



INSTITUTO
UNIVERSITÁRIO
DE LISBOA

Desenvolvimento de um sistema de monitorização das condições ambientais utilizando a comunicação LoRa

Kaiser Jacinto Carimo

Mestrado em Engenharia de Telecomunicações e Informática

Orientador:

Prof. Dr. João Carlos Amaro Ferreira, Professor Auxiliar com Agregação
ISCTE-IUL

Co-Orientador

Prof. Dr. Rui Miguel Neto Marinheiro, Professor Auxiliar
ISCTE-IUL

Outubro, 2020



TECNOLOGIAS
E ARQUITETURA

Desenvolvimento de um sistema de monitorização das condições ambientais utilizando a comunicação LoRa

Kaiser Jacinto Carimo

Mestrado em Engenharia de Telecomunicações e Informática

Orientador:

Prof. Dr. João Carlos Amaro Ferreira, Professor Auxiliar com Agregação
ISCTE-IUL

Co-Orientador

Prof. Dr. Rui Miguel Neto Marinheiro, Professor Auxiliar
ISCTE-IUL

Outubro, 2020

Direitos de cópia ou Copyright

©Copyright: Kaiser Jacinto Carimo.

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

Finalizado este trabalho, cabe-me agradecer a todos que contribuíram para que este se tornasse uma realidade. Os resultados obtidos são também fruto dos seus contributos, sendo assim não poderia deixar de agradecer a todos os que me ajudaram.

Começo por agradecer ao meu orientador, o professor João Carlos Ferreira pela disponibilidade que sempre teve comigo, pelos conselhos, incentivos que sempre me transmitiu durante esta etapa da minha vida. Os seus conhecimentos e ensinamentos foram bases essenciais ao longo deste trabalho.

Agradeço também ao meu coorientador, o professor Rui Miguel Neto Marinheiro por todo apoio, disponibilidade e acompanhamento ao longo deste trabalho.

Agradeço aos meus colegas Daniel Cale, Manoel Walter, Bruno Mataloto e ao meu irmão Iran Carimo, a enorme disponibilidade para debater os problemas que foram surgindo, pela ajuda na resolução dos mesmos, pelos conselhos e sugestões dadas ao longo deste trabalho.

Agradeço a minha Avó, Maria do Carimo e aos meus Pais, Rafico Carimo e Maria Manuela pelo amor e educação que me deram, pelo tempo que me dedicaram, pela paciência e compreensão, que sempre demonstraram, fazendo de mim a pessoa que sou.

Resumo

O conforto no local de trabalho é muito importante, pois a comodidade das pessoas proporciona, entre outras coisas, um melhor desempenho. É fundamental salientar que a qualidade das condições ambientais no interior dos edifícios é um tópico importante, tendo em conta que se as condições de desconforto forem muito significativas, pode prejudicar o desempenho de quem trabalha neste espaço.

Esta dissertação, retrata o desenvolvimento de um sistema IoT, com vista na monitorização de condições ambientais, como a temperatura, humidade e luminosidade. O protótipo desenvolvido é composto por sensores ligados a um microcontrolador que utiliza o protocolo LoRa para comunicação.

Um dos principais objetivos, para além de criar um sistema para recolha de dados das condições ambientais, é fazer com que essa informação chegue, de forma simples aos utilizadores. Para tal, foi necessário criar uma interface de visualização através do modelo BIM, com vista a permitir uma perceção intuitiva das condições de conforto através de cores, em determinados locais. Foram também desenvolvidos *dashboards* com recurso a ferramenta Power BI, de modo a apresentar os dados recolhidos, nos quais é possível analisar o comportamento da temperatura e humidade externa em relação a temperatura e humidade no interior do edifício.

O sistema foi implementado na secretaria e no laboratório de IoT do ISCTE. No entanto, a flexibilidade deste sistema permite que o mesmo seja implementado em mais locais do ISCTE, permitindo que os estudantes, professores e funcionários tenham conhecimento do nível de conforto das salas de aulas, assim como também dos espaços compartilhados.

Palavras-Chave: Internet das coisas, Modelo BIM, *Dashboards*, LoRa, Condições ambientais.

Abstract

The comfort in the workplace is very important, because the comfort of people provides, among other things, a better performance. It is essential to emphasize that the quality of environmental conditions inside buildings is an important topic, taking into account that if the discomfort conditions are very significant, it can harm the performance of those who work in this space.

This dissertation portrays the development of an IoT system, in order to monitor environmental conditions, such as temperature, humidity and luminosity. The developed prototype is composed by sensors connected to a microcontroller that uses the LoRa protocol for communication.

One of the main objectives, besides creating a system to collect data on environmental conditions, is to make this information reach the users in a simple way. For this, it was necessary to create a visualization interface through the BIM model, to allow an intuitive perception of the comfort conditions through colours, in certain places. It was also developed dashboards using the Power BI tool, in order to represent the collected data, in which it is possible to analyse the behaviour of the external temperature and humidity in relation to the temperature and humidity inside the building.

The system was implemented in the secretary and IoT laboratory in ISCTE. However, the flexibility of this system allows it to be implemented in more locations on the ISCTE, allowing students, teachers and staff to know the comfort level of the classrooms as well as the shared spaces.

Keywords: Internet of Things; BIM Model; Dashboards; LoRa, Environmental Conditions

Índice Geral

Agradecimentos	i
Resumo	ii
Abstract	iii
Índice Geral	iv
Índice de Tabelas	vi
Índice de Figuras	vii
Glossário de Abreviaturas e Siglas	ix
Capítulo 1 – Introdução	1
1.1 Enquadramento do tema	1
1.2 Motivação e relevância do tema	2
1.3 Objetivo	3
1.4 Estrutura e organização da dissertação	3
Capítulo 2 – Revisão da Literatura	5
2.1 Estado da arte.....	5
2.2 Eficiência energética.....	8
2.2.1 Sistema AVAC	9
2.2.2 Sistema de iluminação	9
2.3 Internet of Things	9
2.4 Tecnologias de comunicação para IoT	10
2.4.1 Tecnologias de curto alcance.....	11
2.4.2 LPWAN	11
2.4.3Arquitetura da rede LoRa	13
2.5 <i>Building Information Model</i>	14
2.5.1 BIM na IoT	15
Capítulo 3 – Sistema IoT SMCA	17
3.1 Requisitos	17
3.2 Arquitetura do sistema.....	17
3.2.1 Camada de hardware	19
3.2.1.1 Desenvolvimento do Protótipo	19
3.2.1.2 Microcontrolador	21
3.2.1.3 Sensores	22
3.2.1.4 Arduino IDE	25
3.2.2 Camada de comunicação	25
3.2.2.1 TTN	26
3.2.3 Camada de dados	28

3.2.3.1 Node-Red.....	28
3.2.3.2 Base de dados	29
3.2.1.3 Raspberry PI.....	30
3.2.4 Camada de representação dos dados	30
3.2.4.1 Power BI.....	31
3.2.4.2 Modelo BIM	32
Capítulo 4 – Teste e Validação do sistema IoT SMCA	35
4.1.Secretaria do ISCTE	35
4.2.Laboratório de IoT.....	42
4.2.1 Relatório sobre os dados recolhidos	43
4.3.Orçamento	49
Capítulo 5 – Conclusões	51
5.1 Trabalho futuro	52
Referências	53
Anexo.....	57

Índice de Tabelas

Tabela 1: Resumo do estado da arte	7
Tabela 2: Comparação entre as placas analisadas	22
Tabela 3: Comparação entre os Sensores DHT11, SHT31 e DHT22	24
Tabela 4: Escala das cores para a temperatura e humidade.....	37
Tabela 5: Custo dos materiais para cada protótipo.....	49

Índice de Figuras

Figura 1: Visualização dos dados de temperatura no modelo BIM [9]	6
Figura 2: Número de dispositivos IoT conectados de 2012 a 2020 [22]	10
Figura 3: Comparação dos parâmetros entre Sigfox, NB-IoT e LoRa [24]	13
Figura 4: Arquitetura LoRaWAN [27]	14
Figura 5: Exemplo de uma análise térmica com recurso ao BIM [30]	15
Figura 6: Ferramenta para análise de dados [31]	16
Figura 7: Dados do sensor de temperatura exibidos em um modelo BIM de um prédio de escritórios [19]	16
Figura 8: Arquitetura do sistema	18
Figura 9: Bateria utilizada para alimentar os sensores	20
Figura 10: Protótipo final	21
Figura 11: Arduino MKR 1300 WAN [35]	21
Figura 12: BSFrance LoRa32u4 II [36]	22
Figura 13: Sensor DHT-11 [24]	23
Figura 14: Sensor SHT31 [38]	23
Figura 15: Sensor DHT22 [39]	24
Figura 16: Sensor de luminosidade GL5528 [40]	24
Figura 17: Topologia do TTN [35]	26
Figura 18: Chaves de criptografia para comunicação entre o microcontrolador e o servidor LoRa	28
Figura 19: Configuração dos nós do Node-Red	29
Figura 20: Registos do sensor 1	29
Figura 21: Raspberry PI [43]	30
Figura 22: Interface de visualização do Power BI	31
Figura 23: Interface do Utilizador	32
Figura 24: Ambiente Unity	33
Figura 25: Esquema de integração do modelo BIM ao Unity	34
Figura 26: Planta da secretaria	36
Figura 27: Modelo BIM da secretaria	36
Figura 28: Interface de visualização para o utilizador	38
Figura 29: Interface de visualização para o utilizador com o modo temperatura selecionado	39
Figura 30: Interface de visualização para o utilizador com o modo temperatura selecionado	39
Figura 31: Interface de visualização para o utilizador com o modo temperatura selecionado	40
Figura 32: Interface de visualização para o utilizador com o modo humidade selecionado	41
Figura 33: Interface de visualização para o utilizador com o modo humidade selecionado	41
Figura 34: Posição em que o protótipo foi instalado no laboratório	43
Figura 35: Ecrã principal de visualização dos dashboards	44
Figura 36: Diferença da temperatura máxima e mínima diária entre a temperatura exterior e interior	45
Figura 37: Média da temperatura interior e exterior	45
Figura 38: Temperatura mínima a cada hora	46
Figura 39: Diferença da humidade máxima e mínima a cada dia entre a temperatura exterior e interior	47

Figura 40: Média diária da humidade interior e exterior.....	47
Figura 41: Nível de luminosidade de um dia normal	48
Figura 42: Nível de luminosidade de um dia incomum.	49

Glossário de Abreviaturas e Siglas

ABP	Activation by Personalization
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
BIM	Building Information Model
BMS	Building Management System
CSS	Chirp Spread Spectrum
DBMS	Data Base Management System
IoT	Internet of Things
IP	Internet Protocol
LoRa	Low Range
LoRaWAN	LoRa Wide Area Networks
LPWAN	Low Power Wide Area Networks
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
NB-IoT	Narrow Band IoT
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OTAA	Over The Air Activation
QPSK	QuadraturePhase Shift Keying
TICs	Tecnologias da Informação e Comunicação
TTN	The Things Network

Capítulo 1 – Introdução

1.1 Enquadramento do tema

Uma das principais causas para o aumento do consumo energético de um edifício é a climatização do mesmo por sistemas AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado) [1]. Durante o período do ano em que as temperaturas atingem valores extremos abaixo ou acima do nível de conforto, os sistemas de AVAC representam grande parte do consumo de energia dos edifícios.

A medição das condições ambientais (temperatura, humidade e luminosidade), dentro de espaços fechados, pode identificar períodos em que não seja necessária a utilização de sistemas de climatização ou aquecimento, permitindo, assim, poupanças energéticas.

A monitorização destes parâmetros, em simples plataformas de visualização permite aos utilizadores uma rápida e fácil visualização do estado atual de uma casa ou departamento, e o conhecimento da temperatura interna, ou mesmo se o sistema de iluminação se encontra em funcionamento. A medição destes parâmetros são de grande importância pois, quando estes dados são cruzados com o consumo de energia, permitem uma série de correlações que levam à identificação de possíveis pontos de ineficiência na sua utilização.

Para tentar aumentar a perceção das condições ambientais e tentar reduzir o desperdício de energia, pode-se usar ferramentas de visualização em um Modelo BIM 3D, que apresenta os dados coletados pelo sistema. Essa representação de dados introduz uma nova abordagem de interação *Things2People* [1], de modo a obter uma maior rentabilidade e um maior conforto em espaços compartilhados como, por exemplo, edifícios públicos. Tendo em conta que o envolvimento do homem desempenha um papel primordial na eficiência energética, a combinação dos dados de sensores com a perceção individual e coletiva dos utilizadores, pode influenciar os seus comportamentos com vista a uma postura mais sustentável nesses espaços.

Tradicionalmente os dados são apresentados em *dashboards*, como gráficos. No entanto, atualmente pode-se complementar com informação visual, apresentando estes dados em tempo real no modelo 3D a cores, o que permite a qualquer utilizador perceber de forma clara o que se está a passar em tal ambiente, evitando-se o recurso a uma grande quantidade de números para o efeito.

A representação de dados, em cores, e vários estudos o comprovam, desempenha um papel importante na visualização de informações codificadas por cores dado que, estas aumentam a compreensão. [2].

O modelo BIM 3D permite apresentar os parâmetros relativos as condições ambientais de determinados locais, representando estes valores em cores. A visualização por cores torna-se mais atrativa para as pessoas perceberem quais são as condições ambientais, em determinados locais, ajudando-as na tomada de decisão.

A aplicação de técnicas de codificação por cores no sistema IoT representa uma forma inteligente e inovadora de transmitir informações para os utilizadores. Esta técnica tem demonstrado ser um sucesso no que diz respeito ao aumento da consciência humana, atenção e retenção de informações. As informações em forma de cor tendem a ser mais fáceis de perceber e não necessitam de tantos recursos mentais para serem compreendidas [3].

1.2 Motivação e relevância do tema

Com a evolução na área das redes de computadores, microeletrónica e telecomunicações foi possível o desenvolvimento de dispositivos cada vez menores, com maior capacidade de processamento de dados, comunicação de longo alcance e baixo consumo de energia, com isto, foi possível o desenvolvimento da IoT (Internet of Things).

Atualmente os dados disponíveis crescem exponencialmente e, com isso, nos deparamos com uma quantidade de dados que a maioria das pessoas não consegue interpretar de forma simples. Consequentemente, a maioria não tira proveito dessa informação da melhor forma possível. Desta forma, as plataformas de visualização são cada vez mais necessárias e importantes, com vista a uma interpretação rápida dos dados, especialmente por utilizadores com poucos conhecimentos técnicos, cujo comportamento deve mudar.

1.3 Objetivo

O objetivo desta dissertação é desenvolver um sistema de monitorização de condições ambientais, que tem como finalidade recolher dados de temperatura, humidade e luminosidade em tempo real, utilizando o protocolo LoRa, e disponibilizar tais informações em plataformas de visualização com vista a permitir uma perceção intuitiva das condições de conforto em determinados locais através de um modelo BIM 3D com cores.

Objetivos específicos

- Desenvolver um sistema IoT que permita a recolha de dados das condições ambientais de determinados locais em tempo real;
- Disponibilizar uma plataforma para a visualização dos dados em tempo real que permita os utilizadores perceberem as condições que os rodeiam ao apresentar os dados num modelo BIM 3D e *dashboards*.

1.4 Estrutura e organização da dissertação

O trabalho apresentado está organizado em cinco capítulos.

O primeiro capítulo compreende a introdução, em que são feitas as considerações iniciais, como a introdução do tema, a motivação do mesmo, os objetivos desta investigação, detalhando os objetivos específicos da mesma, e, por fim, é apresentada a estrutura do trabalho.

O segundo capítulo apresenta o estado da arte sobre alguns trabalhos já realizados com vista a fundamentar o tema e alguns conceitos teóricos.

No terceiro capítulo, é apresentado os principais requisitos para o desenvolvimento deste trabalho e a arquitetura do mesmo. Esta foi dividida em 4 camadas sendo, cada uma delas analisada de forma separada, ao longo deste capítulo, de modo a explicitar-se os elementos e a função de cada camada para o desenvolvimento do sistema.

- Camada de Hardware – identificação dos equipamentos utilizados para o desenvolvimento do protótipo.
- Camada de Comunicação – apresentação dos recursos necessários para os sensores se comunicarem através da rede LoRa.

- Camada de dados – referência ao servidor de aplicação e à base de dados utilizadas no sistema.
- Camada de informação – é nesta camada que será explicado como será feita a representação dos dados.

O quarto capítulo apresenta o caso de estudo, objeto deste trabalho assim como as formas de representação dos dados. Por fim, será explanado os resultados obtidos em cada caso.

No quinto capítulo, serão especificados os resultados e as conclusões que obtivermos no fim deste trabalho. Serão referenciadas, também, algumas possíveis melhorias para este trabalho que poderá servir, de ponto de partida, para a elaboração de trabalhos futuros por outros estudantes.

Capítulo 2 – Revisão da Literatura

2.1 Estado da arte

É cada vez mais frequente desenvolverem-se projetos relacionados com a monitorização de parâmetros de condições ambientais, alguns dos quais, quando intersetados com o consumo de energia, ajudam a atingir a eficiência neste domínio. É de extrema importância disponibilizar plataformas de fácil interpretação dos dados, com vista ajudar os utilizadores presentes em determinados locais a terem uma perceção das condições em que os rodeiam. Segue-se abaixo alguns trabalhos relacionados a esta dissertação.

Os medicamentos sensíveis à temperatura e à humidade devem ser armazenados em condições climáticas controladas e a sua conformidade continuamente monitorizada e documentada. Em [4] o autor desenvolveu um sistema de monitorização automatizada de temperatura e humidade no armazenamento de produtos inerentes a farmácias, com o foco principal no alerta assim que os valores da temperatura e humidade estiverem fora do padrão adequado.

Em [5], o autor apresenta um trabalho cujo título é “Condições ambientais nos laboratórios de aulas“, com o objetivo de monitorizar a temperatura e humidade do ambiente na clínica de Medicina Dentária da Faculdade de Medicina da Universidade de Coimbra. Após a análise de dados, o autor concluiu que os valores de temperatura e humidade no interior da clínica nem sempre se encontram entre os intervalos recomendados. A temperatura aconselhável em locais de trabalho deve situar-se entre os 21° e os 26° graus, e a humidade relativa do ar entre 55% a 65%.

Em [6], os autores apresentam a avaliação do sistema Predictive Thermal and Energy Control System (PTEC), um sistema de previsão de controlo térmico e energético num *data center*. O objetivo deste projeto foi verificar se o sistema PTEC era adequado para realizar a monitorização do *data center* com baixo consumo de energia. O sistema tem a função de coletar os dados dos ventiladores do servidor e do ar condicionado e verifica se as informações sobre a temperatura e consumo de energia obedecem à margem de segurança para o *data center*. A avaliação do sistema PTEC mostrou que se pode reduzir o consumo de energia para climatização em até 30%.

Os sensores de temperatura e humidade, a par do gerenciamento em nuvem do ar condicionado, também podem melhorar a infraestrutura de suporte, controlando os procedimentos de resfriamento, permitindo assim uma margem para aumentar a carga dos

servidores de TI, aumentando o desempenho, mantendo as temperaturas adequadas, e reduzindo o consumo de energia [7].

Em [8], os autores desenvolveram um sistema capaz de monitorizar o consumo de energia elétrica, bem como detetar a presença humana em edifícios. O sistema possui comunicação sem fios e utiliza o protocolo ZigBee, tendo sido criada uma interface para visualização dos dados, onde estes são armazenados num cartão micro SD.

Em [9], os autores apresentam dados térmicos em um modelo BIM 3D, para tal, imagens termográficas são capturadas e os valores de temperatura e humidade são coletados. Os dados são importados para o modelo BIM. Este estudo demonstrou que a informação térmica do edifício pode ser visualizada em 3D com intuito de fornecer informações cruciais com vista a ajudar a identificar deficiências de desempenho e possibilitar aos utilizadores uma análise do nível de conforto térmico do edifício. A Figura 1, ilustra como são representados os valores de temperatura por cores.

