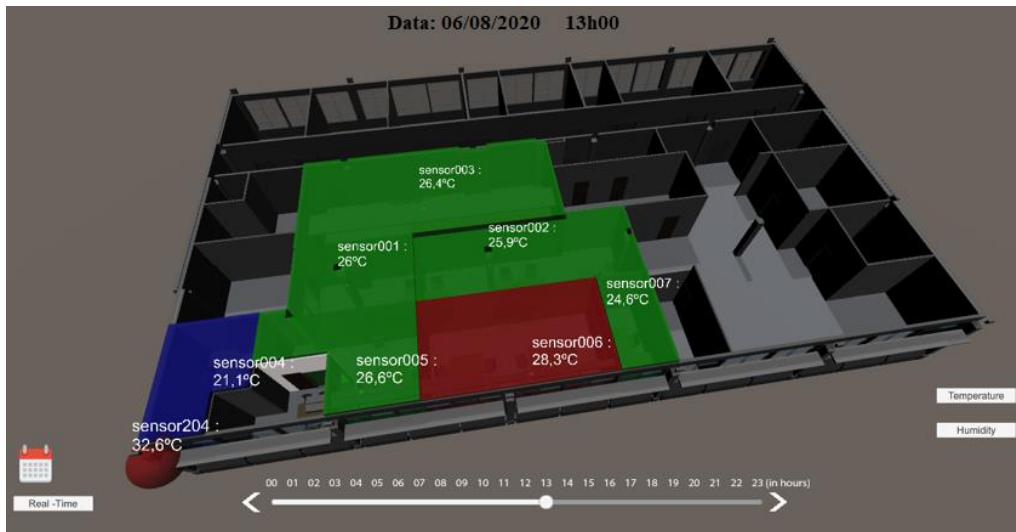


Figure 13 - Display interface for the user with the selected temperature mode.

This type of display can be used to try to avoid unnecessary waste of energy. If a comparison is made between the outside and inside temperature, it is possible to determine whether by opening the window the inside temperature will be as desired. If you want the room to get colder, and if you notice that the outside temperature is lower than the inside temperature, you can open the window by reducing the use of air conditioning. The same applies to heating systems. If you want to increase the temperature of the room and see that the outside temperature is higher than the inside, you can avoid using the heating system and choose to open the windows. It is the small attitudes that allow us to avoid excessive energy consumption.

The color display helps users, without much technical knowledge, to understand what is happening or, what indicates such a number, because in everyday life we come across several numbers that sometimes we do not know their meaning. The representation of information by colour tends to be easier to interpret and does not require so many mental resources to be understood, which can result in faster and more efficient decision making. Based on a colour coding procedure, the temperature and humidity values have been coded according to the previously defined comfort ranges, in which the colour changes according to the values obtained. In Figure 33, three rooms are shown in yellow, as the air is very humid, above 70%.

