

UCO-PEEKING: Sistema IoT para Automatização da Recolha de Óleos Alimentares Usados

Universidade Fernando Pessoa



Nilsa Santos Melo

Faculdade de Ciência e Tecnologia

Universidade Fernando Pessoa

Tese submetida para obtenção do grau de

Mestre em Engenharia Informática, ramo Computação Móvel

2021

Resumo

Os Óleos Alimentares Usados **OAU**, vulgarmente resultantes dos processos de confeção culinária, têm efeitos nocivos para a saúde e para o ambiente em geral. No entanto estes resíduos podem ser reutilizados como biocombustíveis, motivando por isso o surgimento de soluções de recolha, particularmente os provenientes de contextos domésticos, uma vez que podem ser reciclados em maior escala.

Existem atualmente redes de pontos de recolha a nível nacional **RENO**, contudo, a grande maioria do óleo alimentar usado, produzido em ambiente doméstico, ainda não é recolhido, continuando portanto a ser descartado indevidamente e sem entrar nos processos de reciclagem. Adicionalmente, nem todos os depósitos que entram nas redes de recolha são totalmente recicláveis uma vez que os utilizadores depositam por vezes outros líquidos (e.g. água, óleos usados de carro) que não podem entrar nos processos de reciclagem dos **OAU**.

Com vista a melhorar a eficiência e a taxa de utilização das redes de recolha existentes, propõe-se neste trabalho um sistema **IoT** que permite automatizar a classificação dos depósitos de óleo alimentar usado, bem como a sua associação a utilizadores registados, aos quais poderão desta forma ser atribuídas bonificações sempre que é detetado um depósito fidedigno.

Neste projeto foram portanto estudadas formas de automatizar a recolha e identificação de **OAU**, por forma a distinguir depósitos fraudulentos. Pretendeu-se em concreto conseguir distinguir **OAU** de outros líquidos vulgarmente encontrados em depósitos nas redes de recolha, tais como, óleo de automóvel usado e água. Mais concretamente, foram estudados, analisados e combinados vários tipos de sensores que pudessem ser utilizados para diferenciar de forma automática os tipos de líquidos depositados nos oleões de recolha. Com base nesses sensores e recorrendo à fusão de informação proveniente das várias fontes, foi possível obter uma forma automática de diferenciação dos líquidos depositados. A integração desta solução numa arquitetura **IoT** permite então automatizar e melhorar o processo de recolha e classificação de forma distribuída e global. Concomitantemente, associado à simplificação e facilidade de utilização da rede de recolha, desenvolveu-se um sistema de

gestão e atribuição de benefícios com o objetivo de sensibilizar a população para a reciclagem, e ainda facilitar e incrementar a sua utilização com base num programa de atribuição de pontos diretamente associado aos depósitos domésticos fidedignos de [OAU](#).

Abstract

Used cooking oils **OCU**, commonly resulting from cooking processes, have harmful effects on health and the environment in general. However, these residues can be reused as biofuels, thus motivating the emergence of collection solutions, particularly those from domestic contexts, since they can be recycled on a larger scale.

There are currently networks of collection points nationwide **RENO**, however, the vast majority of used cooking oil, produced in the domestic environment, is still not collected, and therefore continues to be improperly disposed without entering the recycling processes. Additionally, not all deposits entering the collection networks are fully recyclable as users sometimes deposit other liquids (e.g. water, used car oils) that cannot enter the **OCU** recycling processes.

In order to improving the efficiency and utilization rate of the existing collection networks, an IoT system is proposed in this work allowing to automate the classification of used cooking oil disposals, as well as their association with registered users, who can benefit from bonuses whenever a trustworthy deposit is detected.

In this project, ways were studied to automate the collection and classification of **OCU**, in order to distinguish fraudulent deposits. The aim was specifically to distinguish **OCU** from other liquids commonly found in disposals in the **OCU** collection networks, such as used car oil and water. More specifically, various types of sensors that could be used to automatically differentiate the types of liquid deposited in the collection oils were studied, analyzed and combined. Based on these sensors and using the fusion of information from various sources, it was possible to obtain an automatic way of differentiating the deposited liquids. The integration of this solution in an IoT architecture allows then to automate and improve the collection and classification process in a distributed and global way. At the same time, associated with the simplification and ease of use of the collection network, a management and benefit allocation system was developed with the aim of raising awareness among the population about recycling, and also facilitating and increasing its use based on an allocation program of points directly associated with the trusted domestic deposits of **OCU**.

Gostaria de dedicar esta dissertação aos meus pais, à minha família e ao meu
namorado.

Agradecimentos

Este documento representa o final de uma etapa importante da minha vida. Todo este ciclo acadêmico contribuiu para uma evolução tanto pessoal como profissional. Para a realização deste projeto foi necessário muito esforço e apoios que tornaram a sua concretização possível. Queria agradecer aos meus orientados Professor Doutor Rui Moreira e Professor Doutor Christophe Soares pelo apoio, disponibilidade, orientação e pelos conselhos transmitidos não só neste projeto, mas também ao longo do curso.

Um grande agradecimento as pessoas da Hardlevel pela oportunidade e experiência no mundo de trabalho, onde continuo a crescer e a aprender, nomeadamente ao Dr. Karim Karmali, ao Dr. Salim Karmali, ao Dr. Célio Carvalho, Dr. Armindo Carvalho e aos meus colegas Arnaldo Silva, Manuel Sá, Paulo Carvalho, Pedro Costa, Rui Catarino e Tiago Morais com quem trabalho, pela força que me deram nesta fase.

Quero também agradecer o apoio formal através do protocolo celebrado entre a Universidade Fernando Pessoa e a Hardlevel que me permitiu usufruir de uma bolsa de estudo.