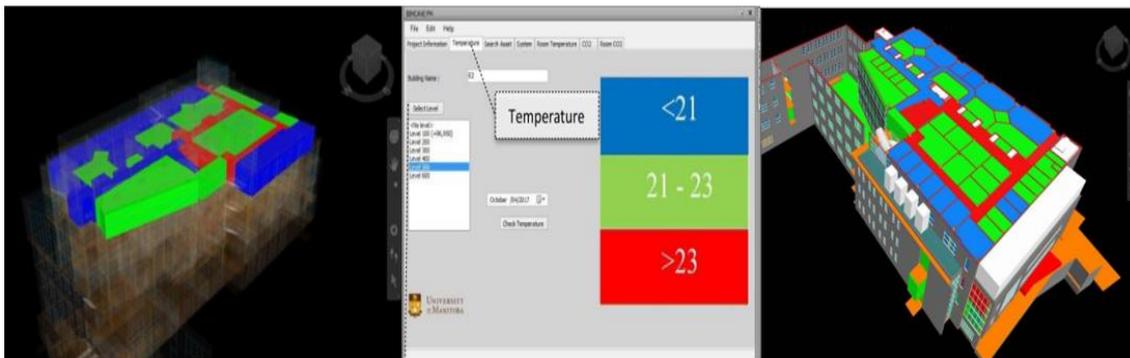


Figura 1: Visualização dos dados de temperatura no modelo BIM [9]

Em [9], Zeeshan Mohammed aborda a sincronização entre o BIM e o BAS (*Building Automation System*), sendo o primeiro útil na coordenação em fase de conceção e construção do edifício e o segundo tendo um papel relevante na pós-construção, manutenção e exploração. De acordo com Zeeshan Mohammed [9], o BIM apresenta um potencial enorme quando aliado a um sistema de monitorização em tempo real, como o BAS, o que proporcionaria aquisição de dados em quatro dimensões.

De acordo com Ramtin Attar [10], o aspeto chave é ligar semanticamente objetos do mundo real aos objetos presentes no BIM, bem como armazenar a identidade de cada sensor de modo a ser possível correlacionar os valores medidos por cada um deles às características do local encontradas no modelo BIM. Em [10], desenvolveu um protótipo em que os sensores estão ligados a placas de interface que convertem o sinal analógico

em digital que, por sua vez, estão ligadas por USB a um computador, com o intuito de enviar os dados recolhidos localmente por cada cubículo para uma base de dados. O autor propôs uma solução de integração de sensores em cubículos de escritório, onde apresenta o protótipo que tem como funcionalidades a perceção sensorial, armazenamento dos dados recolhidos e visualização do desempenho do edifício para posterior análise. Para tal, cada cubículo é tratado com uma célula de recolha de dados dos limites definidos que permitem avaliar o conforto e o uso de energia por parte de cada funcionário.

Neste artigo [11], os dispositivos IoT tem a função de fazer a aquisição de dados das condições ambientais, e de seguida os mesmos são integrados ao BIM. Esta solução permite a visualização dos parâmetros ambientais, onde é possível avaliar o comportamento da temperatura em cada divisão, enquanto que em [12], foi desenvolvido um sistema para monitorizar o desempenho de energia do edifício, onde são exibidas as leituras do sensor utilizando codificação por cores em um modelo BIM 3D.

Este trabalho, focou-se em representar os dados coletados pelos sensores em um modelo BIM 3D, visto isso fez-se um resumo dos trabalhos relacionados, onde é possível ver na Tabela 1.

Tabela 1: Resumo do estado da arte

Referência	Local de implementação	Medições				Protocolo de comunicação	Visualização	Comercial
		Temperatura e humidade	Luminosidade	Energia	Qualidade do ar			
Autor	ISCTE	✓	✓	✗	✗	LoRa	BIM e Dashboards	✗
[4]	Farmácia	✓	✗	✗	✗	Wi-Fi	Dashboards	✓
[5]	Universidade	✓	✗	✗	✓	ND	Gráficos	✗
[9]	Campus da universidade	✓	✗	✗	✗	Wi-Fi	BIM	✗
[13]	Escritórios	✓	✗	✓	✓	Wi-Fi	BIM	✗
[8]	Edifício escolar	✗	✓	✓	✗	ZigBee	Gráficos	✗
[6]	Data center	✓	✗	✓	✗	Ethernet	Dashboards	✗
[11]	Escola primaria	✓	✗	✗	✗	ND	BIM	✗
[12]	Universidade	✗	✗	✓	✗	ND	BIM e Dashboards	✗

ND: Não disponível.

2.2 Eficiência energética

A energia elétrica é um dos bens mais importantes para a sociedade, principalmente nos dias que correm, afigurando-se praticamente impossível imaginar como seria o mundo atualmente sem ela. De forma geral, as pessoas utilizam a energia elétrica para os sistemas de iluminação, refrigeração, conservação de alimentos e equipamentos de lazer, no entanto, parte das pessoas que fazem o seu uso para os mais diversos fins não dá o devido valor ao gasto e desperdício que decorre pela falta de responsabilidade.

O consumo de energia é um dos principais fatores que necessita de controlo com vista a uma maior sustentabilidade, devendo ser adotadas medidas e estratégias que promovam uma maior eficiência na gestão dos edifícios [14].

Pode-se definir eficiência energética como sendo uma atividade que procura otimizar a utilização das fontes de energia. Dessa forma, o consumo racional é um modo eficiente de melhorar a relação entre a quantidade de energia empregada numa atividade e disponibilizada para a sua realização. A eficiência energética está diretamente relacionada com o consumo consciente de energia [15].

Pode-se dizer também que uma maior eficiência energética significa a realização da mesma atividade com redução do uso de energia elétrica.

O sector dos edifícios é responsável pelo consumo de aproximadamente 40% da energia elétrica na Europa, entretanto, mais de metade deste consumo pode ser reduzido através de medidas de eficiência energética, o que pode representar uma poupança anual de 400 milhões de toneladas de CO₂, quase a totalidade do compromisso da União Europeia no âmbito do Protocolo de Quioto [16].

Uma das causas do elevado consumo energético dos edifícios é a não utilização de eficientes soluções de isolamento térmico, o que leva a um uso inadequado de equipamentos de climatização [17].

“Os países serão mais competitivos à medida que aumentarem a sua eficiência energética, consumindo menos energia por unidade de produto realizado ou de serviço prestado”[18]. Este é o cenário atual nos países desenvolvidos, particularmente no sector industrial. No entanto, nos sectores dos transportes e dos edifícios, incluindo as habitações, a situação é diferente, pois a eficiência energética não tem aumentado como seria desejável.

2.2.1 Sistema AVAC

Apesar da evolução dos equipamentos de AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado), este continua a ser o responsável por cerca de metade do consumo energético em edifícios [19], deste modo, um controlo detalhado do sistema AVAC é responsável por um aumento significativo da eficiência energética em edifícios.

Os equipamentos de AVAC consomem mais energia quando necessitam de provocar maiores variações na temperatura do espaço. Por esse motivo, um dos objetivos, no que diz respeito à melhoria da eficiência energética e consequente redução de consumo, deve ser a variação gradual e não abrupta da temperatura [19].

2.2.2 Sistema de iluminação

A iluminação de um espaço fechado pode ser efetuada de forma natural ou artificial, sendo que a primeira se refere à luz solar que entra no espaço através das janelas, e a iluminação artificial é à luz proveniente de lâmpadas [19].

A gestão da iluminação é fundamental, visto que se o espaço a iluminar receber luz natural durante o dia e esta for suficiente para a atividade que está a ser desenvolvida, não será necessário o consumo de energia elétrica em iluminação artificial [19].

2.3 Internet of Things

Com a evolução na área das redes de computadores e telecomunicações, foi possível o desenvolvimento da *Internet of Things* (IoT).

A IoT representa o crescimento da comunicação, cuja evolução está a dar um grande salto na capacidade de coletar, analisar e distribuir dados que podem transformar-se em informação, conhecimento e, por fim, sabedoria abrindo, assim, novas possibilidades para se criar serviços na Internet [20].

A interconexão dos dispositivos IoT tem fomentado o desenvolvimento de um amplo número de aplicações em diferentes setores, como automação residencial, automação industrial, gerenciamento de tráfego, saúde e muitos outros, sendo que os dispositivos atuam capturando dados dos mais variados contextos [21].

A ideia básica da IoT consiste no pressuposto de que existe uma diversidade de coisas que interagem e cooperam entre si a fim de atingirem um objetivo comum [20].

Anualmente, o número de dispositivos IoT vem aumentando, o que se deve ao facto de estes dispositivos proporcionarem conforto às pessoas e realizarem algumas atividades com melhores resultados que os homens. Como se pode verificar na Figura 2, o número de dispositivos IoT em uso na Internet superou o quádruplo dos que havia, desde 2012.

Em [22], prevê-se, até o final de 2020, que haja cerca de 50 biliões de dispositivos conectados em todo o mundo, como ilustra a Figura 2. Atualmente já se contam milhões de dispositivos que geram dados sobre temperaturas, velocidade, consumo de energia, entre outros.

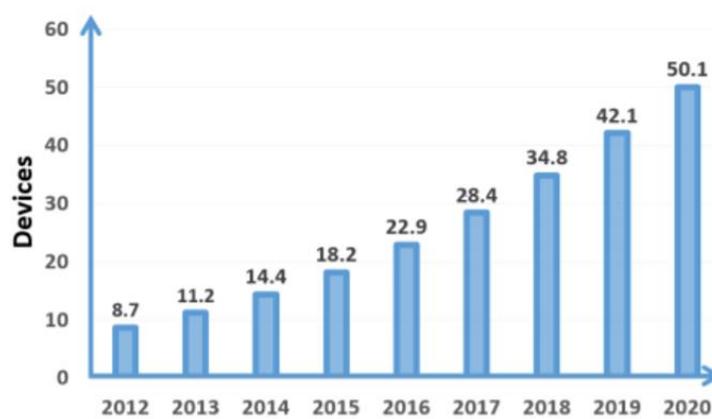


Figura 2: Número de dispositivos IoT conectados de 2012 a 2020 [22]

Neste momento, nota-se um crescente desenvolvimento de aplicações e usos da IoT voltados, frequentemente, para a automatização e melhoria de processos e organizações, alguns dos quais, em contínuo aprimoramento, se mostrarão indissociáveis a tal tecnologia, como, por exemplo, nas áreas de educação, cidades inteligentes, trânsito urbano e rodoviário, redes de energia integradas, saúde e gerenciamento industrial, dentre outras [21].

Um dos problemas que se pode tentar mitigar é o elevado consumo energético, onde se pode fazer uso desta tecnologia para desenvolver soluções com vista a monitorização.

2.4 Tecnologias de comunicação para IoT

Tecnologias de curto alcance, como *Bluetooth*, *ZigBee* ou *Wi-Fi*, são mais adequadas para ambientes pequenos, como uma casa ou escritório, pois possuem um pequeno alcance, que varia entre 10 e 100 metros.

2.4.1 Tecnologias de curto alcance

- **Bluetooth** - A tecnologia *bluetooth* é mais eficiente em comunicações de curtas distâncias. Existem muitas aplicações da IoT, nas quais a tecnologia *bluetooth* é usada como, por exemplo, a automação residencial inteligente e sistemas de monitorização de tráfego;
- **ZigBee** - Foi desenvolvido de forma a cumprir uma série de requisitos, tais como baixo custo de implementação da rede, reduzido consumo energético, e baixa velocidade de transferência de dados [8];
- **Wi-Fi** - É uma tecnologia de curto alcance, que chega a cerca de 100 metros, muito utilizada em instalações locais, como casas ou escritórios. Exige menos investimentos iniciais em infraestrutura, uma vez que a maioria dos locais já possui roteadores Wi-Fi à disposição.

2.4.2 LPWAN

Com o crescente número de dispositivos a ser implantados como parte da IoT, o consumo de energia e a duração da bateria estão a tornar-se cada vez mais importantes em vários cenários. Nos casos em que a aquisição de dados é escassa no tempo, a transmissão de dados torna-se, em grande medida, o fator que consome mais energia em nós de sensores passivos.

As *Low Power Wide Area Network* (LPWAN) não têm apenas um baixo consumo de energia, mas também uma comunicação máquina a máquina (M2M) de longo alcance e baixo custo. Isso permite a implantação de dispositivos finais que consomem um baixo nível de bateria e, conseqüentemente, a bateria irá durar vários anos [23].

O desenvolvimento de novas tecnologias LPWAN trouxe novos cenários de aplicações de IoT. Três destas tecnologias LPWAN compreendem os Sigfox, NB-IoT e LoRa.

LoRa e SigFox são as mais usadas nas bandas ISM não licenciadas, enquanto a NB-IoT surgiu nas redes celulares. De seguida iremos fazer uma breve explicação de cada uma destas tecnologias:

- **SigFox**

Esta tecnologia opera na faixa de frequência não licenciada, em média cada mensagem é recebida por 3 estações base. Esta diversidade espacial dá mais fiabilidade, que é relevante para sensores móveis. Possui um *gateway* capaz de lidar com cerca de um milhão de dispositivos finais, pois opera num sistema de comunicações de dispositivos

IoT como redes de comunicação móvel de banda *ultranarrow* (ultra estreita) projetado para suportar implantações IoT, com uma área de cobertura de 30-50 km em zonas rurais e 3-10 km em áreas urbanas [23].

- **NB-IoT**

O Narrow Band IoT (NB-IoT), opera no espectro licenciado e, como o LTE, usa o *Single-carrier FDMA* (SC-FDMA) no *uplink* e *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) no *downlink*, e a modulação *QuadraturePhase Shift Keying* (QPSK) [24]. Pode alcançar 1 km em áreas urbanas e 10 km em áreas rurais.

Os dispositivos finais que utilizam as tecnologias Sigfox, NB-IoT e LoRa têm menor consumo de energia, passando para o modo de suspensão quando não se encontram em operação. Como protocolo síncrono, o NB-IoT consome significativamente mais energia que o LoRa, que é um protocolo assíncrono. Quando comparada com a taxa de transferência de dados, o NB-IoT consome corrente de pico mais alta, necessária para a modulação FDMA [23]. Independentemente disso, as características destas duas tecnologias são muito importantes para muitas aplicações que exigem cobertura interna e vários anos de duração da bateria.

- **LoRa**

LoRa é a técnica de modulação usada na camada física que permite comunicações de baixa potência a longo prazo usando a modulação *Chirp Spread Spectrum* (CSS), que espalha os sinais de banda estreita por um canal mais amplo, o que permite maior resiliência à interferência e baixos níveis de relação sinal / ruído.

LoRaWAN é o nome dado ao protocolo que define a arquitetura do sistema bem como os parâmetros de comunicação usando a tecnologia LoRa. Foi desenvolvido e padronizado pela LoRaAllianceTM, uma associação sem fins lucrativos, que surge dar suporte ao LoRa na Internet, pois este protocolo inclui funcionalidades de rede e de camada superior [21].

De acordo com [24], em abril de 2019, a nível mundial havia mais de 113 redes LoRaWAN em 55 países, em várias etapas de implantação comercial, enquanto o NB-IoT possuía apenas 90 redes. Segundo, ainda, com o referido artigo, no mesmo período, o número acumulado de nós finais LoRa atingiu 97 milhões. A solução LoRaWAN está em grande crescimento porque o ecossistema de dispositivos se vem expandindo rapidamente com vista a atender um conjunto mais amplo de mercados verticais.

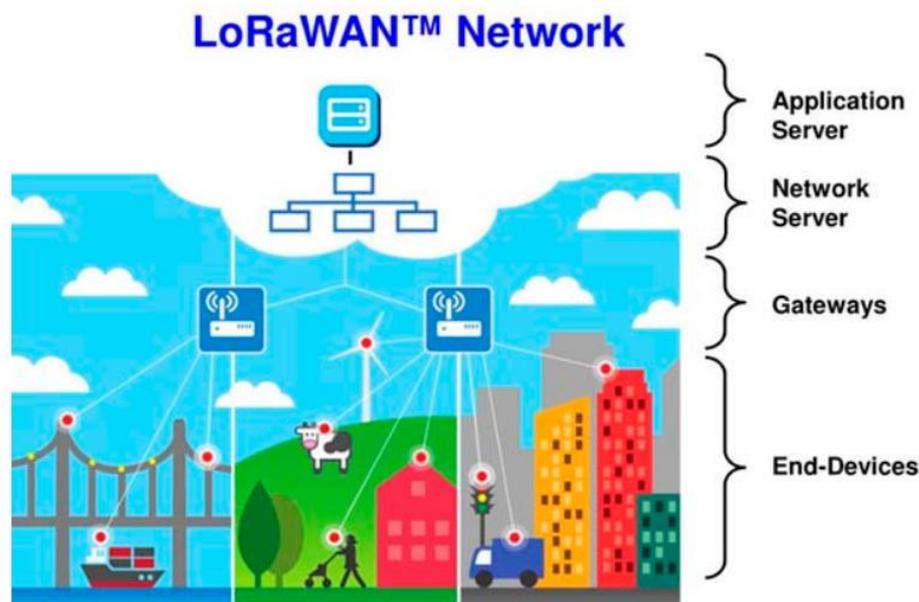


Figura 4: Arquitetura LoRaWAN [27]

2.5 Building Information Model

Building Information Model (BIM) é uma representação virtual de um edifício contendo toda a informação necessária do projeto, construção e manutenção, utilizando computadores e programas informáticos específicos [28].

A estrutura deste modelo é constituída por modelos 3D digitais, semanticamente ricos e habilitados a compartilhar e trocar dados [29].

Um dos objetivos do BIM é criar e controlar todos os dados relativos a um edifício durante todo o seu ciclo de vida, com a possibilidade de criar um único repositório de documentação desde o desenho e construção do edifício até às suas especificidades [28].

O modelo BIM pode também ser visto como uma representação digital do projeto do edifício que facilita a troca e interoperabilidade da informação em formato digital [28], como também pode incluir representações 2D e 3D.

Por intermédio deste tipo de plataforma de computação, é possível analisar a capacidade do edifício de reter calor, além de simular alterações em tempo real. Na Figura 5, é possível determinar onde o edifício perde mais calor, com recurso a esta tecnologia.

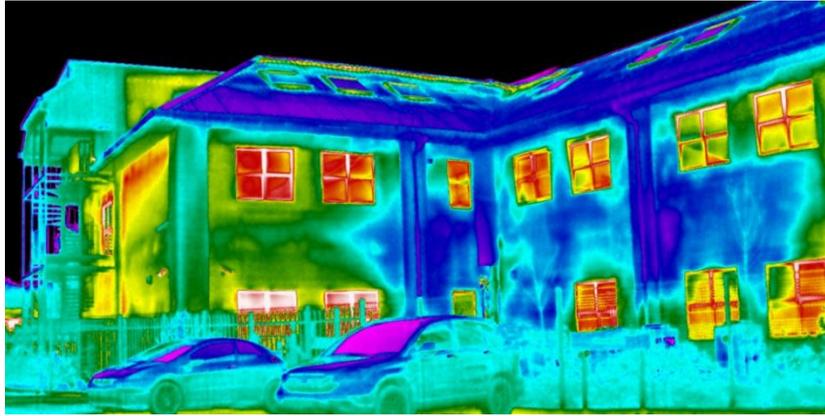


Figura 5: Exemplo de uma análise térmica com recurso ao BIM [30]

2.5.1 BIM na IoT

Avanços recentes em tecnologias como a IoT, redes de sensores sem fio, processamento e análise de dados, apresentam algumas lacunas que podem ser supridas com o modelo BIM, que têm o potencial de transformar o modo como interagimos com o ambiente construído e melhorar a experiência dos utilizadores finais e provedores de serviços [31].

A integração de informações adquiridas por meio da IoT aos objetos que compõem um modelo BIM torna-se fundamental com vista a proporcionar a sua representação, contextualização e correlação com determinada edificação em tempo real. Considerando os domínios de aplicação inerentes ao ambiente construído, a integração do BIM e IoT pode consistir no uso do modelo BIM como uma interface beneficiada por dados fornecidos através de uma rede de equipamentos, sensores e dispositivos móveis [29].

Os desdobramentos decorrentes dessa integração apontam para [29]:

- O uso do modelo BIM em tempo real, com vista, à exibição de dados coletados através de redes de sensores;
- A utilização do modelo BIM para rastreamento de ativos, tendo em conta à localização de ativos fixos ou móveis por meio de tecnologias de rastreamento e marcação;
- O uso do modelo BIM para automação predial, visando a monitorização e controlo da edificação.

Em [32], ressalta que as capacidades propiciadas pelas TICs devem assegurar o modelo BIM como um portal visual 3D, de modo a oferecer acesso tanto à informações estáticas (data de instalação) como à dinâmicas (estado atual) de objetos da edificação, e que fornece *feedbacks* intuitivos de análise.

A Figura 6, ilustra um conjunto de funcionalidades para análise de dados, bem como a planta, mapas de calor e a localização precisa dos sensores.