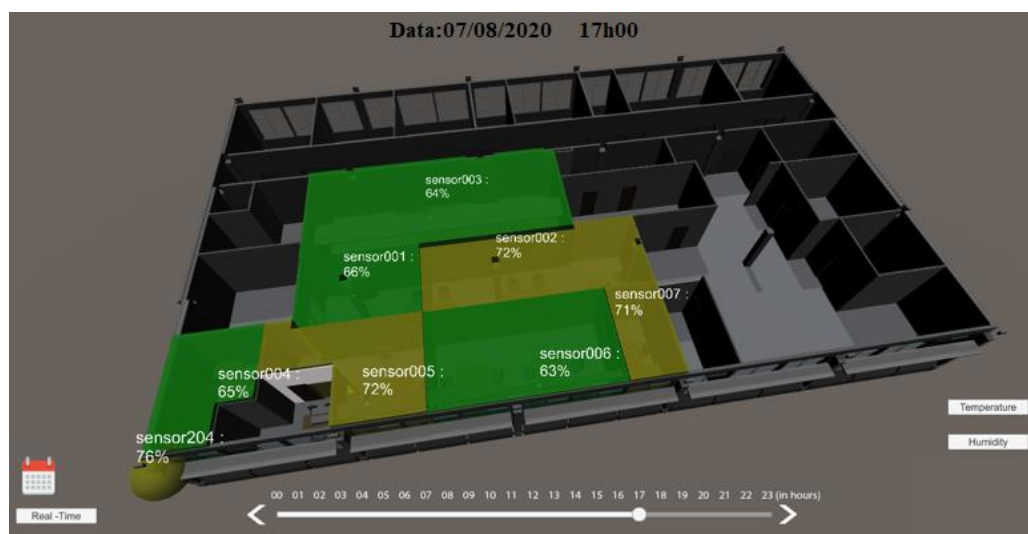


Figure 14 - Display interface for the user with the selected humidity mode.

4.1.2. Energy Management

This test pilot was made as a way to visualize information closer to the physical world, with local users becoming familiar with 3D design. As only the colour of the site varies according to consumption, users do not need to understand the real value of energy in kWh, because by seeing the colour that is marked on the BIM they can immediately perceive the energy consumption of the site: if the local consumption is high the space of the BIM model turns red, if the consumption is within the historical average the space turns blue, and finally if the consumption is lower than the average the space turns green.

To determine the consumption values in which the BIM model changes colour, the average consumption was made every hour. Due to the small number of data obtained during 2 weeks, it was not possible to test many other hypotheses of colour change, and for this reason, it was defined as follows:

- Red: consumption 20% higher than the average of the history of each hour.
- Green: consumption 20% lower than the average for each hour.
- Blue: consumption similar to the average of the hourly history (Mrms), i.e. between the previous values.

In Table 2, a summary of the above text is made.

Table 2 - Colour scale for Energy Consumption.

Electrical Energy Consumption	
Color	Energy (kWh)
Green	> Mrms kWh - 20%
Blue	Mrms kWh
Red	< Mrms kWh + 20%

As can be seen in Figure 15, the BIM model of the secretariat has two colours divided into different rooms, this division is due to the particularity of the electrical network of the secretariat, which has two switchboards. In this way and with the information from each normal and emergency power outlet, present in the electrical diagram Table 1-S, an estimate has been made and the area of the office has been divided into sections according to the type of board.