Um grande agradecimento a toda a minha família, ao meu namorado Bruno Gomes pelo apoio incondicional e por nunca me deixarem desistir nos momentos mais difíceis. E também um forte agradecimento ao meu colega de curso e de trabalho Rafael Rodrigues pela paciência e apoio.

Gostaria também de agradecer à Universidade Fernando Pessoa, pelos valores e ensinamento que me foram passados ao longo dos vários anos.

Conteúdo

Conteúdo	vii
Lista de Figuras	ix
Lista de Tabelas	xi
Acrónimos	xii
1 Introdução	1
1.1 Objetivos	2
1.2 Estrutura do Documento	3
Lista de Acrónimos	1
2 Sistemas IoT de Monitorização de Líquidos	4
2.1 Soluções para Distinguir Líquidos	4
2.2 Tecnologias de Base Usadas	5
2.2.1 Escolha de Sensores	5
2.2.2 Combinação de Sensores	6
2.2.3 Paradigmas de Monitorização IoT	6
2.3 Trabalhos Relacionados	7
3 UCO-PEEKING - Monitorização e Identificação de OAU	11
3.1 Requisitos do Sistema de Identificação de OAU	11
3.1.1 Requisitos Funcionais	11
3.1.2 Requisitos Não Funcionais	12
3.1.3 Requisitos de Sistema	13
3.2 Arquitetura do Sistema de Identificação de OAU	13
3.2.1 Camadas <i>Edge</i> e <i>Cloud</i>	14
3.2.2 Sequência de Mensagens nos Depósitos	14
3.2.3 Diagrama de blocos do <i>End Device</i>	15
3.3 Análise dos Sensores Utilizados na Identificação de OAU	16

3.3.1	Sensor de Fluxo	16
3.3.2	Sensor Turbidez	17
3.3.3	Sensor de Temperatura Ambiente	19
3.3.4	Sensor de Temperatura do Líquido	21
3.3.5	Sensor de Distância/Nível	22
3.3.6	Micro-controlador e Servidor	25
3.4	Implementação do Sistema de Monitorização	27
4	Processo Experimental de Aferição da Identificação de Líquidos	30
4.1	Primeira Fase de Recolha de Dados dos Sensores	31
4.2	Segunda Fase de Recolha de Dados dos Sensores	32
4.3	Resultados das Medições com os Sensores	34
4.3.1	Sensor de Fluxo	35
4.3.2	Sensor de Turbidez	38
4.3.3	Sensor de Nível	41
4.3.4	Identificação do Líquido	46
5	Conclusão	47
5.1	Trabalho Futuro	48
	Referências	49

Lista de Figuras

2.1	Resultados da solução proposta com sensorização (Al-Khashab et al., 2019)	8
2.2	Resultados dos testes em Laboratório (Al-Khashab et al., 2019)	9
2.3	Relação entre turbidez e a temperatura (Sarnin et al., 2020)	9
3.1	Arquitetura do Sistema de Identificação de OAU	14
3.2	Diagrama de Sequência de Mensagens do Procedimento do Depósito	15
3.3	Diagrama de Blocos dos Sensores utilizados com o Micro-controlador	16
3.4	Sensor de Fluxo yf-s201	17
3.5	Fluxograma Função <i>get_flow()</i>	18
3.6	Sensor de turbidez Sen0189	18
3.7	Fluxograma Função <i>get_turbidity()</i>	19
3.8	Sensor de Temperatura DHT22 (DFRobot Electronic, 2017a)	20
3.9	Fluxograma Função <i>get_external_temperature()</i>	20
3.10	Sensor de Temperatura DS18B20	21
3.11	Fluxograma da Função <i>get_internal_temperature()</i>	22
3.12	Funcionamento do Sensor <i>ToF</i>	23
3.13	Sensor de Distância/Nível VL53L0X com <i>glass cover</i>	23
3.14	Fluxograma Função <i>get_level()</i>	24
3.15	Micro-controlador ESP32	25
3.16	Modulo de Comunicação SIM800L	25
3.17	Raspberry Pi 3	25
3.18	Coletor com Água da Torneira	27
3.19	Coletor com Óleo Alimentar Usado	28
3.20	Coletor com Óleo de Carro Usado	28
4.1	Início da montagem dos três protótipos	31
4.2	Temperaturas Extremas Registadas pelo IPMA (IPMA, 2021)	31
4.3	Recipiente com Torneira	32
4.4	Medição da temperatura da água com termómetro de laboratório (temperatura ambiente)	33

4.5	Fluxograma do <i>Firmware</i> Desenvolvido para o Micro-controlador	33
4.6	Aquecimento da água	34
4.7	Resultados do Fluxo com Temperatura de 23°C	35
4.8	Resultados Fluxo com Temperatura de 5°C e 10°C	36
4.10	Resultados Fluxo com Temperatura de 25°C e 30°C	36
4.9	Resultados Fluxo com Temperatura de 15°C e 20°C	37
4.11	Resultados Fluxo com Temperatura de 35°C e 40°C	37
4.12	Resultados Turbidez com Temperatura de 23°C	38
4.13	Resultados Turbidez com Temperatura de 5°C e 10°C	39
4.14	Resultados Turbidez com Temperatura de 15°C e 20°C	39
4.15	Resultados Turbidez com Temperatura de 25°C e 30°C	40
4.16	Resultados Turbidez com Temperatura de 35°C e 40°C	40
4.17	Medições do Recipiente Utilizado no Protótipo	41
4.18	Semelhança de Triângulos	41
4.19	Resultados do Volume com Temperatura de 23°C	43
4.20	Resultados Volume com Temperatura de 5°C e 10°C	44
4.21	Resultados Volume com Temperatura de 15°C e 20°C	44
4.22	Resultados Volume com Temperatura de 25°C e 30°C	45
4.23	Resultados Volume com Temperatura de 35°C e 40°C	45