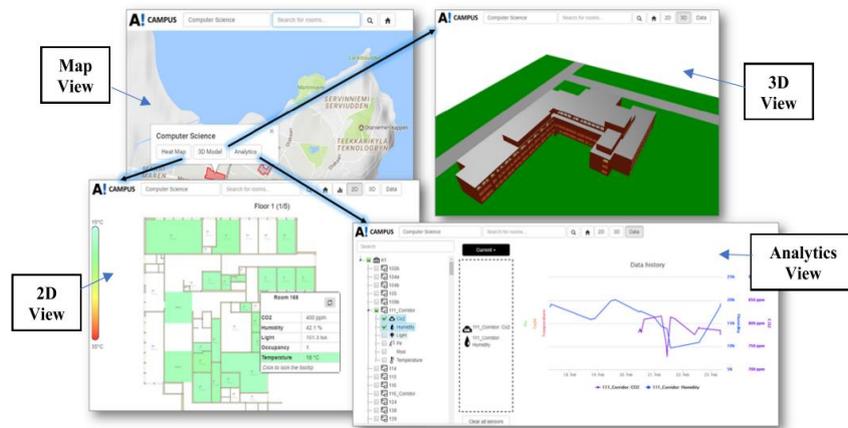


Figura 6: Ferramenta para análise de dados [31]

Algumas das tecnologias mais recentes que se encontram em desenvolvimento para aplicações BIM incorporam a capacidade de apresentar análises em tempo real dos dados coletados pelos sensores. Este recurso permite um *feedback* mais intuitivo de uma análise exibindo uma faixa de cores para os níveis de iluminação ou parâmetros de temperatura [32]. A Figura 7, apresenta os dados do sensor de temperatura exibidos por níveis de cor em um modelo BIM, onde cada cor indica uma faixa de temperatura.

A integração do modelo BIM e IoT encontra-se em pleno desenvolvimento e o seu uso para gestão de energia deve otimizar análises e previsões, mediante [33]:

- *Feedback* centrado nos diferentes tipos de utilizadores;
- Aprimoramento de relatórios com histórico de uso da edificação;
- Relação alinhada de custos e atividades, com vista a acelerar a economia de energia.

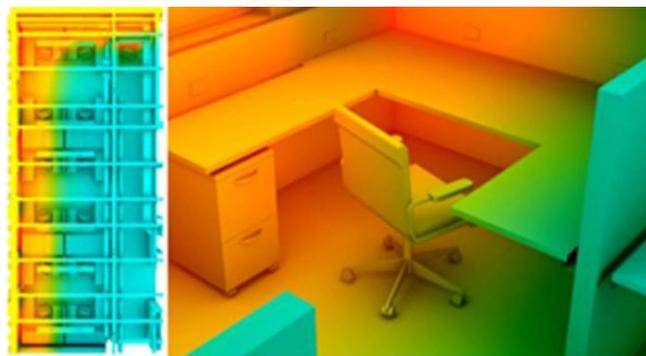


Figura 7: Dados do sensor de temperatura exibidos em um modelo BIM de um prédio de escritórios [19]

Capítulo 3 – Sistema IoT SMCA

Neste capítulo serão apresentados os equipamentos utilizados no desenvolvimento do sistema, tanto em termos de hardware e dispositivos, quanto de software.

Tendo em conta o desenvolvimento do sistema de IoT SMCA (Sistema de monitorização de condições ambientais) com ênfase na representação da informação com vista o utilizador local, iremos definir os requisitos, e a arquitetura do sistema em quatro camadas: hardware, comunicação, dados e informação.

3.1 Requisitos

O sistema desenvolvido será aplicado na secretaria do ISCTE. Contudo, este sistema pode ser implementado em casas, escritórios e até em edifícios maiores. O sistema faz a recolha de dados das condições ambientais de determinados locais e processa os mesmos com vista a criação de uma interface gráfica de fácil perceção para os utilizadores. Como intuito de rentabilizarmos o nosso sistema, assinalamos os seguintes requisitos:

- A necessidade de um sistema de aquisição de dados em tempo real, que permita aos utilizadores uma perceção sobre as condições do local em uma interface a cores em 3D.
- A necessidade de uma interface de visualização de fácil interpretação dos dados.

3.2 Arquitetura do sistema

A arquitetura proposta é baseada em um sistema IoT, composto por quatro camadas, como já referido e ilustrado pela Figura 8.

Camada de Hardware – Esta camada é composta pelos sensores que fazem a leitura dos dados pretendidos e o microcontrolador que recebe, armazena e transmite os dados. Os mesmos são enviados via LoRaWAN, pelo microcontrolador para o *gateway*, onde, seguidamente, são direcionados para a TTN (The Things Network), que é o servidor de rede utilizado para este trabalho. Nesta camada encontram-se os sensores de temperatura, humidade e luminosidade.

Camada de Comunicação – É constituída por uma rede LoRa utilizada na comunicação dos microcontroladores com o *gateway* LoRa, onde este é responsável por receber *uplinks* dos dispositivos finais e enviar estes dados para a TTN, que os redireciona para o servidor de aplicação.

Camada de Dados - É onde são criados o servidor de aplicação e a base de dados. O servidor de aplicação é Node-Red recebe e processa os dados que são, posteriormente, enviados e armazenados numa base de dados MySQL.

Camada de Informação – A interação com os utilizadores é feita nesta camada. Os dados coletados são utilizados para criar uma interface de visualização 3D, através do modelo BIM, onde é apresentada as informações sobre as condições ambientais coletadas de forma simples e representada em cores. Os dados coletados são também utilizados para criar *dashboards* que apresenta informações em forma de gráficos.

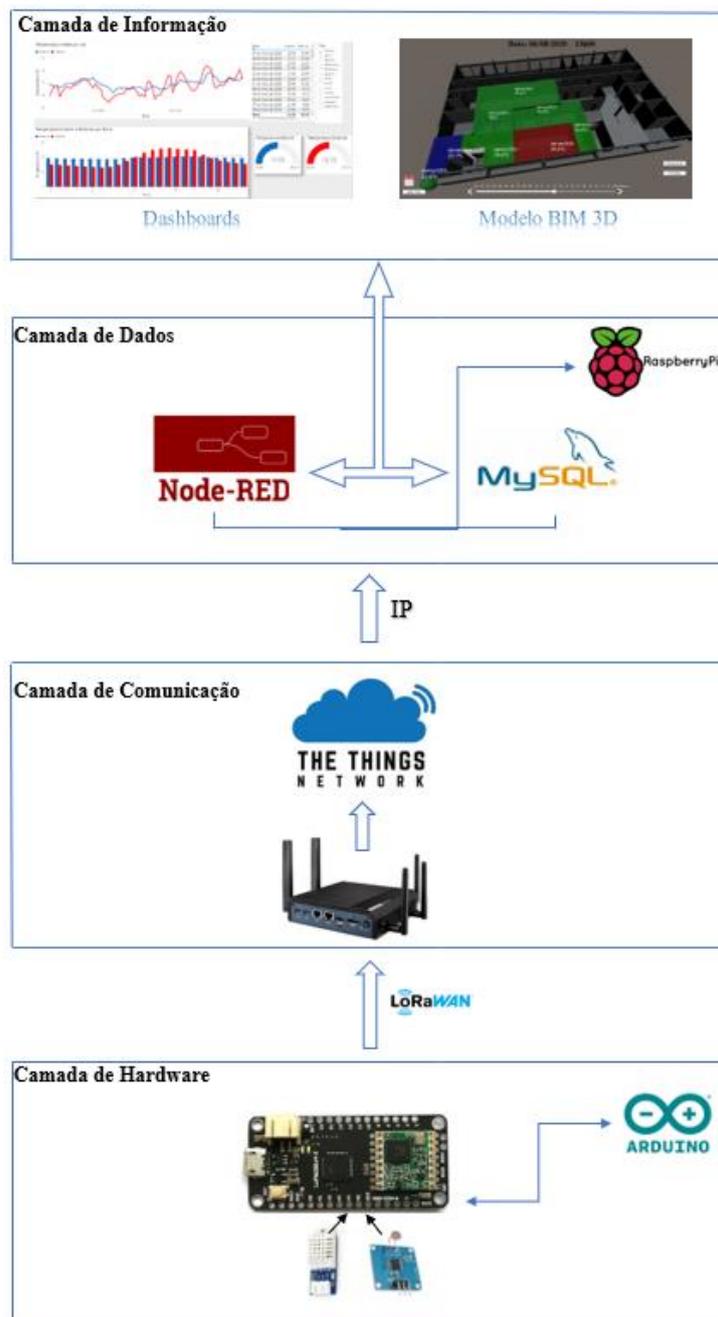


Figura 8: Arquitetura do sistema

Foi utilizado um microcontrolador que possui comunicação LoRa para aquisição de dados, sendo estes obtidos a partir de um conjunto de sensores, como sensores de temperatura, humidade e luminosidade. Os sensores recolhem os dados e enviam essas informações para o microcontrolador, este recebe e salva essas informações na memória, donde, num intervalo de tempo definido, os dados são remetidos para o *gateway* LoRa, através do protocolo LoRaWAN.

De seguida, os dados são enviados do mesmo através da internet para a TTN. Da TTN os dados são transmitidos para o Node-Red, onde foram criados fluxos para processá-los e armazená-los na base de dados MySQL, onde se criaram tabelas individuais para recebê-los. São armazenadas as variáveis que correspondem a data e hora em que cada mensagem foi enviada, os valores da temperatura em graus Celsius, da humidade e o da luminosidade em percentagem.

Na visualização dos dados é utilizado o Power BI, onde foram criados *dashboards* em forma de gráficos para melhor compreensão dos dados coletados, e por fim, é utilizado o modelo BIM, que é mais direcionado para um utilizador comum, com vista, a representação de dados das condições ambientais em um modelo 3D que utiliza níveis de cores, de modo, a indicar o nível atual de conforto térmico de cada sala disponibilizando ao utilizador uma interface de fácil interpretação.

3.2.1 Camada de hardware

Esta é a camada que envolve os objetos físicos e sensores utilizados para a recolha dos dados pretendidos.

O protótipo deste sistema foi desenvolvido no laboratório de IoT do ISCTE, utilizando dois tipos de sensores, DHT22 e GL5528. O primeiro faz a leitura dos valores da temperatura e humidade e o segundo da quantidade de luz. Também, foi necessário o microcontrolador BS France LoRa32u4 II que utiliza o protocolo de comunicação LoRa para transmitir os dados coletados pelos sensores para o *gateway* LoRa.

3.2.1.1 Desenvolvimento do Protótipo

Para o desenvolvimento deste sistema foram necessários os seguintes dispositivos:

- Microcontrolador
 - Placa BS France LoRa32u4 II;
- Sensores

- Sensor de Temperatura e Humidade (DHT22);
- Sensor de Luminosidade (GL5528);
- Placa de circuito perfurada de 2 pistas lineares centrais.

Os primeiros testes foram realizados numa *breadboard*, pois esta é mais aconselhável para a fase inicial de testes em que, a todo o momento, é necessário fazer várias alterações. Finalizada a fase de testes esta foi substituída por uma placa de circuito perfurada, devido as suas vantagens.

Foi imprescindível fazer o desenho do circuito elétrico, de modo a estabelecer-se as ligações dos sensores ao microcontrolador utilizando fios condutores. De seguida foi preciso soldar os fios condutores aos pinos do microcontrolador, para que estes não se soltassem, e para finalizar, o microcontrolador foi conectado a uma placa de circuito perfurada.

Como o protótipo foi projetado para funcionar sem necessidade de uma fonte de energia, fez-se necessário adicionar uma bateria de Lítio de 4000mAh para alimentar os sensores, em virtude disto, este pode ser instalado em qualquer local. A Figura 9, mostra a montagem do protótipo.



Figura 9: Bateria utilizada para alimentar os sensores

Para armazenar o protótipo escolheu-se uma caixa portátil que acomodasse a placa de circuito, a bateria e os sensores. A Figura 10, apresenta o protótipo final para este trabalho.

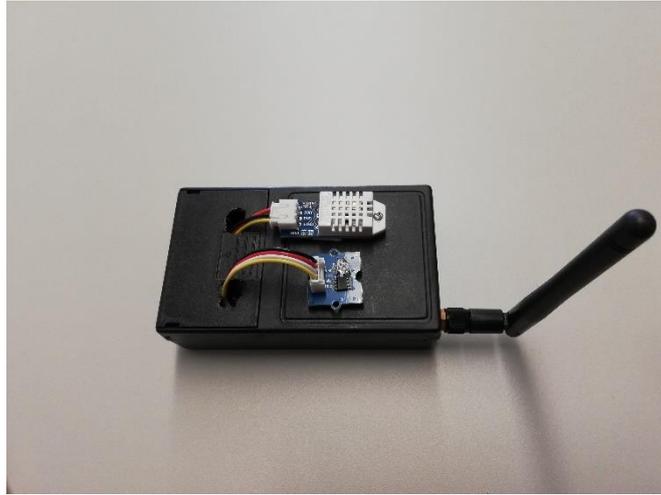


Figura 10: Protótipo final

3.2.1.2 Microcontrolador

Para este trabalho foi necessário escolher um microcontrolador que possuísse comunicação LoRa. Existem algumas opções no mercado, no entanto, para este trabalho pretendeu-se uma solução de baixo custo que cumprisse todos os requisitos necessários de modo a garantir todas as exigências do sistema. Abaixo são apresentadas as duas opções de microcontroladores analisadas para este trabalho.

- **Arduino MKR 1300 WAN**

O Arduino MKR WAN 1300 apresentado na Figura 11, é um microcontrolador que mescla a funcionalidade da conectividade LoRa com o MKR Zero. É um dos mais recomendáveis para quem pretenda desenvolver projetos na área da IoT, com um microcontrolador de baixo consumo de energia. Foi projetado para oferecer uma solução prática e económica a quem deseja conectividade LoRa a seus projetos. É baseado no processador de baixa potência Atmel SAMD21 e num módulo Murata CMWX1ZZABZ LoRa [34].



Figura 11: Arduino MKR 1300 WAN [35]

- **BSFrance LoRa32u4 II**

O microcontrolador apresentado na Figura 12 tem uma antena LoRa separada, que se conecta por meio de um pequeno cabo ao conector IPEX / U.FL da placa. Tal facilita o aumento da capacidade de rádio na frequência definida e uma melhor transmissão e recepção de sinal. Este tipo de microcontrolador tem a função de hibernação, ou seja, desliga alguns componentes por um certo período e volta a colocá-los em funcionamento assim que necessário permitindo, deste modo, maximizar a duração da bateria.

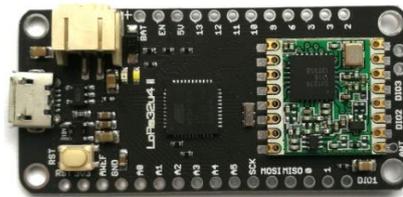


Figura 12: BSFrance LoRa32u4 II [36]

Para este trabalho optou-se por utilizar este microcontrolador pelas seguintes razões:

- Compatibilidade com o Arduino IDE;
- Possui todos os pinos necessários;
- Comunicação de longo alcance com protocolo LoRa;
- Baixo consumo de energia;
- Preço acessível.

Tabela 2: Comparação entre as placas analisadas

Características	Arduino MKR 1300 WAN	BSFrance LoRa32u4 II
Tensão de Operação do circuito	3.3V	3.3V – 5.0V
Frequência da Portadora	433/868/915MHz	868MHz - 915MHz
Tamanho	71.64 x 25 mm	67.64 x 24 mm
Preço	35€	15€

3.2.1.3 Sensores

Existem diversos sensores no mercado em função do seu tipo de medição, tendo em conta que cada um tem as suas próprias características, alcance, precisão e exatidão.

As principais variáveis de ambiente em que o nosso sistema se baseia são a temperatura, humidade e luminosidade. Numa primeira fase, foram analisados três sensores de temperatura e humidade que se enquadravam melhor no trabalho.

- **DHT11**

O sensor digital de temperatura e umidade DHT11 é um sensor composto que contém uma saída de sinal digital calibrada da temperatura e umidade. O Sensor inclui um dispositivo de medição de temperatura NTC[37].

Este sensor tem algumas vantagens, como o seu pequeno tamanho, baixo consumo de energia e transmissão de sinal de até 20 metros. Por isso, torna-se uma das melhores opções do mercado. Na Tabela 3, pode-se verificar algumas das suas características.

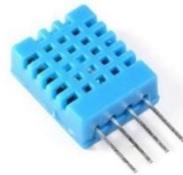


Figura 13: Sensor DHT-11 [24]

- **SHT31**

O SHT31 é um dos melhores sensores para uso em projetos que exija medição de temperatura e umidade com maior precisão possível. Este sensor comunica-se com recurso ao barramento serial I2C, como ilustra a Figura 12, que facilita a leitura e pode funcionar a uma velocidade de até 1 MHz.

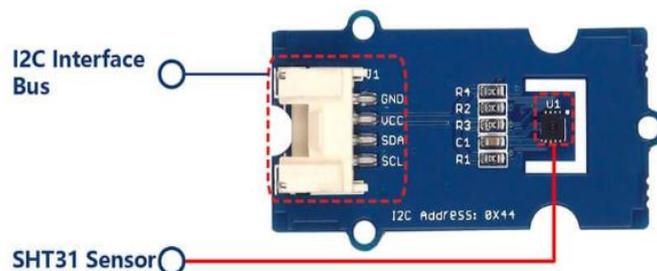


Figura 14: Sensor SHT31 [38]

- **DHT22**

A Figura 15 ilustra o sensor DHT22. Este permite fazer leituras de temperaturas entre -40 a 80 graus Celsius e umidade entre 0 e 100%, sendo muito fácil de usar com vários microcontroladores pois possui apenas 1 pino com saída digital. Este tipo de sensor deve ser instalado em locais distantes de equipamentos que possam gerar calor ou frio, de modo a obter melhores resultados.



Figura 15: Sensor DHT22 [39]

A Tabela 3, mostra as características dos três sensores analisados relativamente a este trabalho.

Tabela 3: Comparação entre os Sensores DHT11, SHT31 e DHT22

Características	DHT11	SHT31	DHT22
Faixa de humidade	20 a 90%	0% a 100%	0% a 100%
Precisão de humidade	±5%	±2%	±2%
Faixa de temperatura	0 a 50 °C	-40°C a 125°C	-40°C a 80°C
Precisão da temperatura	±2% °C	±0.3°C	±0.5°C
Tensão de alimentação	3V a 5.5V	2.4 V a 5.5 V DC	3.3-6V
Tamanho	15,5mm x 12mm	40mm×20mm	25mm x 22mm
Preço	2€	12,80€	7,50€

Para este trabalho foi escolhido o sensor DHT22 que, embora seja mais caro que o DHT11 apresenta melhores resultados de precisão e exatidão da temperatura e humidade, bem como resultados muito semelhantes ao SHT31 que é o mais caro.

- **Sensor de Luminosidade**

O sensor de luminosidade escolhido para este trabalho utiliza um conector Grove-GL5528 com a finalidade de detetar a intensidade da luz em ambientes internos. É composto por um *chip* LN358 que converte a intensidade da luz em tensão e emite um sinal analógico, como ilustra a Figura 16.



Figura 16: Sensor de luminosidade GL5528 [40]

O preço deste sensor varia entre 2 e 4+ euros, porém, não foi necessário efetuar a compra deste sensor, já que tínhamos alguns no laboratório de IoT do ISCTE.

3.2.1.4 Arduino IDE

Para a programação do nosso microcontrolador foi utilizada a plataforma Arduino IDE, que é um *software* gratuito com o propósito de facilitar o desenvolvimento e o *upload* do código diretamente no microcontrolador.

Possui a vantagem de ser compatível com sistemas operacionais muito utilizados como o Windows e Linux. A IDE do Arduino, possui uma linguagem própria baseada na linguagem C e C++ [22].

Este software foi executado em um computador onde foi feita a programação, na qual era executado o upload para o microcontrolador, através de uma comunicação serial. Podemos dividir o ciclo de programação do nosso microcontrolador da seguinte forma:

- Conexão da placa a uma porta USB do computador;
- Desenvolvimento do *sketch* com comandos para o microcontrolador;
- Upload do *sketch* para o microcontrolador, utilizando a comunicação USB;
- Aguardar a reinicialização, após isso ocorrerá à execução do *sketch* criado.

A partir do momento em que é feito o *upload* do código no microcontrolador, já não é necessário mais a utilização do computador, pois o código já foi executado na placa. De seguida o microcontrolador executa o *sketch* criado, desde que seja ligado a uma fonte de energia.