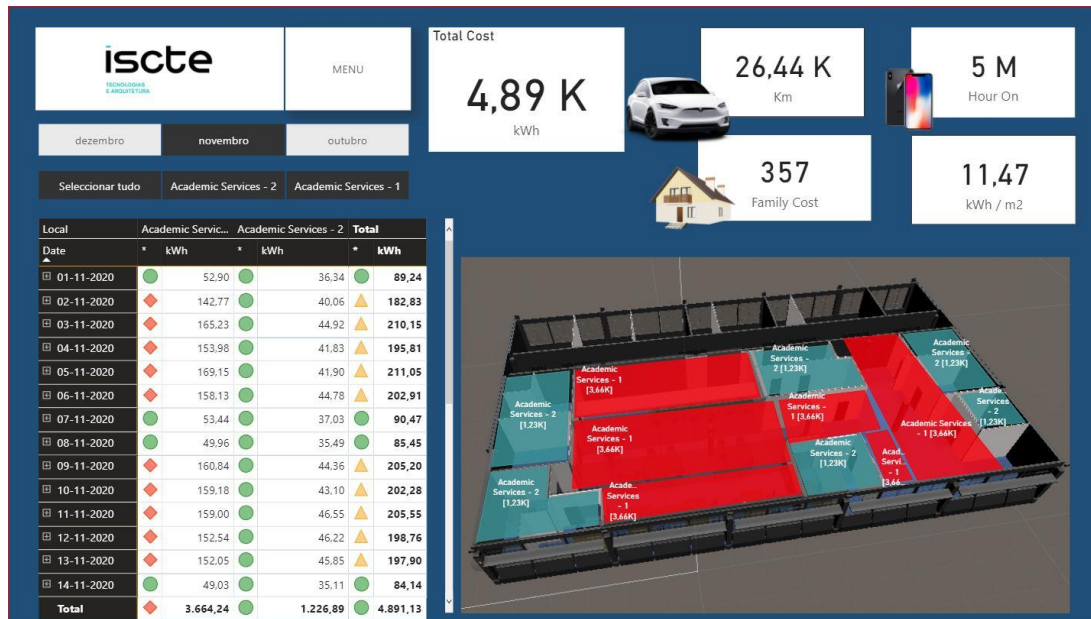


Figure 15 - BIM model of the energy consumption of the Academics Services of ISCTE-IUL.

Another way of showing the significance of energy consumption is to compare it with the consumption of other similar ones. The value of the consumptions was used as a comparison of the office in kWh and transformed into km driven by a Tesla Model 3 electric car [51] in hours of continuous use of an iPhone 11 Pro smartphone [52] and also compared to the energy consumed on average per day by an average Portuguese family [53]. These values can be seen in the upper part of Figure 15.

All these ways of understanding energy consumption have been presented to the users, as the understanding of energy in the standard unit, kWh, serves little as a reference for easier understanding of consumption, which makes it difficult for users to make decisions to try to change their energy consumption routines to more sustainable forms.

4.2. Evaluation and Discussion

We apply our solution at ISCTE campus, in 2 different places: 1) open space in an administrative zone, the ISCTE secretary; 2) classroom C103; One of these places was the secretary open space where 20 administrative runs all business related with students. The process started in September 2020, and together with collected data, we also performed a questionnaire survey with local users, because as opposed to classroom persons, this space users were always the same. We asked each person to use the proposed solution every day, available in a web browser. Every morning, users would go to the webpage, visualize local context information, like temperature, humidity, luminosity and energy consumption, with traditional dashboards and the proposed approach with colours. We asked about their thermal comfort feeling and to fill a small questionnaire. After configuring the system's visualization application on all desktop computers for easy accessibility and interaction, the vast majority of users showed interest and curiosity to see the energy consumption and environmental conditions of the daily workplace. They also praised the visual part of the system, because it is appealing and after understanding the meaning of colours and the functioning of BIM, they showed autonomy when using the visualisation application which led them to share their opinions of consumption and their thermal comfort feeling.

The most pertinent information reported was that, with the BIM visualization, they could realize about days when they were spending more or less energy by the colour and local demonstration. At the same time, energy consumption magnitude at the display and graphs with

kWh units is not understandable for most common users. To address this issue, an innovative comparison table allowed users to compare energy consumption with the use of other devices, such as an electric car, a smartphone or a family home. A direct comparison of these variables makes energy usage much easier to be understood. Users' questionnaires reported a general perception of a surprise because the consumption scale at their workspace was much larger than a family home, or even other campus monitored areas since the workspace only represents a tiny section on the ISCTE-IUL campus. The consumption view also allows users to compare values in different areas of the building and detect malfunctions or irregularities, for instance, overnight.

Another essential factor in this description was the aggregation of users from different age groups or technical knowledge in a standard variable, thermal comfort. As expected, each user's thermal comfort depends on multiple independent factors such as their clothes, metabolic rate, location in the room. Users' majority assumed a comfortable room temperature, while only two to three people were feeling uncomfortable, either too cold or too hot for the same real temperature.

Regarding the temperature values, it was found that the rooms where there are more employees working at the same time and more computers working tend to have the temperature a little higher than the other monitored rooms. We also found that the temperature inside the room tends to remain constant without suffering much interference from the outside temperature, which, as we have already mentioned, has several changes during the day. Even with the outside temperature reaching extreme values either below or above the average, the office rooms' temperature does not change so much.