Lista de Tabelas

2.1	Comparação da Classificação de Sensores por vários autores	5
2.2	Classificação dos sensores escolhidos	6
2.3	Sensores Usados na monitorização da qualidade da água	10
3.1	Características de hardware do sensor de fluxo (DFRobot Electronic, 2017b)	17
3.2	Características de hardware do sensor de turbidez (DFRobot Electronic, 2018)	19
3.3	Características de hardware do sensor de temperatura DHT22 (DFRobot Electronic, 2017a)	21
3.4	Características do sensor de temperatura DS18B20 (DFRobot Electronic, 2017c)	22
3.5	Características de hardware do sensor VL53L0X (Microelectronics, 2018)	24
4.1	Registo de valores não sensoriais de cada amostra (Fase 1)	32
4.2	Registo de valores não sensoriais de cada amostra (Fase 2)	34
4.3	Mínimos e Máximos dos Resultados Obtidos pelos Sensores	46

Acrónimos

EC *Eletric Conductivity*

IoT *Internet of Things*

IPMA *Instituto Português do Mar e da Atmosfera*

ML *Machine Learning*

NTU *Unidade Nefelométrica de Turbidez*

OAU *Óleo Alimentar Usado*

OCU *Óleo de Carro Usado*

ORP *Potencial de Oxidação-Redução*

RENO *Rede Nacional de Oleões*

TDS *Total Dissolved Solids*

TSS *Total Solid Suspended*

OCU *Used Cooking Oil*

Capítulo 1

Introdução

A atividade humana numa sociedade cada vez mais tecnológica, tem provocado alterações visíveis no equilíbrio do planeta, incluindo a diminuição dos glaciares e a presença crescente de plásticos e outros materiais nocivos, que se manifestam cada vez mais na poluição quer dos oceanos, como da atmosfera e dos múltiplos habitats terrestres. Os níveis de poluição afetam cada vez mais diretamente os seres vivos e o equilíbrio do planeta. O mundo está, efetivamente, a mudar, e o ser humano encontra-se cada vez mais consciente dessas mudanças e dos efeitos na sua vida e do planeta. Consequentemente, há uma tendência crescente para a adoção de comportamentos mais sustentáveis e ecológicos, resultando numa preocupação maior em reduzir, reutilizar e reciclar.

Existe uma consciencialização generalizada para a reciclagem de materiais mais comuns como papel, vidro, plástico, pilhas e roupas. Contudo, é igualmente possível e desejável que outros materiais sejam igualmente recicláveis. Em particular, o óleo alimentar usado **OAU** doméstico é, na sua maioria, despejado pelas pessoas diretamente nos sistemas de esgoto urbanos, contribuindo portanto para a poluição do ambiente. A produção de **OAU** em Portugal está entre 43.000 e 65.000 toneladas por ano. Destas, estima-se que 62% são provenientes do setor doméstico, 37% da hotelaria e restauração, e 1% na indústria alimentar (Apa, 2010). Verifica-se que a maior parte destes óleos e gorduras alimentares usadas têm como destino a rede de esgotos (Velo, 2007). Desta forma resultam não só problemas de corrosão e entupimentos das canalizações e das condutas de água residuais, mas também o aumento nocivo da carga de óleos e gorduras nas estações de tratamento. Em particular a imiscibilidade deste tipo de resíduos com a água, condiciona de forma significativa o tratamento de águas residuais (Velo, 2007). Portanto, a solução destes problemas passa pela recolha organizada e generalizada destes produtos residuais, evitando a sua entrada e consequente poluição das redes de recolha de águas residuais.

Existem atualmente inúmeros pontos de recolha de **OAU** doméstico, no entanto o depósito destes produtos é ainda muitas vezes efetuado pelos utilizadores de forma um pouco *ad hoc* com recurso a garrafas de água vazias, frascos ou outros recipientes, que são

colocados nos oleões mais perto da sua residência. A rede atual de recolha de OAU ainda não cobre algumas zonas do país, mas a reciclagem deste tipo de produtos não só é possível como recomendável. Para incentivar o depósito e reciclagem de OAU desenvolvem-se sistemas de atribuição de pontos e benefícios diretamente associado aos depósitos efetuados pelos utilizadores. Contudo, existe um problema no facto de não ser ainda possível verificar se o conteúdo das garrafas se trata, efetivamente, de OAU ou de outro tipo de líquido. Adicionalmente, também não existe uma associação entre os utilizadores aos respetivos depósitos, apesar de existir a atribuição de um ponto por cada depósito se o utilizador estiver registado.

Neste contexto, o objetivo principal deste projeto foi desenvolver um sistema baseado numa arquitetura *Internet of Things* (IoT) que permitisse distinguir, de forma automática e fiável, os produtos contidos numa garrafa padronizado de depósito de OAU). *Internet of Things* é uma rede onde vários dispositivos são capazes de comunicarem entre si e utilizarem várias aplicações (Anani et al., 2019). Adicionalmente, integrou-se neste sistema a gestão e atribuição de pontos associada aos utilizadores que efetuam os depósitos. Para atingir estes objetivos, o projeto focou-se no desenvolvimento e utilização de uma rede IoT distribuída de vários dispositivos sensoriais locais (cf. *Edge*), capazes de classificar os depósitos efetuados e comunicar os resultados para um nó centralizado *Cloud*, que por sua vez integra com várias aplicações de visualização e gestão da informação recolhida. O sistema IoT proposto nesta dissertação foi desenhado e implementado especificamente para solucionar os problemas identificados, combinando as arquiteturas de *Edge Computing* e *Cloud Computing* por forma a oferecer uma solução inteligente para a recolha e reciclagem de OAU.