3.2.2 Camada de comunicação

A tecnologia LoRa permite que seja coletado dados, em tempo real de diversos sensores que podem ser utilizados em vários setores da sociedade, otimizando processos e aumentando a qualidade de vida.

Para este trabalho optou-se por utilizar o protocolo LoRaWAN, que estabelece uma comunicação entre o microcontrolador e o *gateway* LoRa, onde este envia os dados para a TTN. Escolheu-se a rede LoRa, por está já estar em funcionamento no ISCTE, e dado que esta contém maior cobertura de alcance em comparação com o ZigBee e *Bluetooth*.

Em relação à escolha do servidor LoRa a ser utilizado, foi escolhido a TTN, pelo fato de possuir uma interface de fácil interpretação e por esta ser totalmente gratuita.

3.2.2.1 TTN

Antes que qualquer dispositivo possa utilizar a rede TTN (*The Things Network*), é necessário registrar o dispositivo numa aplicação. Foi preciso criar, inicialmente, uma aplicação na plataforma TTN, a que designámos “Projeto_Tese” e, de seguida, registámos o nosso microcontrolador. Para o efeito, foi necessário conhecer o Device_EUI, que é o único identificador do dispositivo na rede. Deste modo, foram realizadas as seguintes etapas:

- Instalar a biblioteca TheThingsNetwork no Arduino IDE;
- Ligar o microcontrolador ao computador através de um cabo USB;
- Abrir o exemplo do *sketch* TheThingsNetwork, e de seguida o DeviceInfo;
- Executar o código e abrir o serial monitor para visualização do Device_EUI do microcontrolador.

Com o microcontrolador já registado na TTN, o próximo passo foi ativar o mesmo, para tal, foi utilizado o exemplo do *sketch* SendOTAA. Neste caso, foi necessário utilizar o APPEUI e APPKEY da aplicação, onde o primeiro identifica exclusivamente o servidor que processa o pedido de adesão à rede e o segundo corresponde a uma chave criptográfica AES-128, com a função de trocar dados com o servidor e criptografar a comunicação.

O servidor de rede TTN situa-se entre os *gateways* e o servidor de aplicação, como ilustra a Figura 17, este possui a função de processar e rotear os dados.

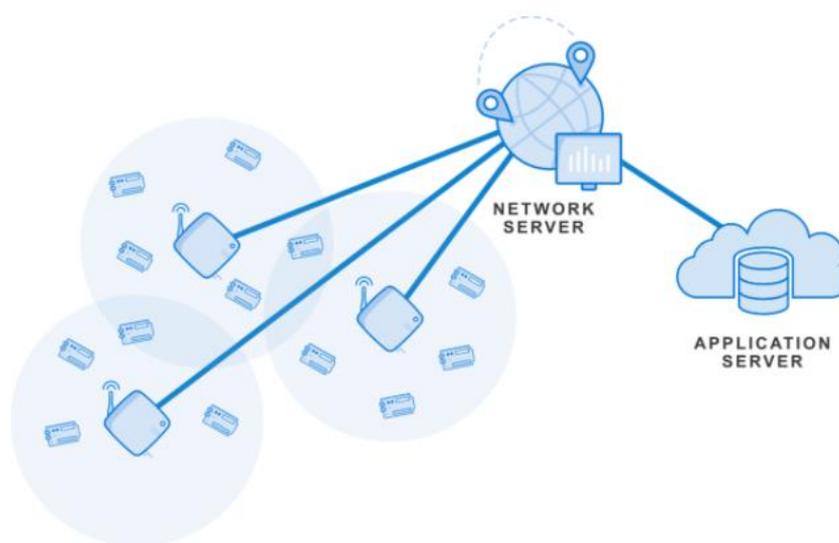


Figura 17: Topologia do TTN [35]

Existem duas formas pelas quais os sensores podem se conectar com a TTN:

- **ABP (*Activation by personalization*)**

No modo de ativação ABP não é necessário configurar o DevEUI, AppEUI ou AppKey, pois as chaves de sessão NwkSKey e AppSKey são pré-programadas no dispositivo e este é, previamente, registado na rede a qual será conectado.

Por ser pré-programado com as chaves de sessão, existe a possibilidade de um *hacker* encontrar estes valores, comprometendo a integridade da rede. Neste caso, é aconselhável não fazer uso das mesmas chaves de sessão, quando se trate de dispositivos na mesma rede [41].

- **OTAA (*Over the Air Activation*)**

De acordo com [20], o modo de Ativação pelo ar é a forma mais utilizada e segura de se conectar com a TTN. É mais confiável porque a ativação será confirmada e, mais segura, porque as chaves de sessão serão negociadas a cada ativação.

No modo de ativação OTAA, cada dispositivo possui DevEUI, AppEUI e AppKey, no entanto, neste modo os dispositivos não têm as chaves necessárias para dar início à conexão com a rede. Para estabelecer uma comunicação com a rede, o dispositivo envia uma mensagem *Join-Request*, que é um pedido de aprovação da conexão, em que são enviados o DevEUI, AppEUI e AppKey (que irá gerar as chaves NwkSKey e AppSKey). Caso o servidor aceite o pedido, é enviada uma mensagem de *Join-Accept* para o dispositivo, que criará as chaves de sessão através da AppKey e do AppNonce, também geradas pelo servidor, e posteriormente armazenadas na rede.

As chaves de sessão podem ser armazenadas e utilizadas com vista a permitir a troca de mensagens entre o servidor e o dispositivo [21]. Na Figura 18 estão representadas as chaves de criptografia utilizadas por um dos dispositivos desenvolvidos.

Comparando os dois modos concluiu-se que o OTAA seria o mais indicado, pois este é mais seguro em relação ao ABP.

Activation Method OTAA

Device EUI <> ↕ A8 61 0A 31 30 31 79 12 📄

Application EUI <> ↕ 70 B3 D5 7E D0 02 A9 6B 📄

App Key <> ↕ 🔒 📄

Device Address <> ↕ 26 01 27 E1 📄

Network Session Key <> ↕ 🔒 E4 C9 FE E5 8E 1A EA 46 E0 76 31 F9 A2 0D F2 FC 📄

App Session Key <> ↕ 🔒 📄

Figura 18: Chaves de criptografia para comunicação entre o microcontrolador e o servidor LoRa

3.2.3 Camada de dados

Foi nesta camada, que foi escolhido o servidor de aplicação para suportar o sistema.

O servidor de aplicação é responsável por receber os dados do servidor LoRa e processá-los. Para tal, um Raspberry PI, com sistema operativo *Raspbian*, foi configurado para o sistema.

O servidor de aplicação implantado no Raspberry PI, tem as seguintes funções no sistema:

- Receber os dados dos sensores provenientes da TTN;
- Tratar e enviar os dados para a base de dados.

3.2.3.1 Node-Red

Node-Red é uma plataforma baseada em fluxos, que foi desenvolvida para interagir com dispositivos de hardware, APIs e serviços *online* com vista a simplificar os sistemas IoT, permitindo a programação através de uma interface gráfica simples e intuitiva [42].

Para desenvolver uma aplicação com recurso ao Node-RED, é necessário ligar apenas os nós uns aos outros, onde cada um tem uma função específica. Esta plataforma permite também a escrita de código mais elaborado utilizando *Java Script*.

Na Figura 19, é possível visualizar o fluxo de blocos de código criado para receber os dados da TTN e guardar numa base de dados, na qual cada bloco tem a função de:

- MQTT- é responsável por receber os dados da TTN.
- Function - permite que o código *JavaScript* seja executado nas mensagens que passam por ele.

- MySQL - este nó permite realizar a conexão a base de dados;
- Debug - permite que a mensagem de saída do nó MySQL seja exibida na janela de debug.

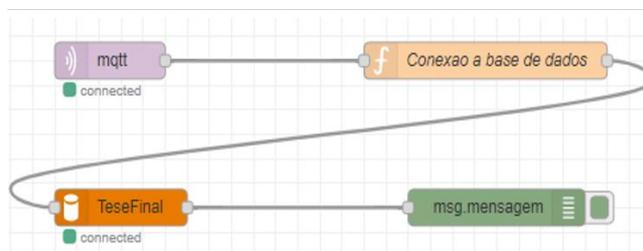


Figura 19: Configuração dos nós do Node-Red

O Node-Red foi escolhido como o servidor de aplicação neste trabalho pelas seguintes razões:

- Possui uma interface gráfica bastante intuitiva, que permite criar aplicações avançadas de forma simples.
- Facilidade em conectar-se à base de dados.
- Todo o código pode ser dividido em fluxos para uma melhor visualização.

3.2.3.2 Base de dados

Foi utilizada a base de dados MySQL para armazenar os dados coletados por todos os sensores, e criadas nove tabelas, sendo que cada uma delas corresponde a um sensor. Os registos guardados nas tabelas correspondem ao número de identificação de cada leitura, à data e hora, ao id do sensor, e ao valor da temperatura e da humidade apresentados em graus Celcius e percentagem, respetivamente como ilustra a Figura 20.

	id	time_data	deveui	Temperatura	Humidade
▶	1	2020-07-08 16:24:32	009764E587DE4511	26.58	48
	2	2020-07-08 16:35:33	009764E587DE4511	26.66	49
	3	2020-07-08 16:46:33	009764E587DE4511	26.63	49
	4	2020-07-08 16:57:33	009764E587DE4511	26.59	50
	5	2020-07-08 17:08:34	009764E587DE4511	26.58	49
	6	2020-07-08 17:19:34	009764E587DE4511	26.62	49
	7	2020-07-08 17:30:34	009764E587DE4511	26.56	49
	8	2020-07-08 17:41:34	009764E587DE4511	26.53	49
	9	2020-07-08 17:52:35	009764E587DE4511	26.49	49
	10	2020-07-08 18:03:34	009764E587DE4511	26.43	48

Figura 20: Registos do sensor 1

3.2.1.3 Raspberry PI

No decurso da implementação do trabalho, foi utilizado o Raspberry PI com o sistema operativo Raspbian, que foi configurado para executar o servidor de aplicação e a base de dados em tempo integral, com vista a permitir que seja possível aceder a partir de qualquer navegador disponível.

O Raspberry PI foi escolhido para funcionar como um servidor responsável por alocar o servidor de aplicação e base de dados neste trabalho pelos seguintes motivos:

- Baixo custo e durabilidade;
- Baixo consumo de energia;
- Apesar do seu tamanho reduzido, tem todas as funcionalidades inerentes a um computador maior.



Figura 21: Raspberry PI [43]

Para configurar o Raspberry Pi, foram necessárias as seguintes etapas:

- Antes de ligar o Raspberry Pi à energia elétrica, foi necessário inserir o cartão SD na entrada correspondente do Raspberry Pi, que contém o sistema operativo;
- De seguida, foi necessário conectar o cabo do monitor à entrada HDMI do Raspberry Pi, o cabo USB do teclado numa das portas;

3.2.4 Camada de informação

Uma das primeiras etapas deste trabalho, é a recolha de dados de temperatura, humidade e luminosidade e uma futura análise descritiva destes dados numa plataforma IoT. Nesta, além de se caracterizar o estado atual do ambiente, também é possível identificar padrões e comportamentos. Após a recolha, processamento e armazenamento dos dados, estes são de seguida apresentados em *dashboards* desenvolvidos com recurso a ferramenta Power BI e através do modelo BIM 3D.

3.2.4.1 Power BI

O Microsoft Power BI é uma ferramenta de *Business Intelligence* da Microsoft. Esta ferramenta permite combinar diferentes softwares, aplicações e conectores que transformam a origem de dados não relacionados em informações coerentes e visualmente envolventes [44]. Isto significa que o Power BI pode buscar as informações em diversas fontes e combinar todos os dados e apresentá-los em *dashboards*. Os dados podem estar em uma folha de cálculo do Excel, numa base de dados ou num provedor de armazenamento em nuvem.

Utilizou-se o Power BI para exibir os parâmetros ambientais coletados pelos sensores. Os dados são colocados em gráficos, permitindo aos utilizadores verificar as condições ambientais, como também, visualizar o histórico de dados através dos filtros criados, como ilustra a Figura 22.

Para criar os *dashboards* o Power BI vai buscar os dados na base de dados MySQL, onde de seguida transforma estes dados em gráficos de fácil interpretação.

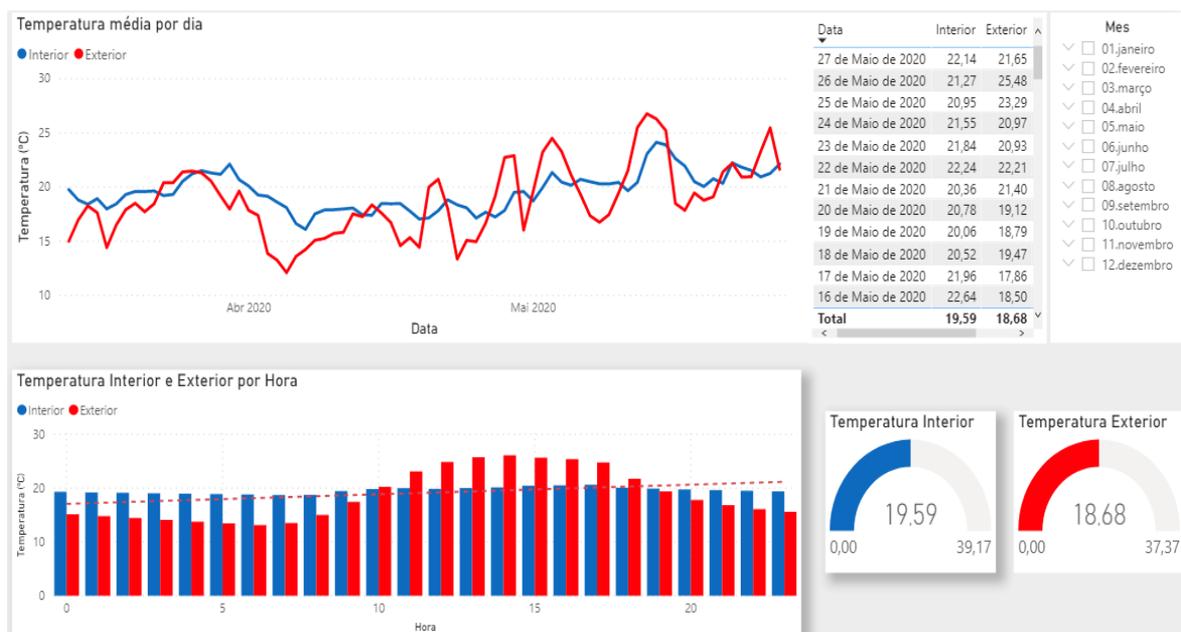


Figura 22: Interface de visualização do Power BI

O Power BI foi escolhido pelas seguintes razões:

- Permite criar *dashboards* de forma rápida;
- Permite visualizar os dados;
- Os filtros são intuitivos e de fácil utilização.

3.2.4.2 Modelo BIM

O modelo BIM inclui a descrição geométrica completa do edifício bem como a designação dos departamentos, em forma de *label*, o que possibilita a visualização do local onde cada sensor foi instalado.

Neste trabalho, uma das formas de representação dos dados, consiste no uso de uma interface baseada num modelo BIM. Esta abordagem permite, aos leigos, uma melhor compreensão das variáveis de conforto do ambiente em que se localizam, como também, vislumbrar as alternativas viáveis para aumentar o nível de comodidade. Este modelo possibilita aos utilizadores interpretar os valores indicados, de forma simples, já que são representados por cores, e cada uma delas, indica o nível de conforto do espaço.

O habitual é apresentar os dados em *dashboards*, como gráficos de barras ou linhas, tabelas ou, ainda imagens simples que ajudam na análise de dados, no entanto, atualmente pode-se complementar a exposição com informação visual, apresentando estes dados, em tempo real no modelo BIM 3D a cores. Tal permite a qualquer utilizador perceber, de forma clara, o que se está a passar neste ambiente, visto que se torna mais simples, para um leigo, interpretar dados, através de cores, em vez de uma grande quantidade de números. A Figura 23, ilustra a interface de visualização do utilizador.

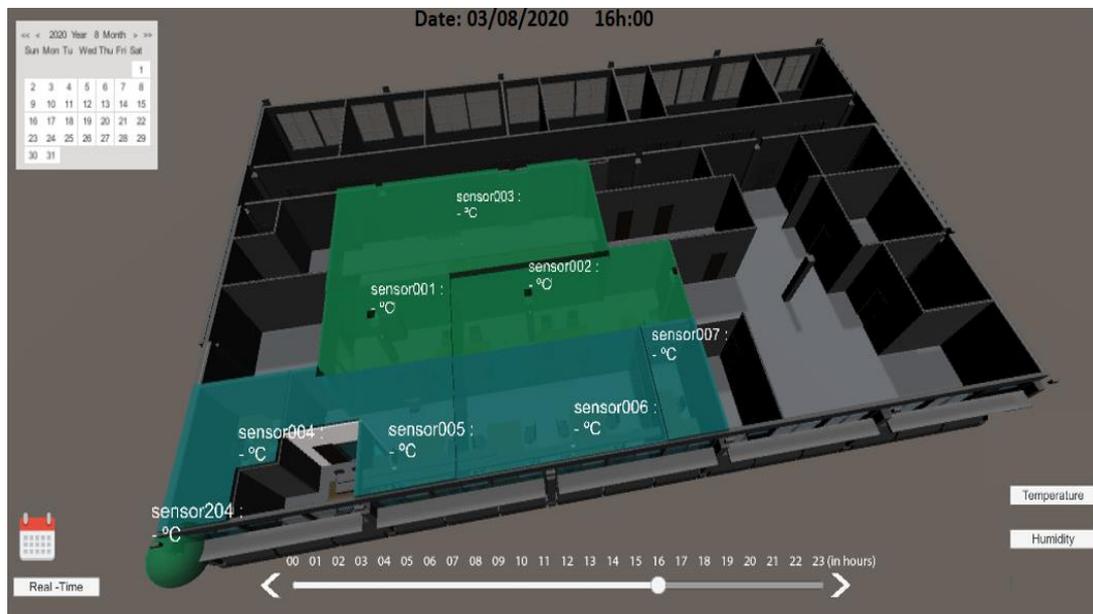


Figura 23: Interface do Utilizador

- **Unity**

O Unity é um motor de jogo ou *game engine* muito utilizado na criação de jogos 2D e 3D, nos mais diversos estilos gráficos para diferentes plataformas, que foi desenvolvido

pela Unity Technologies, possuindo uma interface bastante intuitiva, com o propósito de facilitar o processo de criação e desenvolvimento de jogos 3D. Esta ferramenta é compatível com diversas plataformas existentes no mercado, como Windows, Linux, iOS e Android. A área de trabalho é composta por diversas janelas, e cada uma delas possui uma função específica, como ilustra a Figura 24.

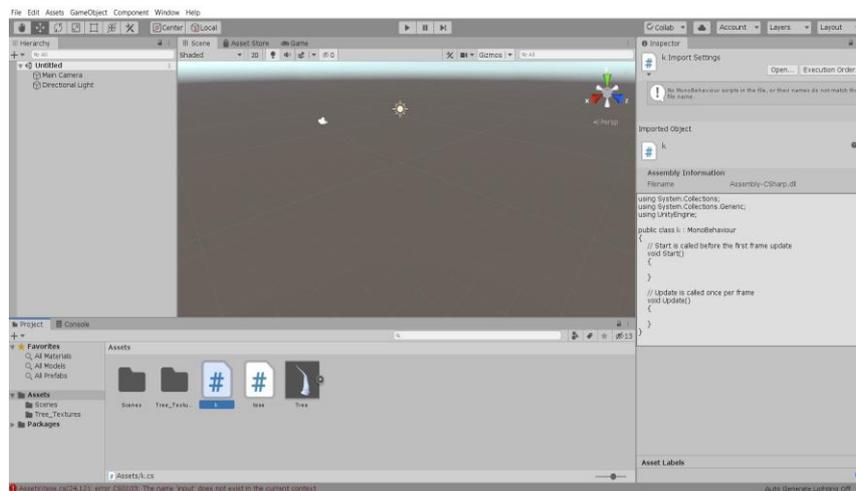


Figura 24: Ambiente Unity

Para este trabalho foi utilizada a ferramenta de desenvolvimento *Visual Studio* que visa a criação dos *scripts* utilizados pelo Unity, com recurso à linguagem de programação C#. Em cada *script* estão incluídas as funções *Start* e *Update*: a primeira é executada somente quando o objeto é instanciado, e a segunda é efetuada sempre que existir o objeto.