We detected some anomalies about the data collected from the humidity level, mainly with the relative humidity value, where the rooms closer to the windows had better humidity values (between 40% and 70%) than the other rooms. This can be explained due to these rooms being closer to the windows, and therefore there is significantly better air circulation. We observe that the highest and lowest values reached, for each day, are the external humidity and its level, inside the room, tends to suffer fewer changes.

5. Conclusions

In increasing energy demand worldwide, local public building users (persons) play an essential role because energy is used for their comfort. This work presents a novel approach where local building users perceive local environment data and energy consumption based on 3D colour data representation. Warm colours strive to make people feel warmer than neutral colours, whereas cool colours have the opposite effect. Energy consumption based on colours allows users to understand better local consumption rather than ambiguous temperature intervals. Integrating hot or cold colours in cool or warm indoor spaces will psychologically cause an optimized thermal perception of occupants against the real thermal situation, which has a positive significance for the thermal environment's energy saving.

For future comparisons and perceptions of how energy consumption is used by the different sites on the ISCTE-IUL Campus, the system calculates the energy density in kWh/m² so that we have a uniform method of comparison and understand which sites and resources consume the most energy and how that energy is consumed. This way, the user has more information for more sustainable use of energy. We are also working on a collaborative user approach, where the real-time information from the local context is provided to mobile devices in the users to raise their awareness of sustainable energy use and carry out savings actions.

Author Contributions: D.C and K.C performed the IoT System developed and B.M. performed the user interaction and J.C.F. coordinated the research and contributed to the writing of the article. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research was funded by the Foundation for Science and Technology (FCT) through ISTAR-IUL's project UIDB/04466/2020 and UIDP/04466/2020. J.C.F. received support from the Portuguese National Funds through FITEC—Programa Interface, with reference CIT INOV—INESC INOVAÇÃO—Financiamento Base.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

6. References

- [1] B. Becerik-Gerber, M. K. Siddiqui, I. Brilakis, O. El-Anwar, N. El-Gohary, T. Mahfouz, G. M. Jog, S. Li, and A. A. Kandil, "Civil Engineering Grand Challenges: Opportunities for Data Sensing, Information Analysis, and Knowledge Discovery," *Journal of Computing in Civil Engineering*, 2014, [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cp.1943-5487.0000290](https://doi.org/10.1061/(asce)cp.1943-5487.0000290).
- [2] A. S. Ahmad, M. Y. Hassan, M. P. Abdullah, H. A. Rahman, F. Hussin, H. Abdullah, and R. Saidur, "A review on applications of ANN and SVM for building electrical energy consumption forecasting," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014.
- [3] S. W. Hadley, D. J. Erickson, J. L. Hernandez, C. T. Broniak, and T. J. Blasing, "Responses of energy use to climate change: A climate modeling study," *Geophysical Research Letters*, vol. 33, no. 17. American Geophysical Union, p. L17703, 01-Sep-2006.
- [4] A. Rehman, A. Rauf, M. Ahmad, A. A. Chandio, and Z. Deyuan, "The effect of carbon dioxide emission and the consumption of electrical energy, fossil fuel energy, and renewable energy, on economic performance: evidence from Pakistan," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 26, no. 21, pp. 21760–21773, Jul. 2019, <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05550-y>.
- [5] B. Mataloto, H. Mendes, and J. C. Ferreira, "Things2people interaction toward energy savings in shared spaces using BIM," *Applied Sciences (Switzerland)*, 2020, <https://doi.org/10.3390/app10165709>.
- [6] W. Blyth, R. Bradley, D. Bunn, C. Clarke, T. Wilson, and M. Yang, "Investment risks under uncertain climate change policy," *Energy Policy*, vol. 35, no. 11, pp. 5766–5773, Nov. 2007, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.05.030>.
- [7] L. Wang, P. Mathew, and X. Pang, "Uncertainties in energy consumption introduced by building operations and weather for a medium-size office building," *Energy and Buildings*, vol. 53, pp. 152–158, Oct. 2012, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.06.017>.
- [8] C. C. Menassa, "Evaluating sustainable retrofits in existing buildings under uncertainty," *Energy and Buildings*, vol. 43, no. 12, pp. 3576–3583, Dec. 2011, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.09.030>.
- [9] Y. G. Yohanis, "Domestic energy use and householders' energy behaviour," *Energy Policy*, vol. 41, pp. 654–665, Feb. 2012, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.11.028>.
- [10] J. Owens and H. Wilhite, "Household energy behavior in Nordic countries-an unrealized energy saving potential," *Energy*, vol. 13, no. 12, pp. 853–859, Dec. 1988, [https://doi.org/10.1016/0360-5442\(88\)90050-3](https://doi.org/10.1016/0360-5442(88)90050-3).