1.1 Objetivos

Este trabalho teve como objetivo principal o desenvolvimento de um sistema sensorial capaz de distinguir automaticamente os tipos de depósitos de OAU, com o intuito de bonificar o utilizador sempre que um depósito fidedigno é efetuado. O foco principal do projeto incidiu particularmente na seleção, teste e avaliação de diferentes sensores com o intuito de diferenciar os principais tipos de líquidos, tipicamente encontrados nos depósitos efetuados nos pontos de recolha (cf. oleões) de OAU doméstico.

Inicialmente a investigação focou-se no estudo do sistema atual de pontos de recolha de OAU doméstico, uma vez que este já se encontra em utilização e a servir o mercado, com cerca de 2000 oleões. Procurou-se perceber o seu funcionamento e de que modo se poderia tornar o sistema mais inteligente e automático, para fomentar a sua utilização por parte dos utilizadores domésticos. Neste processo, foram selecionados e estudados vários sensores, posteriormente avaliados numa fase de testes laboratoriais que permitiu a validação da sua potencial utilização na distinção entre OAU em comparação com os

outros líquidos vulgarmente encontrados no sistema atual de recolha. Posteriormente, analisaram-se os resultados da utilização combinada dos sensores selecionados. Por fim, integrou-se na solução IoT a componente de atribuição e gestão de pontos para estimular a adesão dos consumidores aos depósitos domésticos de OAU.

1.2 Estrutura do Documento

Esta dissertação está dividida em cinco capítulos. O primeiro capítulo introduz o tema do projeto, contextualizando o problema e identificando os objetivos a alcançar com o desenvolvimento do trabalho. O segundo capítulo foca a temática dos sensores, abordando as suas características e descrevendo a seleção dos sensores para o desenvolvimento da parte experimental. Neste capítulo abordam-se ainda os trabalhos relacionados onde são analisados vários sistemas de monitorização e arquiteturas, que direta ou indiretamente, estão relacionados com o desenvolvimento deste projeto, mostrando novas abordagens e conteúdos adicionais. O terceiro capítulo divide-se em várias secções. Primeiro descreve-se os requisitos do sistema desenvolvido (cf. funcionais, não funcionais e de sistema). Depois apresenta-se a arquitetura geral do sistema de identificação de OAU, com base em diagramas que dão suporte à descrição do sistema desenvolvido. Posteriormente é feita uma análise dos sensores utilizados na parte experimental. De seguida é abordado o tema de implementação do sistema. No capítulo quatro é apresentado o desenvolvimento da parte experimental e a análise dos resultados obtidos, recolhidos com os sensores selecionados. Por fim, no capítulo cinco, encontram-se as conclusões finais deste projeto de dissertação e possíveis desenvolvimentos futuros para complementar o trabalho já desenvolvido.

Capítulo 2

Sistemas IoT de Monitorização de Líquidos

Este capítulo encontra-se dividido em várias secções. A primeira aborda a utilização de sensores para distinguir líquidos, baseando-se em algumas das principais propriedades desses líquidos. Em particular, focam-se algumas tecnologias de monitorização que permitem perceber as propriedades analisadas. Posteriormente, são apresentados e caracterizados vários tipos de sensores que podem ser utilizados para diferenciar líquidos, com base nas suas propriedades. Por fim apresentam-se trabalhos relacionados em sistemas de monitorização IoT, com foco nos paradigmas de computação *Edge computing* e *Cloud computing*, que melhor se adaptam ao propósito deste projeto de dissertação.

2.1 Soluções para Distinguir Líquidos

Diferentes líquidos apresentam diferentes propriedades químicas, físicas, orgânicas ou até mesmo biológicas. Estas características químicas e físicas tais como viscosidade, turbidez, cor, pH, entre outras propriedades, fazem com que seja possível, através de sensorização, encontrar diferenças entre os diferentes líquidos, possibilitando a sua distinção. A análise da qualidade da água tem vindo, ao longo do tempo, a ser alvo de monitorização em sistemas de baixo custo, com recurso a sensorização. No decorrer dessa análise são avaliadas propriedade como turbidez, ph, EC, temperatura, ORP, fluxo, nível de enchimento, TDS, oxigénio dissolvido, concentração de cloro, clorofila e presença de compostos orgânicos (Geetha and Gouthami, 2016). Para melhor perceber como distinguir água, OAU e óleo de carro usado (OCU) nas suas diferentes propriedades foram analisados diferentes artigos de análise de qualidade da água em sistemas IoT que levaram a escolhas de diferentes sensores.

2.2 Tecnologias de Base Usadas

Nesta secção encontramos uma breve descrição de várias definições do que é um sensor, a sua classificação e por último a escolha dos sensores usados na parte experimental deste trabalho.

2.2.1 Escolha de Sensores

Vivemos atualmente num panorama de computação omnipresente. A evolução de redes sensoriais e da internet das coisas tem vindo a possibilitar o surgimento de inúmeras soluções tecnológicas num vasto leque de cenários de aplicação. Passadeiras inteligentes que visam aumentar a segurança nas grandes cidades ou soluções convenientes de *healthcare* trazidas pelos dispositivos *wearables*, são algumas das soluções que têm vindo a moldar a forma como interagimos com o ambiente. Apesar da sensorização constituir um componente nuclear no contexto do IoT, continuamos a não contar com uma definição universal para o termo "sensor", muitas vezes a definição é descrita dependendo da aplicação (McGrath, M. and Scanail, 2013). Um sensor também pode ser definido como um dispositivo que recebe um estímulo e responde com um sinal elétrico (Fraden, 2010). Outra perspetiva define o sensor como um dispositivo que liga o mundo físico com a tecnologia através da conversão de um acontecimento físico num sinal elétrico (Wilson, 2005). No que diz respeito a sua classificação, pode ter um intervalo do simples para o mais complexo (White, 1987; Fraden, 2010):

Tabela 2.1: Comparação da Classificação de Sensores por vários autores

	Classificação de Sensores
(Wilson, 2005)	A classificação dos sensores é feita segundo a propriedade física, ou seja, para aquilo que o sensor foi projetado para medir.
(Fraden, 2010)	- Passivos e Ativos; - Absolutos e Relativos.
(McGrath, M. and Scanail, 2013)	- Sensores Mecânicos; - Sensores Óticos; - Sensores Semicondutores; - Sensores Eletroquímicos; - Biosensores.
(Sinha, 2017)	- Ativos e Passivos; - Contacto e Não Contacto; - Absoluto e Relativos.