Utilizou-se o Unity com o intuito de integrar o modelo BIM 3D da secretaria com as variáveis recolhidas pelo sistema IoT desenvolvido, o que permitiu alterar as cores de acordo com o valor da variável em análise. Para tal, fez-se necessário desenvolver os *scripts* C# para se atribuir um comportamento a cada objeto, com vista a representar os dados em tempo real no modelo BIM 3D a cores.

O modelo 3D da secretaria foi importado para o Unity, onde foram adicionados os elementos gráficos. O Unity faz a consulta à base de dados, onde todos os dados do sistema estão armazenados.

A Figura 25, descreve o esquema de integração do BIM com Unity.

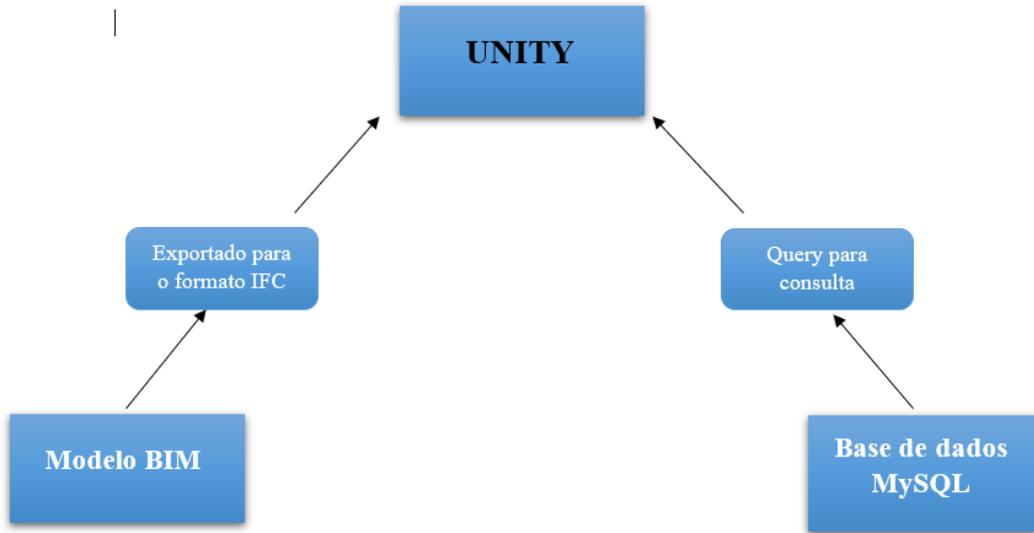


Figura 25: Esquema de integração do modelo BIM ao Unity

Capítulo 4 – Teste e Validação do sistema IoT SMCA

Ao longo deste estudo surgiram algumas dificuldades, mas, cremos que a maioria delas foram superadas com sucesso. Inicialmente, pretendíamos instalar o sistema desenvolvido em vários locais para além da secretaria do ISCTE e do laboratório de IoT, contudo, e devido à pandemia do coronavírus, tal não foi possível. Por isso, nos focámos no estudo destes dois espaços.

Um dos principais problemas encontrados durante este trabalho foi a dificuldade no acesso às salas de aulas do ISCTE, o que foi agravado pela pandemia do coronavírus, tendo-se perdido muito tempo e, conseqüentemente, não foi possível obter uma grande quantidade de dados para análise.

A validação do sistema, com o envolvimento de um grande número de pessoas, não ocorreu devido aos atrasos que surgiram e às restrições que o referido surto causou. Ainda assim, foram realizados alguns testes para se avaliar o comportamento das pessoas em relação ao sistema desenvolvido.

Este sistema foi implementado em dois casos de estudos, utilizando dois métodos de visualização distintos:

- Modelo BIM 3D para secretaria do ISCTE. Neste caso de estudo, utilizou-se um método de visualização dos dados mais virado para um utilizador comum;
- *Dashboards* para analisar a temperatura, humidade e luminosidade do laboratório de IoT do ISCTE. Para este caso de estudo, os dados são apresentados numa plataforma de visualização, em que são criados filtros para consultar o histórico dos dados de forma detalhada.

4.1 Secretaria do ISCTE

A secretaria do ISCTE é um espaço que possui várias divisões e salas separadas para alguns funcionários. Na Figura 26, é possível visualizar a planta da secretaria, onde os quadrados vermelhos representam a posição onde cada sensor de temperatura e humidade foi instalado.

O modelo BIM 3D da secretaria foi criado pela equipa ligada à arquitetura do ISCTE que utilizou o software REVIT Autodesk, versão 2018, e este, de seguida, foi integrado ao Unity, no qual foram criados *scripts* de modo a induzir uma ação a cada objeto.

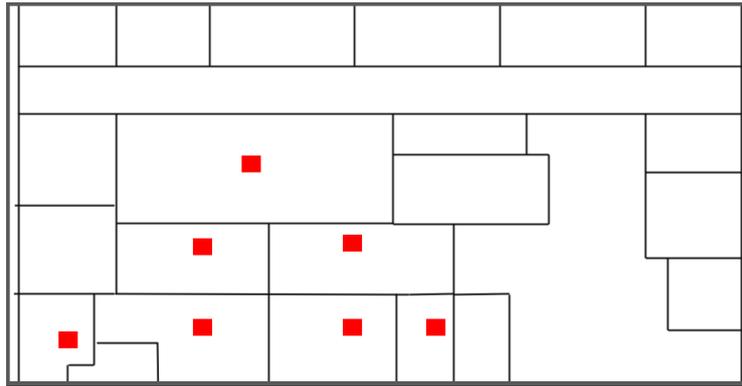


Figura 26: Planta da secretaria

- **Modelo BIM da secretaria**

Este modelo inclui a descrição geométrica completa do edifício permitindo uma abordagem mais direta do utilizador à visualização 3D garantindo-lhe uma maior perceção das condições ambientais à sua volta. Observa-se na Figura 27, a vista área do modelo BIM da secretaria no formato 3D. O BIM permite representar os dados para que qualquer utilizador possa perceber, de maneira fácil e rápida, segundo uma perspetiva, que pode ser configurada para diferentes casos.

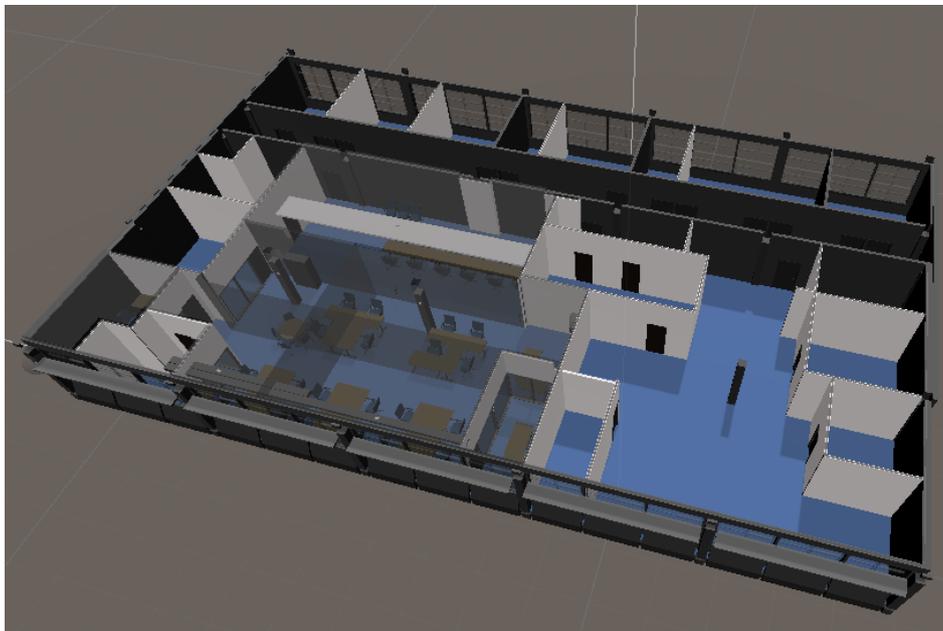


Figura 27: Modelo BIM da secretaria

Um dos objetivos desta interface de visualização é fornecer aos funcionários informações atuais sobre as condições ambientais no interior da secretaria. Deste modo, será possível

analisarmos o nível de conforto de cada sala, ou ainda, optar-se por espaços onde a temperatura e humidade estão em consonância com o seu gosto. No que diz respeito ao atual estado de cada sala, julgamos que um ambiente 3D, representado por cores, causa maior impacto nas pessoas.

Os parâmetros de temperatura e humidade das salas da secretaria são apresentados utilizando-se cores para cada faixa de valores definida nos *scripts*, sendo a vermelha para indicar temperaturas mais altas (acima de 28°C), a verde para temperaturas mais agradáveis (entre 22°C e 28°C) e a azul para os considerados abaixo da média de conforto (abaixo de 22°C). O mesmo processo foi utilizado para representar os valores de humidade, em que a cor vermelha revela que a humidade se encontra abaixo da média recomendada pela OMS (abaixo de 40%), a verde que a humidade é agradável (entre 40% a 70%), e a laranja que está acima do nível de conforto (acima de 70%). Na Tabela 4, é feito um resumo do texto acima.

Os valores de temperatura foram baseados no ASHRAE Standard 5 [45], que indica que a temperatura de conforto no inverno situa-se entre 21°C e 25°C, enquanto que no verão é entre 22,8°C e 27,8°C.

Tabela 4: Escala das cores para a temperatura e humidade

Temperatura		Humidade	
Cor	Faixa da temperatura	Cor	Nível de humidade
Azul	< 22°C	Vermelho	< 40%
Verde	22°C - 28°C	Verde	40% - 70%
Vermelho	> 28°C	Amarelo	> 70%

De acordo, ainda, com a referida instituição, valores de humidade abaixo de 12% apresentam um risco para a saúde, sendo recomendável determinar-se a suspensão de atividades que exijam aglomerações de pessoas, em recintos fechados, como salas de aulas, cinemas, escritórios, entre às 10 e às 16 horas e a interrupção de atividades físicas, principalmente das 10 às 15 horas. Quando o valor de humidade se encontra acima dos 70%, aumenta o risco de proliferação de fungos e bactérias que causam alergias.

- **Funcionamento da Interface de visualização**

A interface desenvolvida permite visualizar o histórico dos dados, através da opção calendário, que se localiza no canto inferior esquerdo que, quando clicado, é aberto um calendário que permite a escolha do dia, mês e o ano. É também possível escolher a hora

através da barra de tempo. Os dados podem ser atualizados, em tempo real utilizando o botão real-time.

Foi colocado um rótulo em cada sala e, dependendo do modo de visualização selecionado, este indica o nome do sensor e o valor da variável em graus Celcius ou os níveis de humidade. A temperatura e humidade exterior são representadas pelo sensor204 próximo a esfera localizada no canto inferior esquerdo do modelo BIM.

Esta interface possui dois modos de visualização, correspondentes aos dados da temperatura e humidade. Quando é selecionado o modo de temperatura, é apresentada uma cor relacionada à temperatura para cada sala.

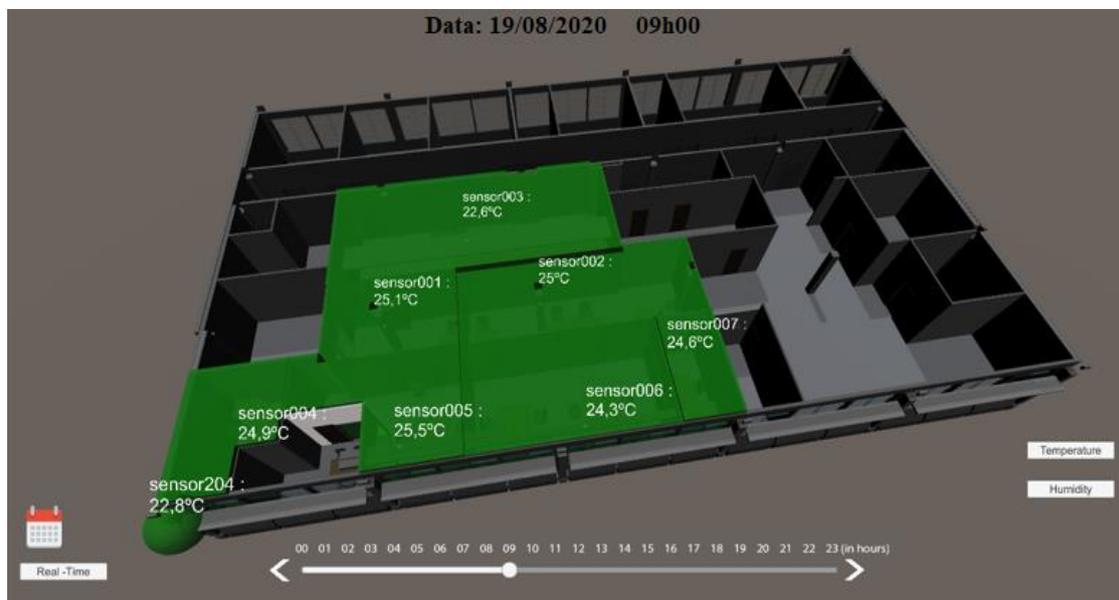


Figura 28: Interface de visualização para o utilizador

Na Figura 29, foi selecionado o modo de visualização da temperatura no qual, facilmente, se pode detetar quais as salas onde a temperatura está mais agradável.

Através desta interface de visualização, é possível reconhecer as salas que têm o sistema de climatização em funcionamento. Para tal, é necessário apenas uma simples análise procedendo-se à comparação dos valores de temperatura em cada sala.

Constata-se que o ar condicionado está ligado na sala onde se encontra o sensor007, pois esta indica a temperatura de 21,2°C, contrariamente a temperatura exterior que é de 31,5°C.

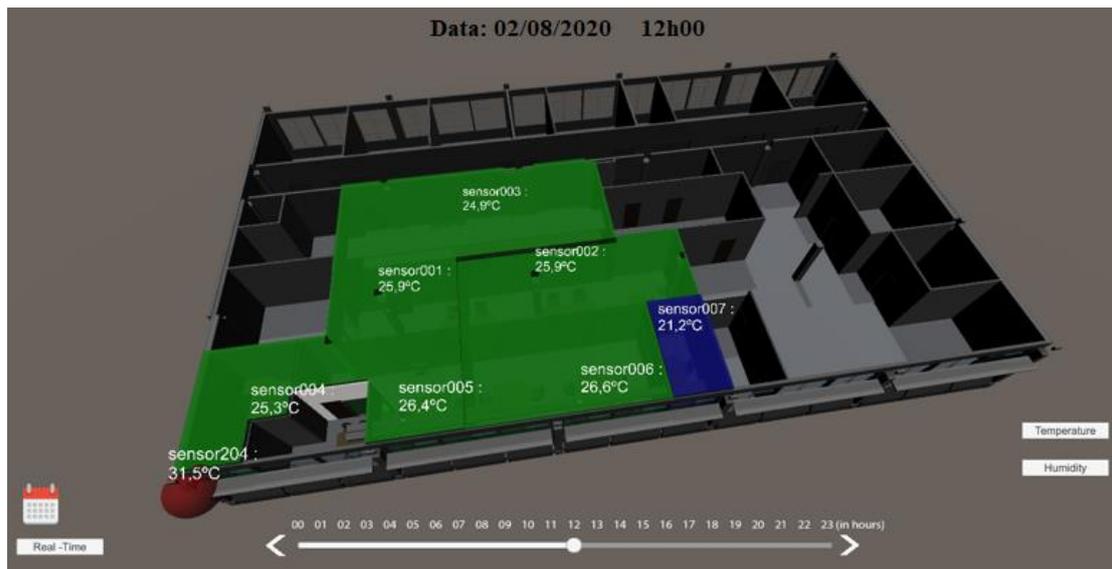


Figura 29: Interface de visualização para o utilizador com o modo temperatura selecionado

Na Figura 30, pode-se verificar que a sala onde se encontra o sensor 006 está representada pela cor vermelha, indicando que a temperatura no local está acima do padrão recomendado. Entretanto, a sala com o sensor004, a azul, está com a temperatura abaixo da média definida.

Uma vez que a temperatura da sala onde se encontra o sensor004 estava mais baixa que a temperatura exterior e das salas adjacentes, pode se deduzir que o ar condicionado estava ligado neste período.

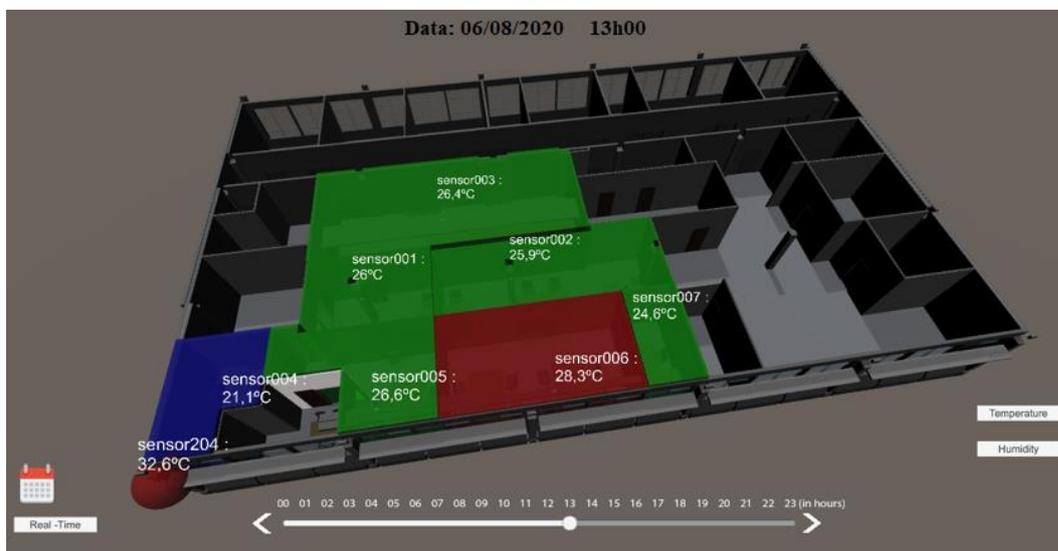


Figura 30: Interface de visualização para o utilizador com o modo temperatura selecionado

Este tipo de visualização pode ser utilizado para se tentar evitar desperdícios desnecessários de energia. Se for feita uma comparação entre a temperatura exterior e interior, é possível determinar se ao abrimos a janela a temperatura interior ficará como

o desejado. Caso se pretenda que a sala fique mais fria, e se verificar que a temperatura exterior está mais baixa do que a interior, pode-se abrir a janela reduzindo-se o uso do ar condicionado.

O mesmo caso acontece para os sistemas de aquecimento. Se pretendermos aumentar a temperatura da sala e, verificarmos que a temperatura exterior está mais elevada do que a interior, evitar-se-á o uso do sistema de aquecimento e optar-se-á por abrir as janelas. São as pequenas atitudes que nos permitem evitar o consumo exagerado de energia.

Dado que estavam com temperatura acima do valor definido, as duas salas estão representadas com a cor vermelha, como ilustra a Figura 31.

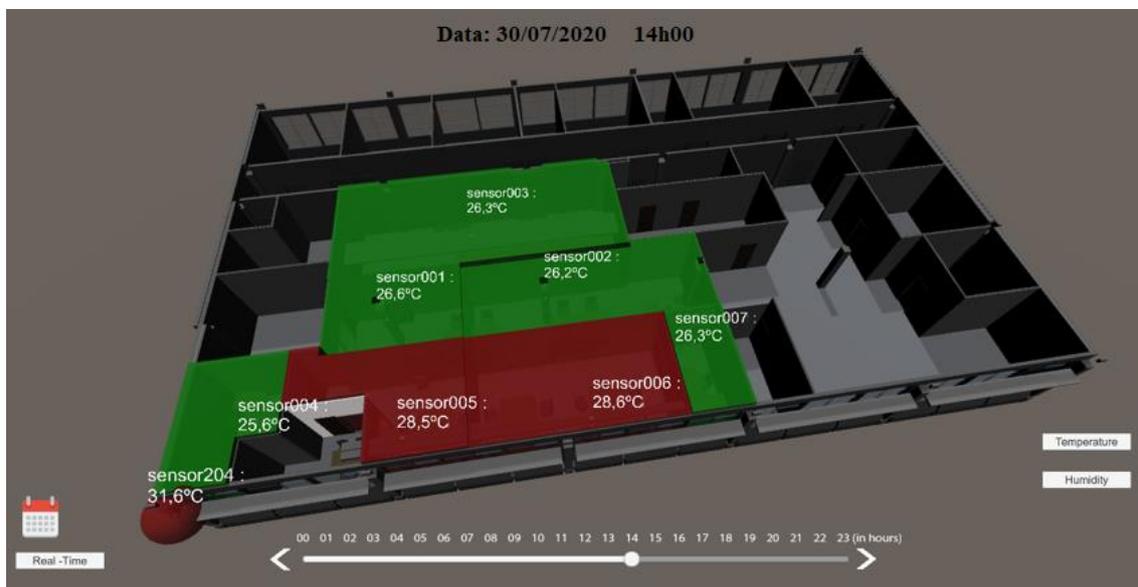


Figura 31: Interface de visualização para o utilizador com o modo temperatura selecionado

Na Figura 32, foi selecionado o modo de visualização da humidade. Neste é apresentado a interface que indica os valores da humidade relativa para cada sala, dando ao utilizador a possibilidade de inferir da sala que está em melhores condições.