- [11] O. Guerra Santin, L. Itard, and H. Visscher, "The effect of occupancy and building characteristics on energy use for space and water heating in Dutch residential stock," *Energy and Buildings*, vol. 41, no. 11, pp. 1223–1232, Nov. 2009, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.07.002>.
- [12] C. H. Baek and S. H. Park, "Changes in renovation policies in the era of sustainability," *Energy and Buildings*, vol. 47, pp. 485–496, Apr. 2012, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.12.028>.
- [13] L. Tobias, "Retrofitting Office Buildings to Be Green and Energy-Efficient: Optimizing Building Performance, Tenant Satisfaction, and Financial Return." Washington, DC, 2009.
- [14] T. Hong, D. Yan, S. D'Oca, and C. fei Chen, "Ten questions concerning occupant behavior in buildings: The big picture," *Building and Environment*, vol. 114, pp. 518–530, Mar. 2017, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.12.006>.
- [15] D. Yan, W. O'Brien, T. Hong, X. Feng, H. Burak Gunay, F. Tahmasebi, and A. Mahdavi, "Occupant behavior modeling for building performance simulation: Current state and future challenges," *Energy and Buildings*, vol. 107, pp. 264–278, Nov. 2015, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.08.032>.
- [16] K. Sun, D. Yan, T. Hong, and S. Guo, "Stochastic modeling of overtime occupancy and its application in building energy simulation and calibration," *Building and Environment*, vol. 79, pp. 1–12, Sep. 2014, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.04.030>.
- [17] P. Hoes, J. L. M. Hensen, M. G. L. C. Loomans, B. de Vries, and D. Bourgeois, "User behavior in whole building simulation," *Energy and Buildings*, vol. 41, no. 3, pp. 295–302, Mar. 2009, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.09.008>.
- [18] K. Sun, T. Hong, S. C. Taylor-Lange, and M. A. Piette, "A pattern-based automated approach to building energy model calibration," *Applied Energy*, vol. 165, pp. 214–224, Mar. 2016, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.12.026>.
- [19] "Living Labs: Successful user engagement on Energy-Efficiency through participatory innovation - ProQuest." [Online]. Available: <https://search.proquest.com/docview/1690239375?pq-origsite=gscholar>. [Accessed: 13-Dec-2020].
- [20] D. Barrios-O'Neill and A. Hook, "Future energy networks and the role of interactive gaming as simulation," *Futures*, vol. 81, pp. 119–129, Aug. 2016, <https://doi.org/10.1016/j.futures.2016.03.018>.
- [21] B. Sütterlin, T. A. Brunner, and M. Siegrist, "Who puts the most energy into energy conservation? A segmentation of energy consumers based on energy-related behavioral characteristics," *Energy Policy*, vol. 39, no. 12, pp. 8137–8152, Dec. 2011, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.10.008>.
- [22] S. Gölz and U. J. J. Hahnel, "What motivates people to use energy feedback systems? A multiple goal approach to predict long-term usage behaviour in daily life," *Energy Research and Social Science*, vol. 21, pp. 155–166, Nov. 2016, <https://doi.org/10.1016/j.erss.2016.07.006>.