A escolha dos sensores para a parte experimental deste projeto é feita tendo em conta as propriedades e sensores utilizados para a monitorização da qualidade da água. Considerando a classificação apresentada é possível organizar os sensores escolhidos nas suas diferentes categorias:

Tabela 2.2: Classificação dos sensores escolhidos

Classificação de Sensores (McGrath, M. and Scanail, 2013)	
Sensor Temperatura, Fluxo e Turbidez	Sensores Semicondutores
Sensor de Nível / Distancia	Sensores Óticos

2.2.2 Combinação de Sensores

Em sistemas de monitorização ou até mesmo noutros tipos de sistemas, onde são utilizados vários sensores em que a combinação de dados pode levar a resultados melhores que só com um sensor não seria possível. Essa agregação de dados é definida como fusão de sensores que é fornecida por sensores distintos. A informação resultante, consegue ser mais coerente do que dados isolados (Kocic et al., 2018; McGrath, M. and Scanail, 2013). Alguns exemplos que demonstram a importância da fusão de sensores passam pela condução autónoma, análise de movimento ou passadeiras inteligentes. No caso da condução autónoma são utilizados vários sensores, como a câmara que simula a visão humana, LIDAR e Radar para informações sobre a distância até um determinado obstáculo, ou distância geral dos objetos presentes no ambiente (Kocic et al., 2018). Para análise de movimento, como deteção de quedas ou contador de passos, são usados sensores como acelerómetros para detetar a aceleração linear, giroscópio para velocidade de rotação angular e magnetómetros para vetores de campo magnético, que, quando individualmente usados, têm limitações, mas quando combinados conseguem apresentar uma solução de captura de movimento 9-DoF (graus de liberdade) (McGrath, M. and Scanail, 2013; Roy, 2005). Nas passadeiras inteligentes para a deteção de peões, são utilizados sensores como: i) sensor infravermelho passivo PIR, para a deteção de movimento; ii) o sensor infravermelho IR na deteção de proximidade; ou iii) câmaras para detetar pessoas com o recurso de algoritmos de visão computacional (Gomes, 2020).

2.2.3 Paradigmas de Monitorização IoT

A arquitetura proposta para a implementação do sistema de identificação de OAU combina a utilização de componentes *Edge* e *Cloud computing*. As arquiteturas *Cloud Computing* são descritas como um paradigma computacional que permite o acesso a uma rede ubíqua e a um conjunto de recursos computacionais partilhados, como por exemplo redes, armazenamento, serviços e aplicações (Mell and Grance, 2011). Estas soluções têm vindo a ser fortemente estimuladas pelo crescimento e popularidade exponencial de serviços como os da AWS ou Google, desde o início de 2000, tornando-se um padrão sobre como armazenar, gerir e processar dados (Shaw and Singh, 2014). Devido ao seu princípio de funcionamento, as arquiteturas *Cloud computing* têm vindo surgir como um serviço democratizado, fechando a lacuna tecnológica entre grandes e pequenas organizações (Shaw and Singh, 2014). Estas características garantiram que, desde cedo, o *Cloud computing*

surgisse como o paradigma de computação predominante (Moreira et al., 2020).

Mais recentemente, várias tecnologias inovadoras têm vindo a permitir que a computação seja realizada na extremidade da rede para que a computação aconteça perto da fonte de dados. Nas arquiteturas *Edge computing*, o *end device* além de recolher dados, também os consegue analisar e produzir informação adicional. Na extremidade da rede, os dispositivos locais para além de enviar dados para a *cloud*, conseguem efetuar processamento, armazenamento ou *caching* e balanceamento de carga (Shi and Dustdar, 2016). A comunicação de dados entre a camada *edge* e a *cloud* pode ser feita através de vários tipos de comunicação sem fios, como por exemplo, através de operadores (e.g. GPRS, LTE, SigFox, NB-IoT) ou mesmo combinando redes locais (e.g. Wi-Fi, ZigBee) com ligações de longa distância (e.g. LoRa), entre outras (Anani et al., 2019).

2.3 Trabalhos Relacionados

A internet tem vindo a evoluir com o passar do tempo, essa progressão é criada pelas necessidades impostas pela sociedade (Dentzel, 2021). O termo Internet das Coisas também conhecido como **IoT** é definido pela quantidade de objetos inteligentes que estão conectados entre si, através da internet (De Matos et al., 2017). Com essa nova tecnologia torna-se possível que qualquer dispositivo como por exemplo, RFID tags, sensores, smartphones, entre outros dispositivos, estejam ligados à rede em qualquer momento e em qualquer lugar (Tiburski et al., 2015). O **IoT** permite que vários objetos se conectem entre si, como por exemplo termostatos, sistema de monitorização, aquecimento, ar condicionado no caso das casas inteligentes (Al-Fuqaha et al., 2015).