A sala onde está o sensor002, a vermelho, mostra que o valor da humidade está fora da faixa de conforto que foi definida neste trabalho. Esta cor indica que o ar está muito seco. As salas representadas a verde, revelam que o valor da humidade se encontra dentro dos parâmetros estabelecidos.

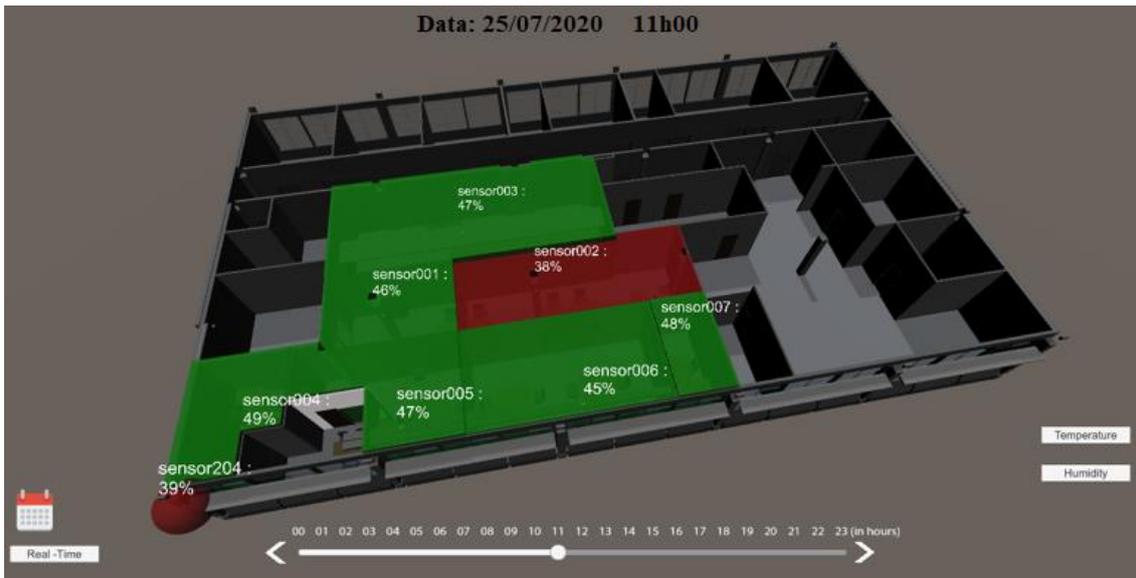


Figura 32: Interface de visualização para o utilizador com o modo humidade selecionado

Na Figura 33, três salas encontram-se representadas a amarelo, pois o ar está muito húmido, acima de 70%

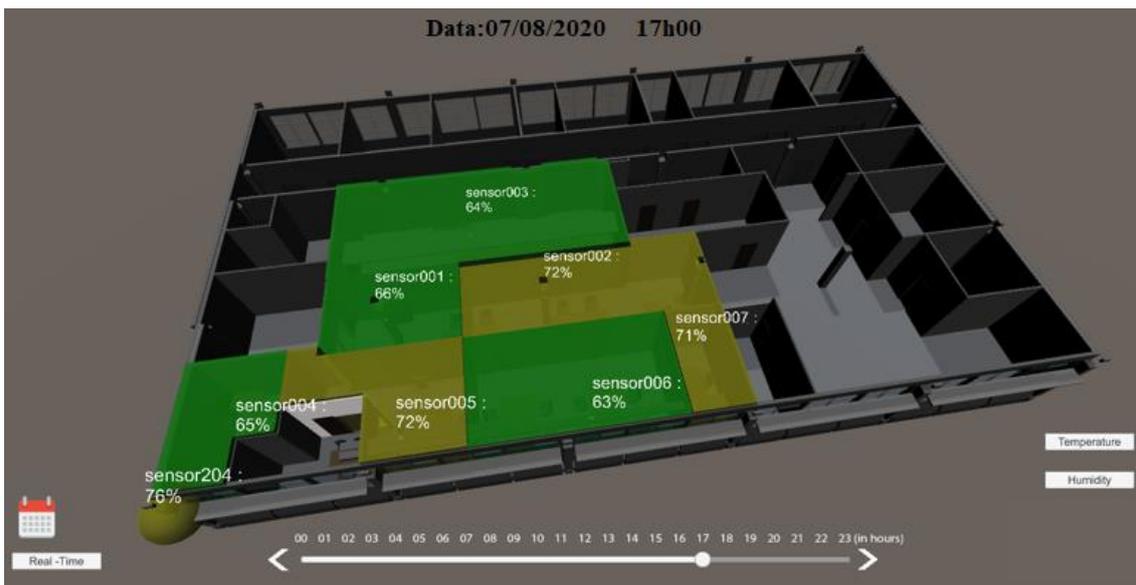


Figura 33: Interface de visualização para o utilizador com o modo humidade selecionado

A visualização por cores, auxilia aos utilizadores leigos, sem muitos conhecimentos técnicos em certa área, a perceberem o que se a passar ou, o que indica tal número, pois no dia a dia nos deparamos com vários números que as vezes não sabemos o seu significado.

A representação de informações por cores tende a ser mais fácil de interpretar e não requer tantos recursos mentais para serem compreendidas, o que pode resultar numa tomada de decisão mais rápida e eficiente.

Com base num procedimento de codificação por cores, os valores de temperatura e humidade foram codificados consoante as faixas de conforto definidas previamente, no qual a cor vai alterando de acordo com os valores obtidos.

No que diz respeito aos dados recolhidos detetámos algumas anomalias, principalmente, com o valor da humidade relativa, onde as salas mais próximas às janelas apresentavam melhores valores de humidade em relação as outras salas. Isto pode acontecer por estas estarem mais próximas às janelas e terem melhor circulação do ar.

Em relação aos valores de temperatura verificou-se que as salas onde têm mais funcionários a trabalhar, em simultâneo, e mais computadores a funcionarem, tendem a ter a temperatura um pouco acima em relação as outras salas monitorizadas.

Comparando a temperatura no interior das salas monitorizadas com a temperatura exterior, constatou-se que quase sempre a interior era inferior a exterior entre 3 e 5 graus abaixo.

Os dados da temperatura e humidade exterior foram recolhidos através dos sensores LoRa Lansitec desenvolvidos em um outro trabalho [7]. Estes sensores foram instalados ao redor do Campus do ISCTE, com base no departamento de sustentabilidade e arquitetura da universidade.

4.2 Laboratório de IoT

Em Março de 2020, instalou-se o protótipo no laboratório de IoT, conforme ilustra a Figura 34, de modo a realizar-se os primeiros testes para análise do sistema SMCA. Foi assim, possível, recolher dados de temperatura, humidade e luminosidade. Infelizmente, por motivo desconhecido, os sensores pararam de recolher dados e, por consequência, só conseguimos obter dados de 3 meses. Devido pandemia do coronavírus, e a situação em que nos encontrávamos não foi possível substituir os sensores e por a funcionar por mais tempo.



Figura 34: Posição em que o protótipo foi instalado no laboratório

A ferramenta Power BI funciona como uma plataforma de visualização auxiliar e foi utilizada para apresentar as informações relativas aos dados recolhidos, neste período, das condições ambientais do laboratório. Para tal, foram criados *dashboards*, que apresentam uma interface gráfica compressível pela maioria dos utilizadores.

Todos os dados recolhidos pelos sensores podem ser observados selecionando o mês e o dia, utilizando a barra do calendário, com vista a permitir que os utilizadores possam visualizar o histórico dos dados recolhidos. Isto viabiliza a realização de uma análise mais aprofundada dos dados na tentativa de: criar formas alternativas para melhorar o conforto da sala, verificar o que está errado em relação as variáveis recolhidas e como as condições ambientais externas influenciam a temperatura e humidade no interior da sala.

Em [46], os autores concluíram que, para além do número de pessoas que utilizam cada sala, os materiais de construção dos edifícios podem ter diferentes capacidades de reter calor e, portanto, aumentar ou diminuir o tempo de aquecimento ou arrefecimento do edifício. Além disto, a posição do edifício tem um grande impacto dentro do ambiente, pois as frentes mais expostas à luz solar tendem a aquecer mais rapidamente do que as outras. Concluiu-se também que a interação humana pode reduzir o impacto destes fatores, como por exemplo, abrir as janelas quando a temperatura exterior é mais confortável que a temperatura interior.

4.2.1 Relatório sobre os dados recolhidos

Na Figura 35, apresentamos o ecrã principal de visualização dos *dashboards* desenvolvidos. Este apresenta 3 botões, cada um referente a uma das variáveis

referenciadas neste trabalho. Quando clicados, é aberta outra janela onde estarão armazenadas informações detalhadas dos dados coletados.

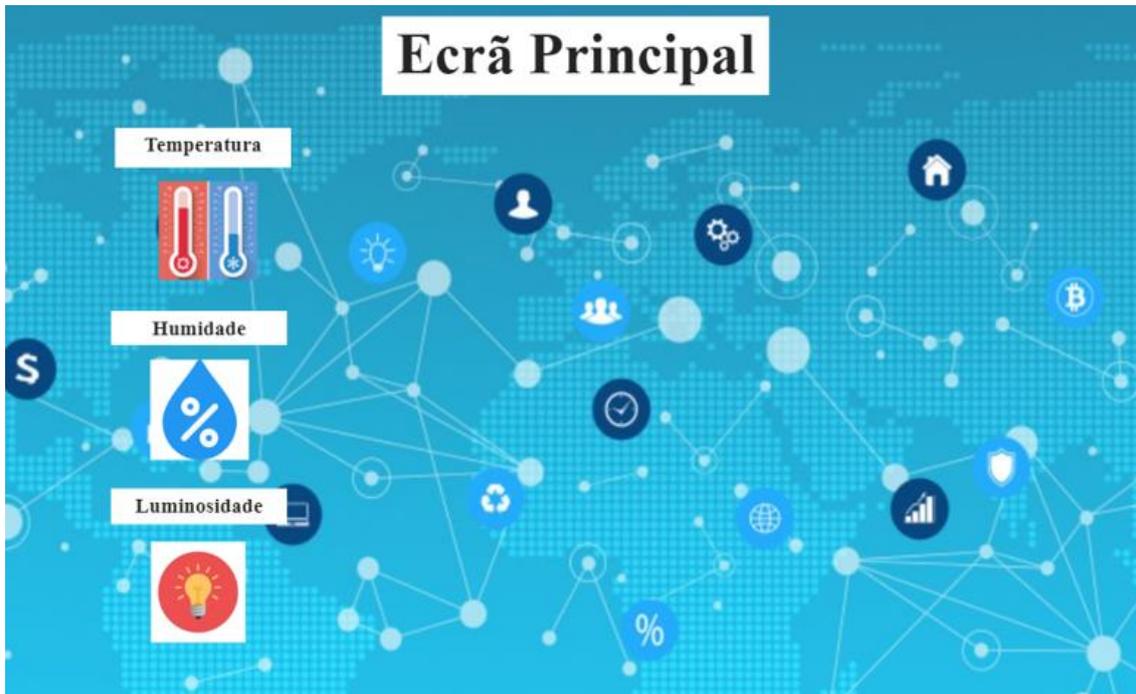


Figura 35: Ecrã principal de visualização dos *dashboards*

- **Temperatura**

De acordo com a Figura 36, ao analisarmos o gráfico dos valores da temperatura máximos e mínimos registados em cada dia, é possível verificar que a temperatura exterior tem uma variação significativa comparativamente a do interior da sala. Esta é relativamente constante, nunca abaixo de 17°C e nunca acima de 26°C, enquanto que a temperatura exterior atingiu menos de 8°C e mais de 35°C.

Assim e, perante estes dados, constatamos que a temperatura, dentro da sala, tende a manter-se constante não sofrendo muita interferência da temperatura exterior que, como já referimos, tem várias alterações durante o dia.

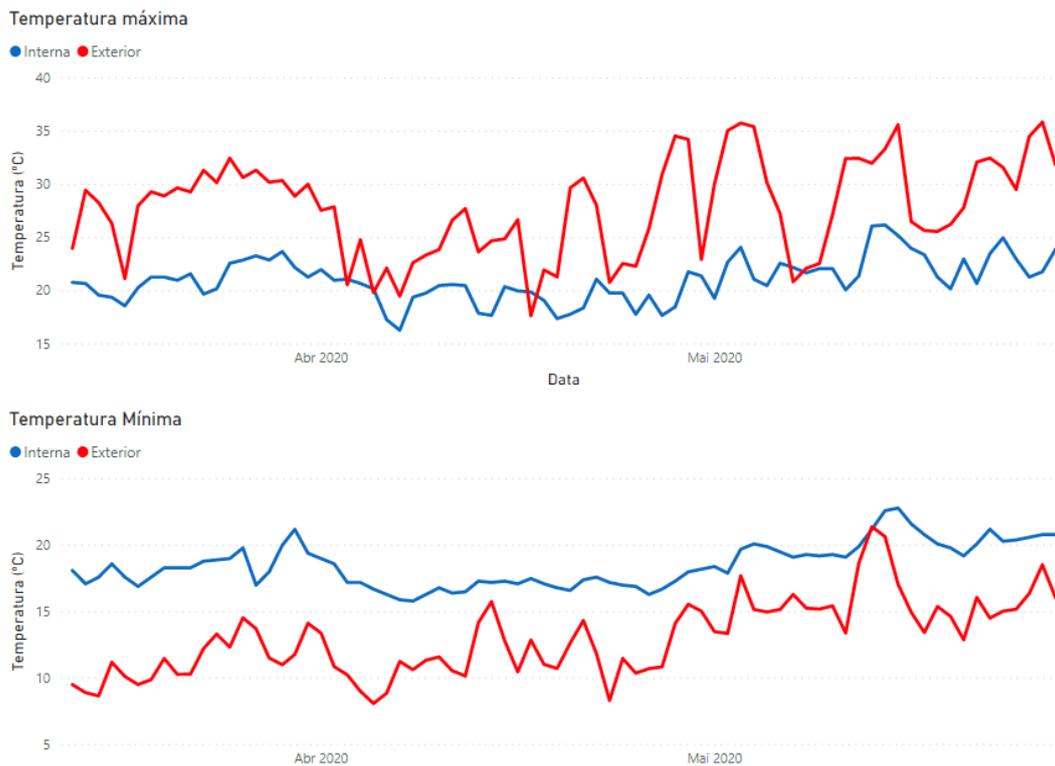


Figura 36: Diferença da temperatura máxima e mínima diária entre a temperatura exterior e interior

Em relação a média da temperatura interior, pode-se concluir que esta não sofre tantas alterações em comparação com a temperatura externa. Verifica-se que as médias diárias mais baixas e elevadas são da temperatura exterior, onde esta sofre algumas variações durante o dia, como se pode ver na Figura 37.

Relativamente a média da temperatura interna, não observamos grandes alterações. Verificamos, face ao apresentado na figura 37, que as médias diárias mais baixas e elevadas são da temperatura exterior, devido a algumas alterações verificáveis ao longo do dia.



Figura 37: Média da temperatura interior e exterior

Para se analisar a informação detalhada de cada dia, foram criados *tooltips*. Este tem a função de abrir uma janela separada onde apresenta mais dados sobre cada dia. Ao passar o cursor do mouse, por cima das linhas do gráfico sem precisar clicar, é aberta uma janela que contém informação adicional sobre cada dia. É possível a verificação da data, da temperatura mínima interna e externa registada neste dia, como ilustra a Figura 38. Os valores mais baixos da temperatura interna e externa, a cada hora, são representados no gráfico adicional. O mesmo processo foi realizado para:

- Temperatura média por dia;
- Temperatura máxima registada do dia;
- Humidade máxima registada do dia;
- Humidade mínima registada do dia;
- Humidade media por dia.

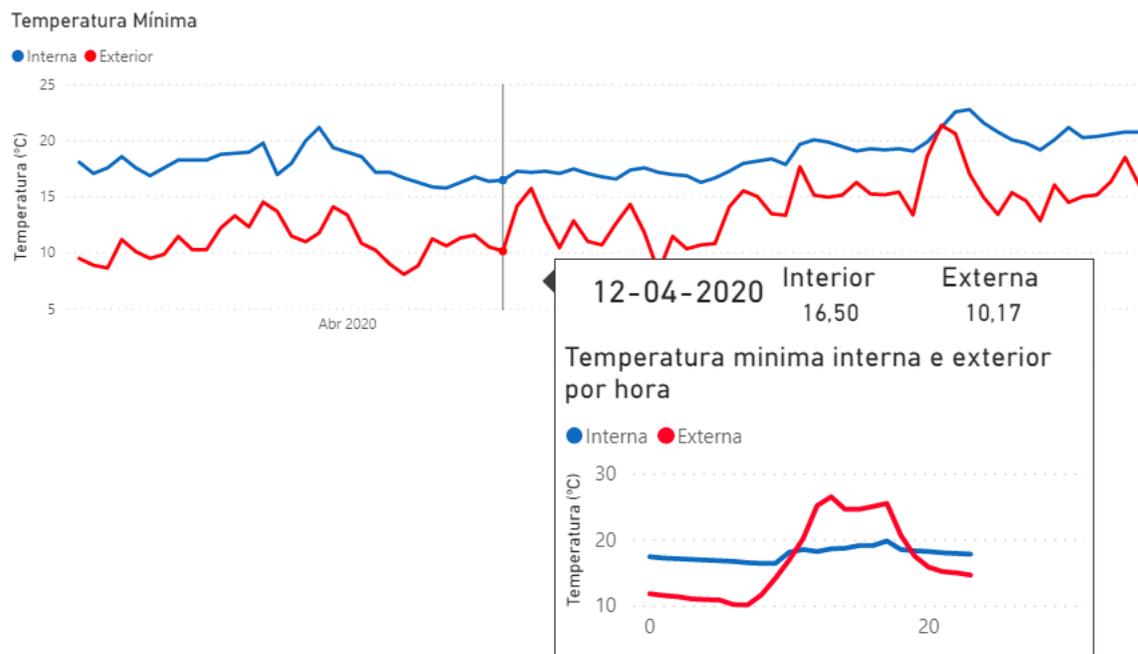


Figura 38: Temperatura mínima a cada hora

- **Humidade**

Na Figura 39, observamos que os valores mais elevados e os mais baixos alcançados, por cada dia, são da humidade externa e o seu nível, dentro da sala, tende a sofrer menos alterações.

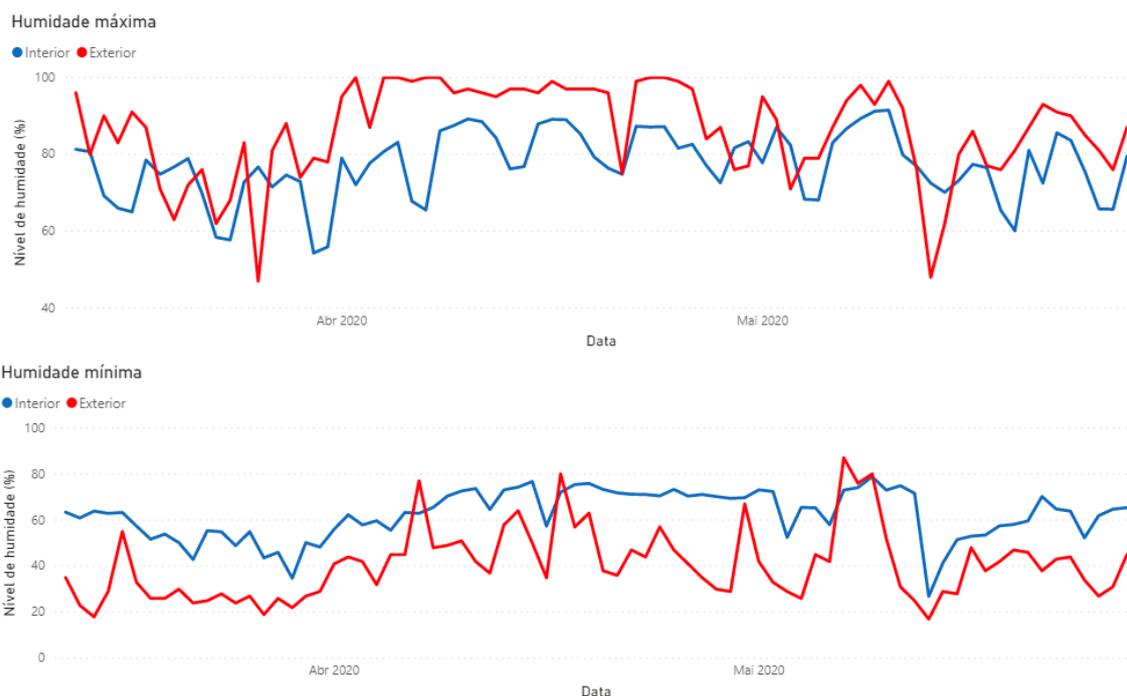


Figura 39: Diferença da humidade máxima e mínima a cada dia entre a temperatura exterior e interior

A Figura 40, apresenta-nos o gráfico da média de humidade diária. Verificou-se que durante 2 dias a média de humidade externa esteve abaixo dos 40%. Analisando os dados recolhidos, pode-se concluir que a humidade da sala esteve, quase sempre, no nível recomendado pela OMS.