- [23] S. Houde, A. Todd, A. Sudarshan, J. A. Flora, and K. C. Armel, "Real-time feedback and electricity consumption: A field experiment assessing the potential for savings and persistence," *Energy Journal*, vol. 34, no. 1, pp. 87–102, 2013, <https://doi.org/10.5547/01956574.34.1.4>.
- [24] W. Abrahamse, L. Steg, C. Vlek, and T. Rothengatter, "A review of intervention studies aimed at household energy conservation," *Journal of Environmental Psychology*, vol. 25, no. 3, pp. 273–291, Sep. 2005, <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2005.08.002>.
- [25] M. Aksoezen, M. Daniel, U. Hassler, and N. Kohler, "Building age as an indicator for energy consumption," *Energy and Buildings*, vol. 87, pp. 74–86, Jan. 2015, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.10.074>.
- [26] H. Ma, N. Du, S. Yu, W. Lu, Z. Zhang, N. Deng, and C. Li, "Analysis of typical public building energy consumption in northern China," *Energy and Buildings*, vol. 136, pp. 139–150, Feb. 2017, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.11.037>.
- [27] A. Thewes, S. Maas, F. Scholzen, D. Waldmann, and A. Zürbes, "Field study on the energy consumption of school buildings in Luxembourg," *Energy and Buildings*, vol. 68, no. PARTA, pp. 460–470, Jan. 2014, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.10.002>.
- [28] M. Raatikainen, J. P. Skön, K. Leiviskä, and M. Kolehmainen, "Intelligent analysis of energy consumption in school buildings," *Applied Energy*, vol. 165, pp. 416–429, Mar. 2016, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.12.072>.
- [29] B. Mataloto, J. C. Ferreira, and N. Cruz, "Lobems—IoT for building and energy management systems," *Electronics (Switzerland)*, 2019, <https://doi.org/10.3390/electronics8070763>.
- [30] A. R. Al-Ali, I. A. Zualkernan, M. Rashid, R. Gupta, and M. Alikarar, "A smart home energy management system using IoT and big data analytics approach," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 63, no. 4, pp. 426–434, Nov. 2017, <https://doi.org/10.1109/TCE.2017.015014>.
- [31] W. Ejaz, M. Naeem, A. Shahid, A. Anpalagan, and M. Jo, "Efficient Energy Management for the Internet of Things in Smart Cities," *IEEE Communications Magazine*, vol. 55, no. 1, pp. 84–91, Jan. 2017, <https://doi.org/10.1109/MCOM.2017.1600218CM>.
- [32] K. Chooruang and K. Meekul, "Design of an IoT Energy Monitoring System," in *International Conference on ICT and Knowledge Engineering*, 2019, vol. 2018–November, pp. 48–51.
- [33] C. Z. Li, F. Xue, X. Li, J. Hong, and G. Q. Shen, "An Internet of Things-enabled BIM platform for on-site assembly services in prefabricated construction," *Automation in Construction*, 2018, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.01.001>.
- [34] K. DIng, H. Shi, J. Hui, Y. Liu, B. Zhu, F. Zhang, and W. Cao, "Smart steel bridge construction enabled by BIM and Internet of Things in industry 4.0: A framework," in *ICNSC 2018 - 15th IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control*, 2018.