Para tentar resolver o problema proposto, iniciou-se uma pesquisa do estado da arte, que consistiu em procurar artigos relacionados com a monitorização da qualidade da água em sistemas **IoT**. Apesar deste tema não estar diretamente relacionado com os parâmetros do **OAU**, é uma mais valia para este trabalho na medida em que permite perceber o tipo de arquitetura e sensores utilizados.

A água é essencial para todos os seres vivos como plantas e animais (Velayutham, 2019). Cerca de 70% do planeta Terra é constituído por água e só 2% é água para consumo humano (Kumar Jha et al., 2018). Representando um recurso essencial e indispensável à continuidade de vida na terra, soluções para o controlo e tratamento de água são frequentemente alvo de projetos de investigação.

No sistema de monitorização de água para solucionar o problema de custos de manutenção elevados e dificuldades de acesso a pontos de recolha para a realização de testes de qualidade da água, os autores propuseram um sistema de monitorização da qualidade da água recorrendo a sensores de baixo custo com leituras em tempo real. A arquitetura é composta por diferentes sensores: turbidez, ORP (Potencial de Redução Oxidação), pH, condutividade e temperatura. Juntamente com os sensores, a solução recorre a algoritmos

que têm como objetivo detectar eventos que ativam um alarme caso os sensores mostrem mudanças bruscas e significativas, de acordo com o padrão da qualidade da água potável. A fase experimental passou por contaminação propositada de uma amostra de água com bactérias *Escherichia coli* e arsênio. Dos dois algoritmos existentes: i) VDA – Algoritmo de distância vetorial e ii) PAA – Algoritmo de Área de Polígono, o que apresentou melhores resultados foi o PAA, sendo que o VDA apresentou alguns falsos positivos (Lambrou et al., 2014).

Para monitorizar a qualidade da água, os autores propuseram um sistema utilizando sensores de baixo custo para testar a qualidade da água com os seguintes parâmetros: turbidez, pH, TDS (Sólidos Totais Dissolvidos), temperatura e condutividade. Os resultados obtidos são bastante próximos, sendo que um fator a ter em consideração e ressaltado pelos autores foi que o parâmetro temperatura foi descartado, dado que no mês de Setembro em Mosul o valor é inferior a 30°C e o seu aumento condiciona os valor dos parâmetros. Um dado bastante relevante é que os resultados do sistema proposto Figura 2.1 são aproximados dos resultados do laboratório Figura 2.2 em 98,6% (Al-Khashab et al., 2019).

TABLE III THE PROPOSED RESULTS

Date	C ⁰	pH	EC	Turb	TDS
15/9/2018	>30	7.91	381.1	12.2	288.5
16/9/2018	>30	7.808	322.1	13.73	298.7
17/9/2018	>30	7.701	355.3	6.344	291.9
18/9/2018	>30	7.51	391,1	3.55	232.97
19/9/2018	>30	7.702	375.76	7.89	256.86
20/9/2018	>30	7.52	380.65	4.88	243.1
21/9/2018	>30	7.42	392.65	8.394	258.64
22/9/2018	>30	7.42	385.54	6.1	235.5
23/9/2018	>30	7.52	395.4	6.95	291.9
24/9/2018	>30	7.62	392.361	2.543	234.34
25/9/2018	>30	7.41	372.1	9.28	220.67

Figura 2.1: Resultados da solução proposta com sensorização (Al-Khashab et al., 2019)

Outra solução para um sistema de monitorização da qualidade da água recorrendo a uma rede de multi-sensores com custos reduzidos para medir diferentes características físico-químicas da água. O sistema apresentado permite a monitorização da qualidade da água com um sistema composto por sensores de fluxo, temperatura, condutividade, pH e Potencial de Oxidação-Redução (ORP). O objetivo é notificar o utilizador dos parâmetros da qualidade em tempo real. Este sistema de notificação é acionado por um alarme quando os parâmetros medidos deixam de estar nos valores de referência (Cloete et al., 2016).

Outra solução para um sistema de monitorização da água consiste na utilização do sensor de turbidez e de temperatura. Foram preparadas três amostras de água para os testes

TABLE II. THE LABORATORY RESULTS.

Date	C ⁰	pH	EC	Turb	TDS
15/9/2018	>30	8.1	390	12.5	294
16/9/2018	>30	8.0	330	14	302
17/9/2018	>30	7.9	364	6.5	299
18/9/2018	>30	7.7	400	3.6	238
19/9/2018	>30	7.9	385	8.0	263
20/9/2018	>30	7.7	390	5.0	246
21/9/2018	>30	7.6	402	8.6	265
22/9/2018	>30	7.6	395	6.2	241
23/9/2018	>30	7.7	405	7.0	299
24/9/2018	>30	7.8	402	2.6	240
25/9/2018	>30	7.6	381	9.5	226

Figura 2.2: Resultados dos testes em Laboratório (Al-Khashab et al., 2019)

de temperatura e quatro para a análise de turbidez. Na figura 2.3 podemos visualizar a relação entre a turbidez e a temperatura da água. À medida que a temperatura aumenta a turbidez também aumenta tendo uma relação diretamente proporcional (Sarnin et al., 2020).