Dos 3 meses em análise, o mês de abril foi o que apresentou níveis mais elevados de humidade relativa do ar, havendo dias que atingia os 100%. Os níveis de humidade verificados no mês de abril provam que este mês é um dos mais chuvosos em Portugal dado que a elevada quantidade de vapor de água na atmosfera favorece a ocorrência de chuvas.

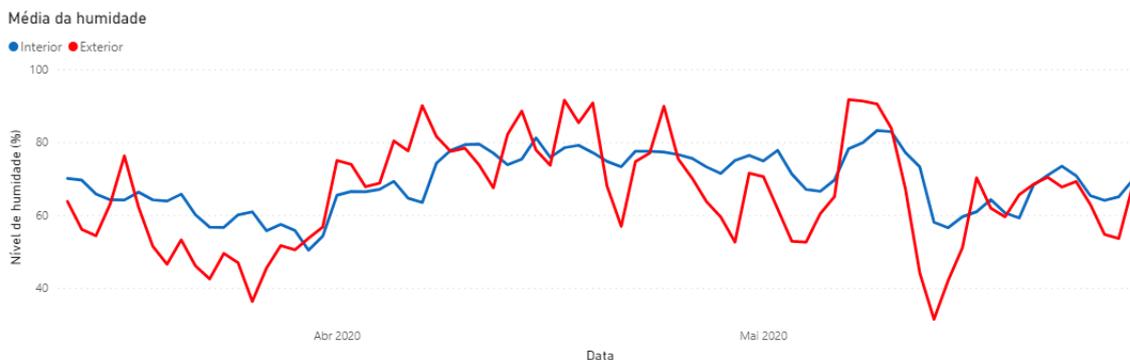


Figura 40: Média diária da humidade interior e exterior

- **Luminosidade**

A iluminação da sala pode ser obtida de forma natural ou artificial. Se a sala receber luz natural durante o dia e esta for suficiente para realizar as atividades cotidianas, não é necessário o consumo de energia elétrica em iluminação artificial.

Através dos dados recolhidos e, considerando que a sala possui duas janelas que permitem a entrada de luz solar durante o dia, não nos permite saber, concretamente, se a iluminação provém de fonte natural ou artificial. No entanto, à noite já é possível perceber-se se o sistema de iluminação esteve em funcionamento. Isto viabiliza a deteção de anomalias como, por exemplo: saber se o sistema de iluminação ficou em funcionamento em horários impróprios para o uso da sala a noite.

Na Figura 41, pode-se verificar qual o nível de luz de um dia normal de funcionamento desta sala. Esta começa a receber luz natural a partir das 7 horas e o seu valor mantém-se, na generalidade, constante até as 18 horas altura em que começa a anoitecer e a luz solar a diminuir.

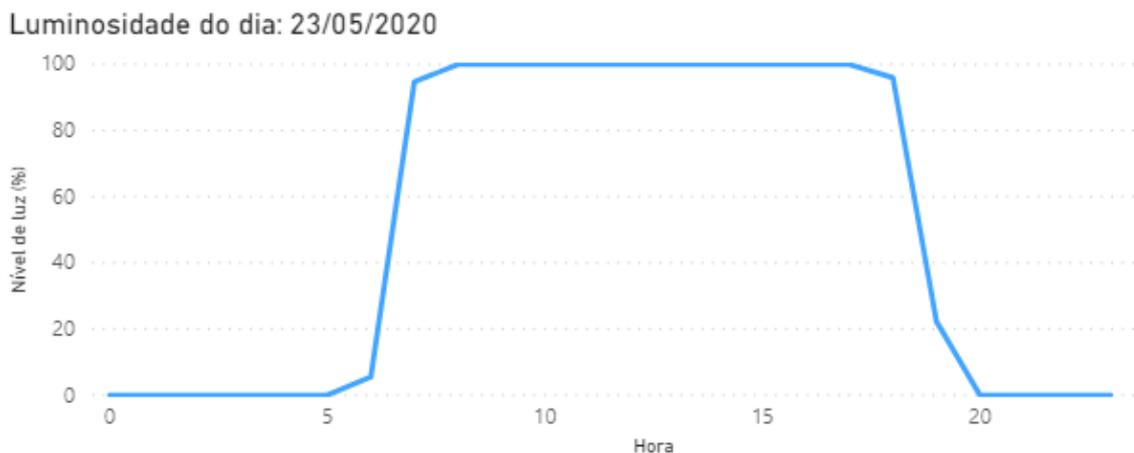


Figura 41: Nível de luminosidade de um dia normal

Entre o dia 25 e 26 de maio, verificou-se um comportamento irregular do nível de luz no interior da sala, como ilustra a Figura 42. Observa-se que, praticamente, nos restantes dias do mês, o nível de luz baixa a 0% depois das 21 horas o que indica que não há nenhuma fonte de iluminação artificial ou natural. Porém, não foi isso que ocorreu neste dia onde, por algum motivo, o sistema de iluminação permaneceu em funcionamento durante toda noite.



Figura 42: Nível de luminosidade de um dia incomum.

4.1.Orçamento

Na Tabela 5, observa-se o custo dos equipamentos necessários para cada protótipo desenvolvido. Cada caixa do protótipo tem um custo de 54€.

Tabela 5: Custo dos materiais para cada protótipo

Quantidade	Descrição	Preço
1	Microcontrolador LoRa	15€
1	Sensor DHT22	8€
1	Sensor GL5528	2€
1	Bateria de LiPo	14€
1	placa de circuito perfuradora	0,5€
1	Caixa portátil	2 €
Total		41,5 €

Capítulo 5 – Conclusões

Nesta dissertação foi desenvolvido um sistema IoT de monitorização das condições ambientais tais como temperatura, humidade e luminosidade, com vista a dar melhor perceção aos utilizadores das condições ambientais de determinados locais a partir de interfaces de visualização de dados personalizados.

No que diz respeito aos objetivos deste trabalho, pode-se concluir que estes foram alcançados. Primeiro porque o sistema desenvolvido consegue fazer a recolha de dados e posteriormente, apresentá-los de forma fácil e simples para que qualquer utilizador possa visualizar.

O modelo BIM permite a representação de dados em um processo de visualização baseado em cores, o que aumenta a perceção das pessoas. Este tipo de visualização é um método diferente de transmitir as informações para as pessoas, visto que para a maioria das pessoas é difícil entender números de assuntos que não conhecem e as cores tendem a ser mais fáceis de interpretar sem levar muito tempo.

Para este trabalho utilizou-se este método de visualização para representar as variáveis de temperatura e humidade, no entanto, esta técnica pode ser implementada em várias outras atividades que apresentam uma grande quantidade de dados, que muitas pessoas não percebem à primeira vista.

Quanto aos *dashboards* desenvolvidos, foi possível analisar o comportamento da temperatura e humidade exterior relativamente a temperatura e humidade no interior da sala. Relativamente ao nível de luz dentro da sala, detetamos algumas anomalias, como quando este permanecia elevado durante a madrugada, sendo que o ISCTE encerra às 22 horas.

Gostaríamos de destacar que este trabalho não cria melhorias por si só, mas sim tenta ajudar os utilizadores a perceber melhor algumas condições a sua volta, através da monitorização constante das variáveis ambientais e apresentação dos dados em interfaces de fácil interpretação.

Este trabalho juntamente com outros, foi um contributo para o Projeto Gulbenkian "University Community Engagement in Technologies for Sustainability: a Social Architecture ", que visa entre outros objetivos, melhorar o comportamento dos estudantes no campus universitário.

5.1 Trabalho futuro

Esta dissertação pode ter continuidade e servir, também, para o desenvolvimento de trabalhos futuros. A utilização deste método de visualização pode ser utilizada em outras áreas e, por isso, propomos algumas melhorias e ideias que poderão ser implementadas:

- Recolha de dados por um maior período para uma possível análise preditiva.
- Implementação do sistema em mais locais do ISCTE, o que permitirá criar mais modelos BIM com vista a fornecer informações aos estudantes sobre o nível de conforto térmico em determinados locais.
- Adicionar ao sistema sensores de movimento nas salas permitindo, assim, enviar um alerta ao gestor a informar que o sistema de iluminação e climatização está em funcionamento mesmo com a sala vazia.

Referências

- [1] B. Mataloto, J. C. Ferreira, R. Resende, R. Moura, and S. Luís, “BIM in people2people and things2people interactive process,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 20, no. 10, 2020.
- [2] S. Kalyuga, P. Chandler, and J. Sweller, “Managing split-attention and redundancy in multimedia instruction,” *Appl. Cogn. Psychol.*, vol. 25, no. SUPPL. 1, pp. 123–144, 2011.
- [3] I. Marincic, J. M. Ochoa, and J. A. Del Río, “Confort térmico adaptativo dependiente de la temperatura y la humedad,” *Archit. City Environ.*, no. 20, pp. 26–46, 2012.
- [4] S. Cloud, “Monitorização automatizada de temperatura e humidade no armazenamento de produtos farmacêuticos em farmácias e hospitais com o teste Saveris 2 .”
- [5] A. Sofia, “Condições ambientais nos laboratórios de aulas,” pp. 22–25, 2015.
- [6] J. Chen, R. Tan, G. Xing, and X. Wang, “PTEC: A system for predictive thermal and energy control in data centers,” *Proc. - Real-Time Syst. Symp.*, pp. 218–227, 2015.
- [7] D. A. L. dos Santos, “EnerMon: IoT Power Monitoring System for Smart Environments Diogo Alexandre Lopes dos Santos,” 2019.
- [8] R. F. Q. Henriques, “Desenvolvimento de um Sistema de Monitorização Remota do Consumo de Energia Elétrica e da Presença Humana em Edifícios,” 2012.
- [9] D. Kazado, M. Kavgic, and R. Eskicioglu, “Integrating building information modeling (BIM) and sensor technology for facility management,” *J. Inf. Technol. Constr.*, vol. 24, no. December 2018, pp. 440–458, 2019.
- [10] R. Attar, E. Hailemariam, S. Breslav, A. Khan, and G. Kurtenbach, “Sensor-enabled cubicles for occupant-centric capture of building performance data,” *ASHRAE Trans.*, vol. 117, no. PART 2, pp. 441–448, 2011.
- [11] L. Bottaccioli, A. Aliberti, and Ugliotti Francesca, “Building Energy Modelling and Monitoring by Integration of IoT Devices and Building Information Models,” *Proc. - Int. Comput. Softw. Appl. Conf.*, vol. 1, no. July, pp. 914–922, 2017.

- [12] H. Wang, A. Gluhak, S. Meissner, and R. Tafazolli, “Integration of BIM and live sensing information to monitoring building energy performance,” p. 9, 2013.
- [13] J. Farooq, P. Sharma, and R. Sreerama Kumar, “Applications of building information modeling in electrical systems design,” *J. Eng. Sci. Technol. Rev.*, vol. 10, no. 6, pp. 119–128, 2017.
- [14] V. Mota, “Eficiência Energética de Edifícios Hoteleiros Caso de Estudo : Estalagem Casa João Chagas - Constância,” 2014.
- [15] F. Miguel and O. Ramos, “Sistema de monitorização do consumo de energia,” 2016.
- [16] A. Inverno, “Unidade Hoteleira Do Algarve – Caso De Estudo Real,” 2015.
- [17] M. Gan and D. Ganh, “António Miguel Ganço Dias Ganhão Construção Sustentável - Propostas de melhoria da eficiência energética em edifícios de habitação,” 2011.
- [18] ADENE - Agência para a Energia, “Guia Da Eficiência Energética,” *Guia Da Eficiência Energética*, 2011.
- [19] A. Filipe and D. E. O. Monteiro, “Sistemas Inteligentes para melhoria da eficiência energética em edifícios,” 2017.
- [20] G. M. Waka, “Controle remoto de tomadas elétricas baseado nos conceitos da Internet das coisas,” 2015.
- [21] L. S. Del Rio, J. O. B. S. Silva, M. da S. de Azevedo, É. P. Pereira, I. A. Fischer, and R. D. Medina, “Proposta De Ambientes Inteligentes Iot Sob a Ótica Da Eficiência Energética,” no. November, pp. 185–193, 2019.
- [22] M. Burhan, R. A. Rehman, B. Khan, and B. S. Kim, “IoT elements, layered architectures and security issues: A comprehensive survey,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 18, no. 9, 2018.
- [23] B. S. Chaudhari, M. Zennaro, and S. Borkar, “LPWAN technologies: Emerging application characteristics, requirements, and design considerations,” *Futur. Internet*, vol. 12, no. 3, 2020.
- [24] ABIresearch for visionaries, “LORAWAN and NB-IOT : More LoRa Devices Than NB-IoT,” 2019.

- [25] Technical Marketing Workgroup, “Overview LoRa and LoRaWAN,” *LoRa Alliance*, no. November, 2015.
- [26] K. Mekki, E. Bajic, F. Chaxel, and F. Meyer, “A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment,” *ICT Express*, vol. 5, no. 1, pp. 1–7, 2019.
- [27] Tudo sobre IoT, “LoRa: Topologia de Rede.” [Online]. Available: <https://tudosobreiot.com.br/lora-topologia-de-rede/>. [Accessed: 20-Jan-2020].
- [28] D. A. E. Antunes, “Integração de modelos BIM com redes de sensores num edifício,” 2013.
- [29] F. A. Machado and R. C. Ruschel, “Soluções integrando BIM e Internet das Coisas no ciclo de vida da edificação: uma revisão crítica,” *PARC Pesqui. em Arquitetura e Construção*, vol. 9, no. 3, pp. 240–258, 2018.
- [30] ScanTherm, “Heat Loss from Commercial Buildings.” [Online]. Available: <https://www.scantherm.co.uk/thermal-imaging-surveys/commercial-building-heat-loss/>. [Accessed: 05-Mar-2020].
- [31] B. Dave, A. Buda, A. Nurminen, and K. Främling, “A framework for integrating BIM and IoT through open standards,” *Autom. Constr.*, vol. 95, no. August 2017, pp. 35–45, 2018.
- [32] L. Sabol, “BIM Technology for FM,” *BIM Facil. Manag.*, pp. 17–45, 2018.
- [33] F. A. Machado, “Implementation of a BIM / IoT solution for the building energy management support,” no. August, 2019.
- [34] Arduino, “Getting Started with the Arduino MKR WAN 1300.” [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Guide/MKRWAN1300>. [Accessed: 28-Nov-2019].
- [35] Arduino, “Arduino MKR WAN 1310.” [Online]. Available: <https://store.arduino.cc/mkr-wan-1310>. [Accessed: 02-Feb-2020].
- [36] L. Specifications, “LoRa32u4II,” 2017. [Online]. Available: <https://www.nettigo.pl/>. [Accessed: 11-Oct-2019].
- [37] Pleva GmbH, “Temperature sensor,” *Melliand Textilberichte*, vol. 76, no. 12, p. 1112, 2015.

- [38] S. Wiki, “Grove - Temp and Humi Sensor(SHT31),” 2019. [Online]. Available: https://wiki.seeedstudio.com/Grove-TempAndHumi_Sensor-SHT31/. [Accessed: 18-Nov-2019].
- [39] Amazon, “Waveshare DHT22 Temperature.” [Online]. Available: <https://www.amazon.com/DHT22-Temperature-Humidity-Sensor-Temperature-Measurement/dp/B0125VHPZE>.
- [40] Seeed, “Grove - Light Sensor v1.2 - LS06-S phototransistor.” [Online]. Available: <https://www.seeedstudio.com/Grove-Light-Sensor-v1-2-LS06-S-phototransistor.html>. [Accessed: 12-Jan-2020].
- [41] P. Henrique and M. Pereira, “Desenvolvimento de dispositivo de sensoriamento para cidades inteligentes usando o padrão LoRaWAN,” *Acta Bot. Brasilica*, vol. 10, no. 2, pp. 421–425, 1996.
- [42] Node-RED, “What is Node-RED.” [Online]. Available: <https://nodered.org/>. [Accessed: 20-Feb-2020].
- [43] R. P. Foundation, “Raspberry Pi 4.” [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.org/>. [Accessed: 05-Jan-2020].
- [44] Microsoft, “Power BI.” [Online]. Available: <https://docs.microsoft.com/pt-pt/power-bi/fundamentals/power-bi-overview>. [Accessed: 15-Apr-2020].
- [45] S. C. Turner, G. Paliaga, B. M. Lynch, E. A. Arens, and Aynsley, “Receivables Turnover Ratio,” *Encycl. Financ.*, vol. 2010, pp. 227–227, 2010.
- [46] B. O. and H. Elsharkawy, Assessing overheating risk and thermal comfort in state-of-the-art prototype houses that combat exacerbated climate change in UK,” *Energy Build*. 2019.

Anexo

Paper 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 countries 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.

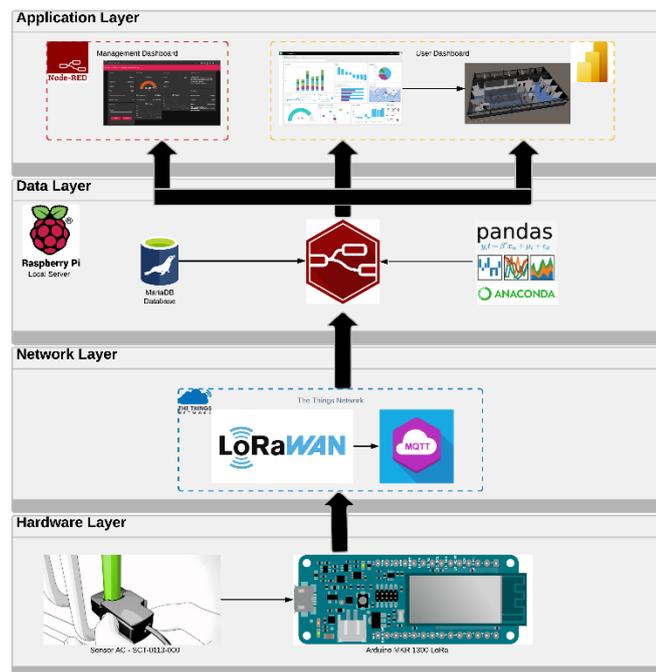


Figure 1 - Architecture and constitution of the IoT system.

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.

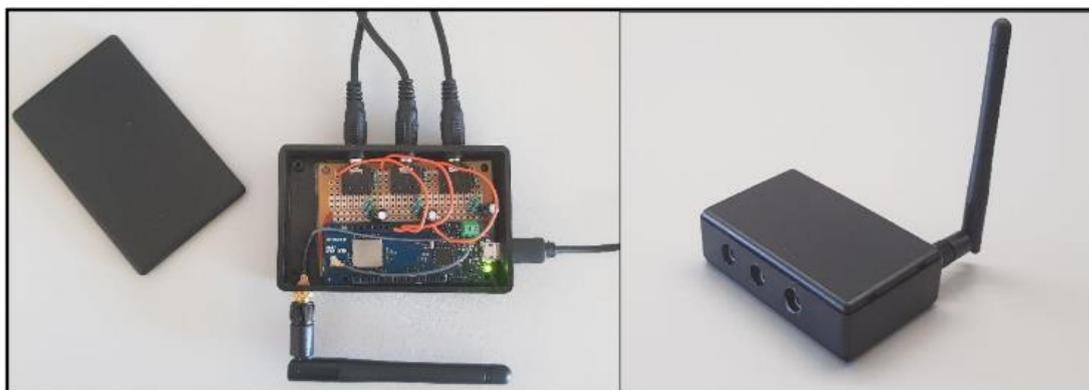


Figure 3 - Prototype of three-phase current IoT sensor.