- [35] W. Natephra and A. Motamedi, "Live data visualization of IoT sensors using augmented reality (AR) and BIM," in *Proceedings of the 36th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, ISARC 2019*, 2019.
- [36] S. Tang, D. R. Shelden, C. M. Eastman, P. Pishdad-Bozorgi, and X. Gao, "A review of building information modeling (BIM) and the internet of things (IoT) devices integration: Present status and future trends," *Automation in Construction*, vol. 101. Elsevier B.V., pp. 127–139, 01-May-2019.
- [37] K. M. Chang, R. J. Dzung, and Y. J. Wu, "An automated IoT visualization BIM platform for decision support in facilities management," *Applied Sciences (Switzerland)*, 2018, <https://doi.org/10.3390/app8071086>.
- [38] N. Li, B. Becerik-Gerber, B. Krishnamachari, and L. Soibelman, "A BIM centered indoor localization algorithm to support building fire emergency response operations," *Automation in Construction*, vol. 42, pp. 78–89, Jun. 2014, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.02.019>.
- [39] E. Patti, A. Mollame, D. Erba, D. Dalmasso, A. Osello, E. Macii, and A. Acquaviva, "Information Modeling for Virtual and Augmented Reality," *IT Professional*, vol. 19, no. 3, pp. 52–60, 2017, <https://doi.org/10.1109/MITP.2017.43>.
- [40] Directive 2008/98/EC, "Directive 2008/98/EC on waste (Waste Framework Directive) - Environment - European Commission," 2008. [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/environment/waste/framework/>. [Accessed: 05-Dec-2020].
- [41] N. Castelli, G. Stevens, T. Jakobi, and C. Ogonowski, "Placing information at home: Using room context in domestic design," in *UbiComp 2014 - Adjunct Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, 2014, pp. 919–922.
- [42] E. Costanza, S. D. Ramchurn, and N. R. Jennings, "Understanding domestic energy consumption through interactive visualisation: A field study," in *UbiComp'12 - Proceedings of the 2012 ACM Conference on Ubiquitous Computing*, 2012, pp. 216–225.
- [43] D. Pasini, "Connecting BIM and IoT for addressing user awareness toward energy savings," *Journal of Structural Integrity and Maintenance*, vol. 3, no. 4, pp. 243–253, Oct. 2018, <https://doi.org/10.1080/24705314.2018.1535235>.
- [44] T. G. Stavropoulos, G. Koutitas, D. Vrakas, E. Kontopoulos, and I. Vlahavas, "A smart university platform for building energy monitoring and savings," *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, vol. 8, no. 3, pp. 301–323, Apr. 2016, <https://doi.org/10.3233/AIS-160375>.
- [45] "Learn | OpenEnergyMonitor." [Online]. Available: <https://learn.openenergymonitor.org/electricity-monitoring/ct-sensors/interface-with-arduino>. [Accessed: 21-Oct-2020].
- [46] N. I. O. G. Teixeira, "Rede de sensores wireless baseada na tecnologia LoRa para monitorização de processo na indústria," 2019. [Online]. Available: <https://recipp.ipp.pt/handle/10400.22/14640>. [Accessed: 17-Dec-2020].

- [47] P. Henrique and M. Pereira, “Desenvolvimento de dispositivo de sensoreamento para cidades inteligentes usando o padrão LoRaWAN,” *Acta Botanica Brasilica*, 2019.
- [48] “Node-RED.” [Online]. Available: <https://nodered.org/>. [Accessed: 18-Oct-2020].
- [49] “MariaDB Foundation - MariaDB.org.” [Online]. Available: <https://mariadb.org/>. [Accessed: 18-Oct-2020].
- [50] American Society of Heating and Air-Conditioning Engineers, “ANSI/ASHRAE Standard 55-2004: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.” 2004.
- [51] “Autobahn-Test: Audi e-tron gegen Rest der E-Auto-Welt.” [Online]. Available: <https://nextmove.de/autobahn-test-audi-e-tron-gegen-den-rest-der-elektroauto-welt/>. [Accessed: 13-Dec-2020].
- [52] “iPhone - Apple (PT).” [Online]. Available: <https://www.apple.com/pt/iphone/#footnote-9>. [Accessed: 25-Oct-2020].
- [53] “15, 25 ou mais de 30 euros por mês? Saiba quanto pode aumentar a conta da luz das famílias na quarentena – ECO.” [Online]. Available: <https://eco.sapo.pt/2020/04/06/15-25-ou-mais-de-30-euros-por-mes-saiba-quanto-pode-aumentar-a-conta-da-luz-das-familias-na-quarentena/>. [Accessed: 25-Oct-2020].

Publisher’s Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



20 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).