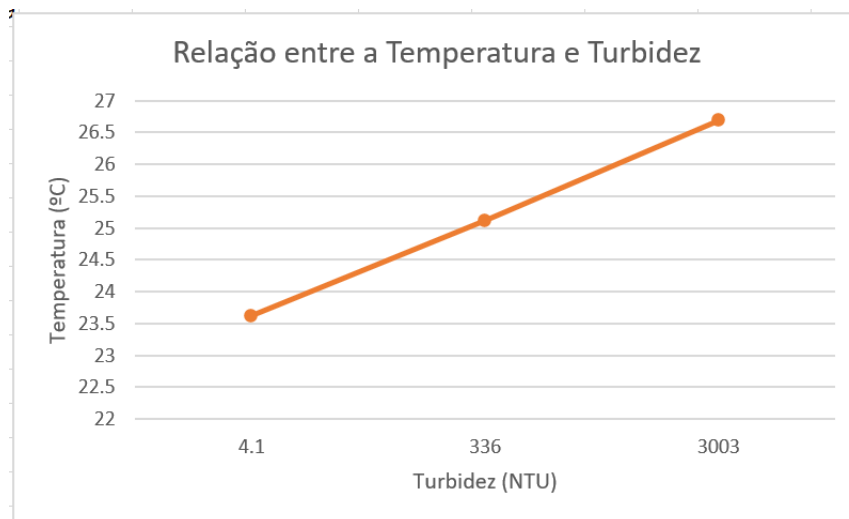


Figura 2.3: Relação entre turbidez e a temperatura (Sarnin et al., 2020)

Na tabela 2.3 é feita uma comparação dos sensores utilizados em diferentes sistemas de monitorização de qualidade da água. O símbolo mais (+) significa a presença do sensor para a monitorização e o símbolo menos (-) para a ausência. O espaço não preenchido significa que o sensor esta presente, mas não é especificado em que ambiente é usado.

Tabela 2.3: Sensores Usados na monitorização da qualidade da água

	Sensores Utilizados em Trabalhos Relacionados								
	EC	Fluxo	Nível	ORP	pH	TDS	Temperatura Ambiente	Temperatura Liquido	Turbidez
(Lambrou et al., 2014)	+	-	-	+	+	-			+
(Raut and Shelke, 2016)	-	-	-	-	+	-	-	+	+
(Cloete et al., 2016)	+	+	-	+	+	-	-	+	-
(Kumar Jha et al., 2018)	+	-	-	-	+	-	-	+	+
(Al-Khashab et al., 2019)	+	-	-	-	+	+	-	+	+
(Pasika and Gandla, 2020)	-	-	+	-	+	-	+	-	+
(Sarnin et al., 2020)	-	-	-	-	-	-	-	+	+
(Abdulwahid, 2020)	-	-	-	-	+	+	-	+	+
(Prabowo et al., 2020)	-	-	-	-	+	+	-	+	-

Podemos concluir através desta análise que os parâmetros mais comuns nestes tipo de sistemas são a medição de pH, turbidez e temperatura da água.

Capítulo 3

UCO-PEEKING - Monitorização e Identificação de OAU

Este capítulo foca-se na especificação, arquitetura e implementação do sistema IoT desenvolvido neste projeto para monitorizar e identificar os diferentes tipos de líquidos tipicamente depositados nos pontos de recolha de OAU. A primeira secção aborda os requisitos funcionais, não funcionais e de sistema da solução desenvolvida. A segunda secção aborda a arquitetura do sistema, que se baseia nos paradigmas de *Edge* e *Cloud computing*. Nesta secção são apresentados diagramas de sequencia de mensagens e diagramas de blocos para melhor ilustrar a estrutura e funcionamento do sistema. Na terceira secção é efetuada uma análise detalhada de cada um dos sensores utilizados na parte experimental deste trabalho. A quarta secção finaliza com a apresentação da implementação do sistema IoT desenvolvido.

3.1 Requisitos do Sistema de Identificação de OAU

Com vista a delimitar o âmbito do projeto nesta secção são apresentados e descritos os requisitos funcionais, não funcionais e de sistema que caracterizam o sistema desenvolvido.

3.1.1 Requisitos Funcionais

ID: RF.01

Título: Distinguir diferentes líquidos (água, OAU, OCU) através dos sensores utilizados. Da análise deverá resultar uma classificação do líquido depositado.

Descrição: O sistema deverá ser capaz de medir vários parâmetros, para que posteriormente sejam analisadas as suas diferenças.

ID: RF.02

Título: Medição do fluxo.

Descrição: O sistema deverá ser capaz de medir a quantidade de líquido que passa

no interior da tubagem. A partir da monitorização do fluxo de depósito deverá ser possível determinar a quantidade total depositada.

ID: RF.03

Título: Medição do nível.

Descrição: O sistema deverá ser capaz de medir a quantidade de líquido presente no interior do recipiente. A monitorização do nível de óleo depositado deverá servir de contraprova aos valores obtidos no RF.02

ID: RF.04

Título: Medição da temperatura do líquido e ambiente.

Descrição: O sistema deverá ser capaz de medir a temperatura do líquido e a temperatura ambiente, de forma a monitorizar e controlar o ambiente aquando de cada depósito/classificação.

ID: RF.05

Título: Medição da turbidez.

Descrição: O sistema deverá ser capaz de medir a turbidez do líquido.

ID: RF.06

Título: Especificação e teste de uma arquitetura de sistema como solução para o tema proposto.

Descrição: Caracterização de uma arquitetura de sistema, detalhando cada uma das camadas *cloud* e *edge*, assim como o fluxo de informação entre ambas.

ID: RF.07

Título: Recolha de dados

Descrição: Os dados recolhidos através dos sensores deverão ser processados pelo micro-controlador que posteriormente deverá enviar o resultado obtido para a camada *cloud*.

ID: RF.08

Título: Computação Local.

Descrição: Quando o *End Device* é ativado comunica os dados para a camada *Cloud* e entra em modo *sleep*. A comunicação de dados deverá ser feita ao fim de um intervalo de eventos, podendo um evento ser representado por número de depósitos ou pelo decorrer de um dado intervalo temporal (por exemplo passar uma hora).

3.1.2 Requisitos Não Funcionais

ID: RNF.01

Título: Sistema de baixo custo.

Descrição: O sistema desenvolvido deverá ser de baixo custo.

ID: RNF.02

Título: Escalabilidade.