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.

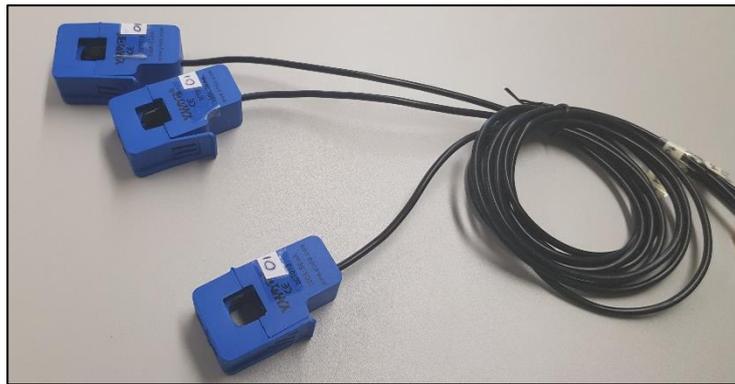


Figure 4 - Three TC SCT-013-000 Sensors used to measure three-phase current.

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.

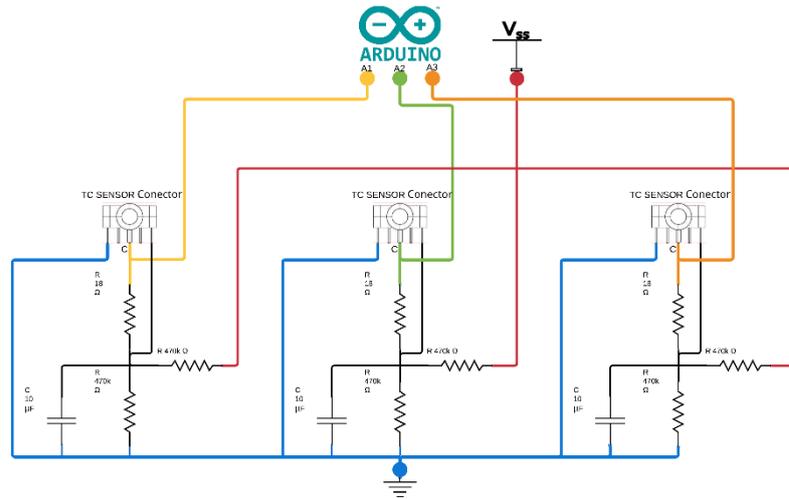


Figure 5 - Three-phase sensor circuit diagram.

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.

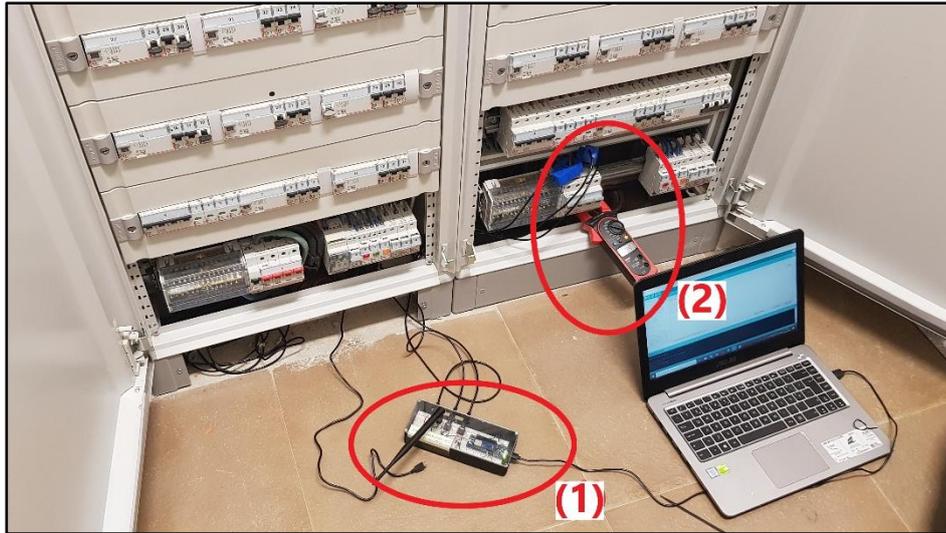


Figure 6 - Deployment of energy sensors.

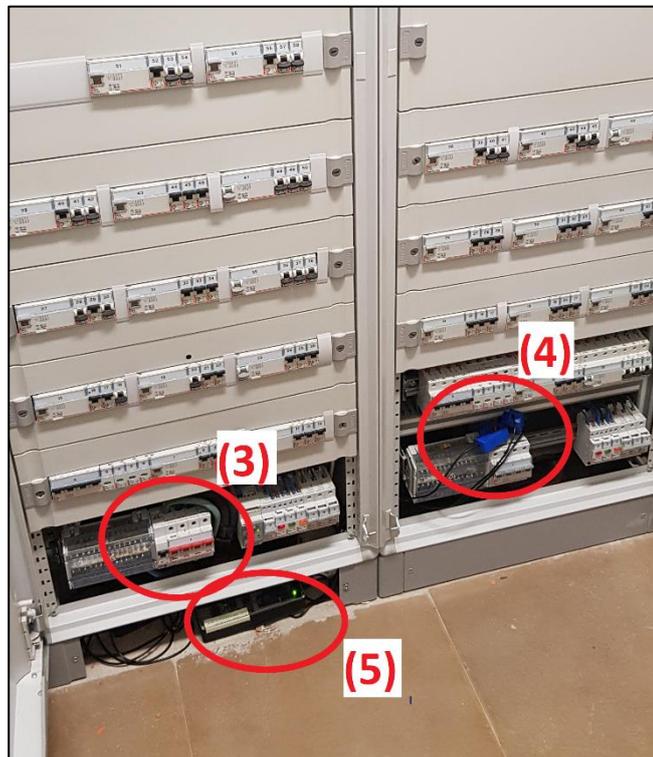


Figure 7 - Sensors in operation and transmitting data to the IoT system.

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.

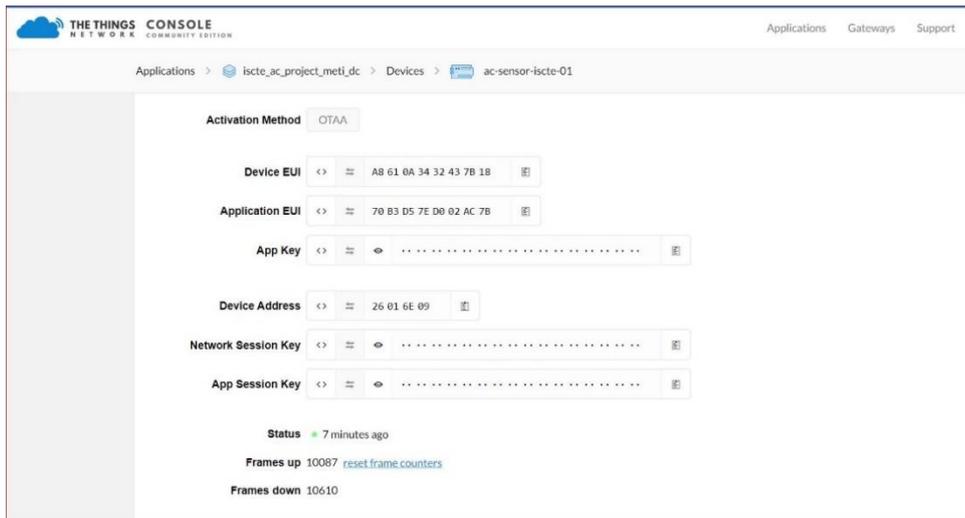


Figure 8 - TTN Console: Encryption keys for communication between the microcontroller and the LoRa gateway.

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.

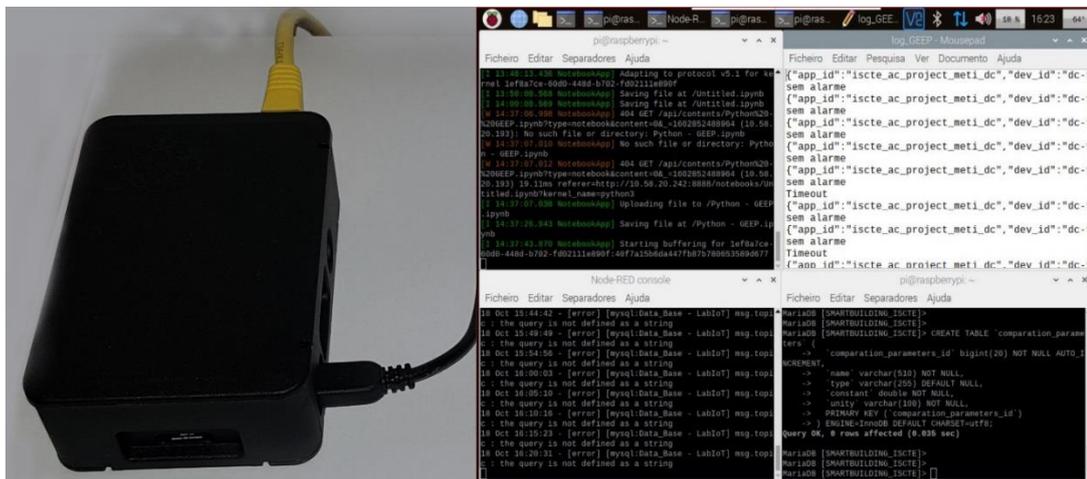


Figure 9 - Server and Application Features from the server.

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.

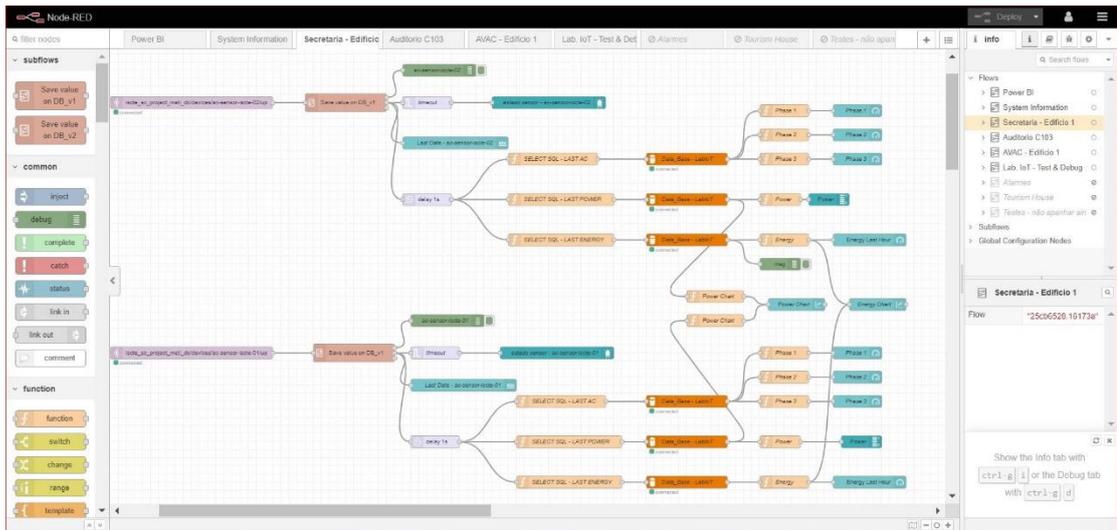


Figure 10 - Example of programmable flow in Node-RED.

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.

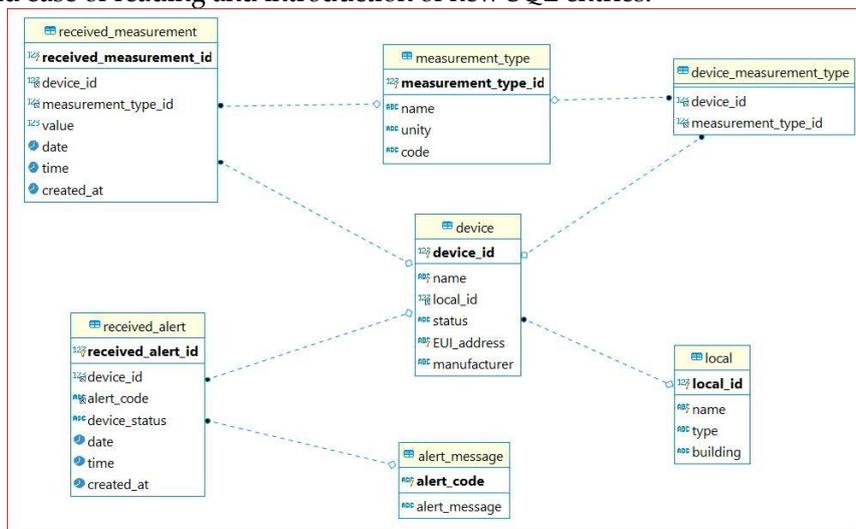


Figure 11 - SMARTBUILDING_ISCTE Data Base - Entity Relationship Diagram.

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). It also presents 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.

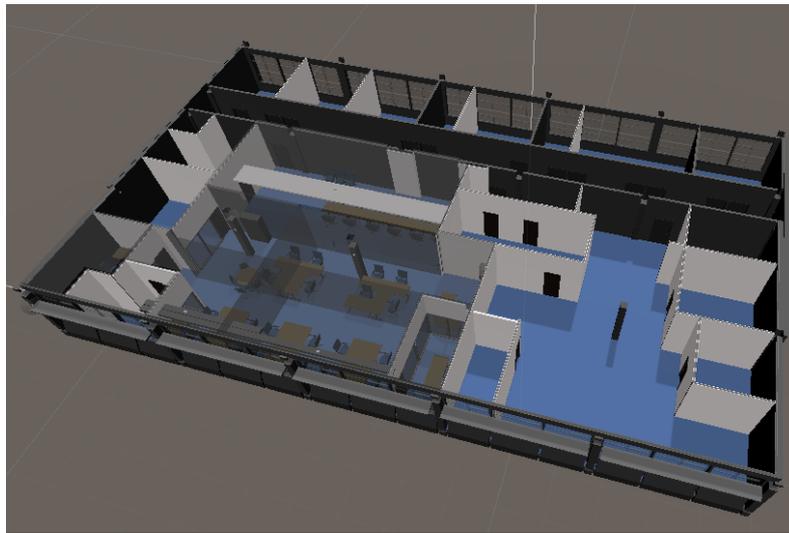


Figure 12 - BIM Model of Academics Services.

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 analyse 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 6 - 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.

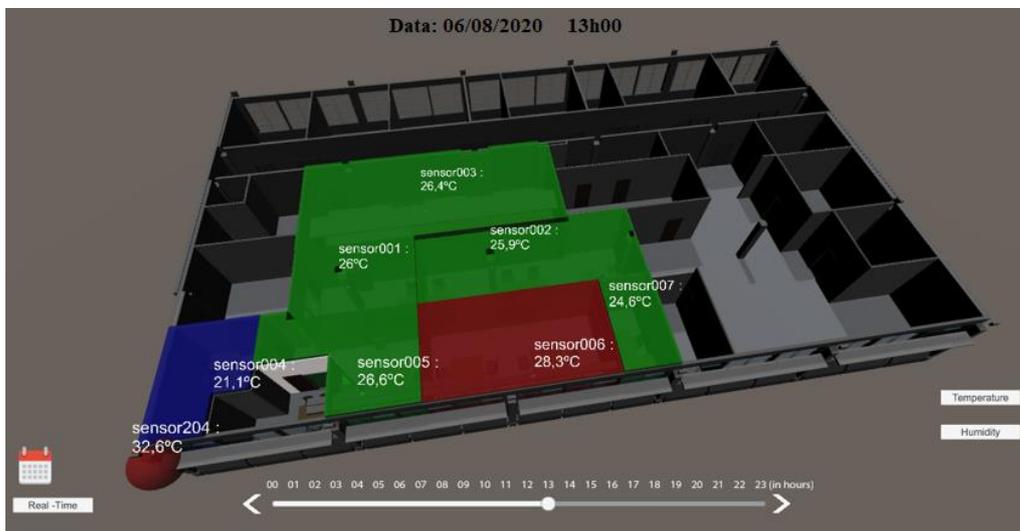


Figure 13 - Display interface for the user with the selected temperature mode.

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%.

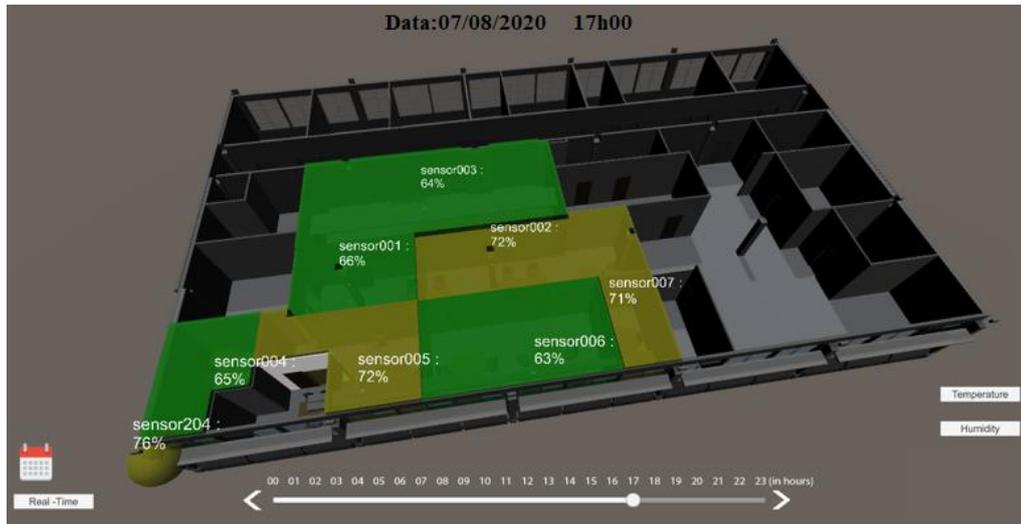


Figure 14 - Display interface for the user with the selected humidity mode.

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 7, a summary of the above text is made.

Table 7 - 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.

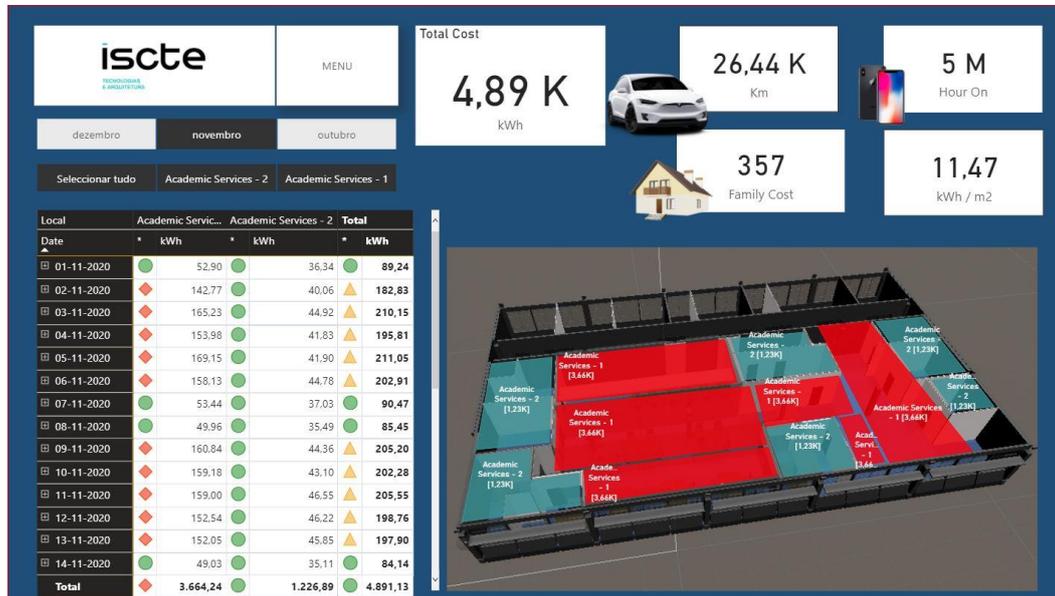


Figure 15 - BIM model of the energy consumption of the Academic Services of ISCTE-IUL.

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 were 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 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. Gözl 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. Sheldon, 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. Dalmaso, 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 Brasílica*, 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/>).