Descrição: O sistema desenvolvido deverá ser escalável. O aumento do número ou periodicidade de depósitos não deverá causar instabilidade no funcionamento do sistema.

3.1.3 Requisitos de Sistema

ID: RNS.01

Título: Análise de dados.

Descrição: O sistema deverá ser capaz de analisar e classificar os dados recolhidos pelos sensores.

ID: RNS.02

Título: Armazenamento de dados.

Descrição: O sistema deverá ser capaz de armazenar os dados que são enviados pelo *End Device*.

ID: RNS.03

Título: REST API.

Descrição: A API deverá ser desenvolvida em *python flask* para a recepção de dados que serão enviados pelo micro-controlador na camada *Edge*.

ID: RNS.04

Título: Base de Dados.

Descrição: A API deverá guardar os dados recebidos para uma base de dados em MariaDB.

3.2 Arquitetura do Sistema de Identificação de OAU

Com o desenvolvimento e adaptação de vários cenários, a computação em *cloud* transformou o mundo conectado em que vivemos (Shaw and Singh, 2014). Ainda que desde a origem do *IoT* a computação em *cloud* tenha vindo a ser o paradigma a seguir, a evolução nas necessidades dos sistemas ubíquos tem vindo a levantar desafios a esta abordagem (Dang et al., 2019). No sistema proposto a quantidade de informação a enviar poderia vir a ser um problema com o aumento do número de depósitos. Com o processamento de dados no lado da camada *edge* a quantidade de dados enviada é reduzida ao resultado, mitigando custos de comunicação e tornando o sistema mais escalável. Ao nível do consumo energético a computação *edge* também está em vantagem, pois o consumo é reduzido, comunicando menos frequentemente.

3.2.1 Camadas *Edge* e *Cloud*

A arquitetura desenvolvida (3.1) divide-se em duas camadas: *edge* e *cloud*. No que diz respeito ao hardware, a camada *edge* é composta pelos sensores de fluxo, turbidez, nível, temperatura interna e externa, que recolhem os dados do meio, e pelo micro-controlador que é responsável por analisar a informação e enviar o resultado para a camada *cloud*, através de comunicação GPRS/GSM. O resultado é baseado na leitura dos sensores e na análise e processamento de dados que origina uma classificação do depósito. Já na camada superior, a informação recebida é armazenada no servidor. Esta camada serve também como interface para as soluções de apresentação, nomeadamente a plataforma de gestão e aplicação móvel da rede de recolhas.

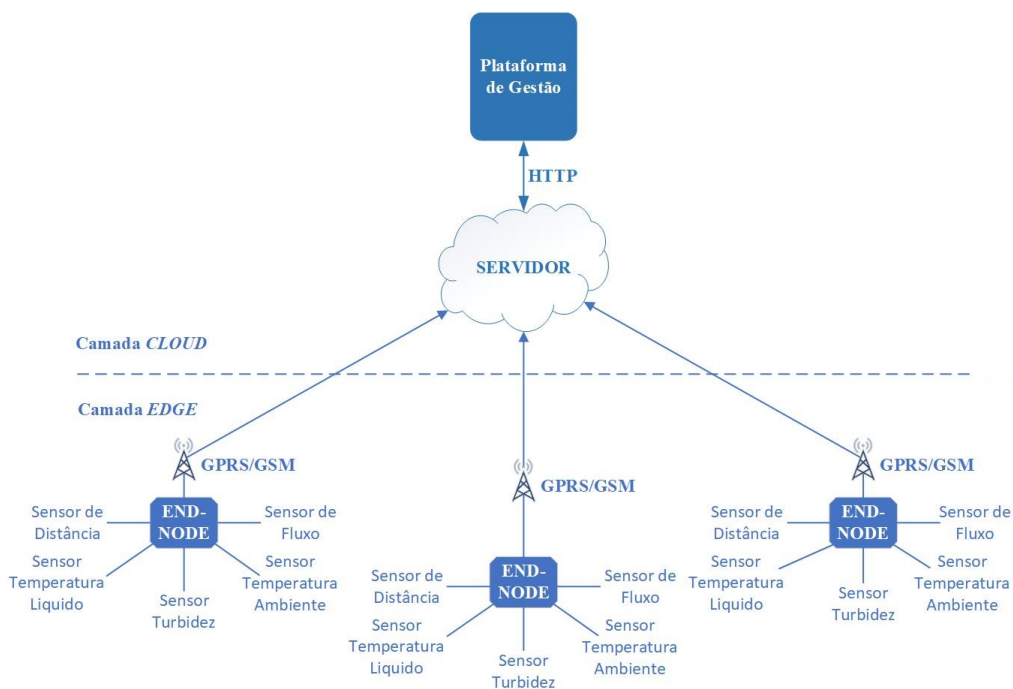


Figura 3.1: Arquitetura do Sistema de Identificação de OAU

3.2.2 Sequência de Mensagens nos Depósitos

Na figura 3.2, podemos visualizar o diagrama de sequências, que descreve o procedimento a partir do momento que o utilizador chega ao oleão e o sistema é acionado. O utilizador aciona o interruptor presente no oleão para efetuar o depósito. O micro-controlador acorda e está pronto para ler a tag RFID. De seguida é efetuado o depósito e o sensor de fluxo é o primeiro a recolher os dados e sequencialmente os outros sensores nível, temperatura do líquido, temperatura ambiente e turbidez efetuam as suas leituras. Assim que o último sensor termina as suas leituras é feito o processamento que vai classificar o depósito quanto á possibilidade de ser OAU, água ou OCU. O envio do resultado entre a

camada *edge* e a camada *cloud* é feito quando ocorre um evento representado pelo número de depósitos ou pelo intervalo de tempo definido.

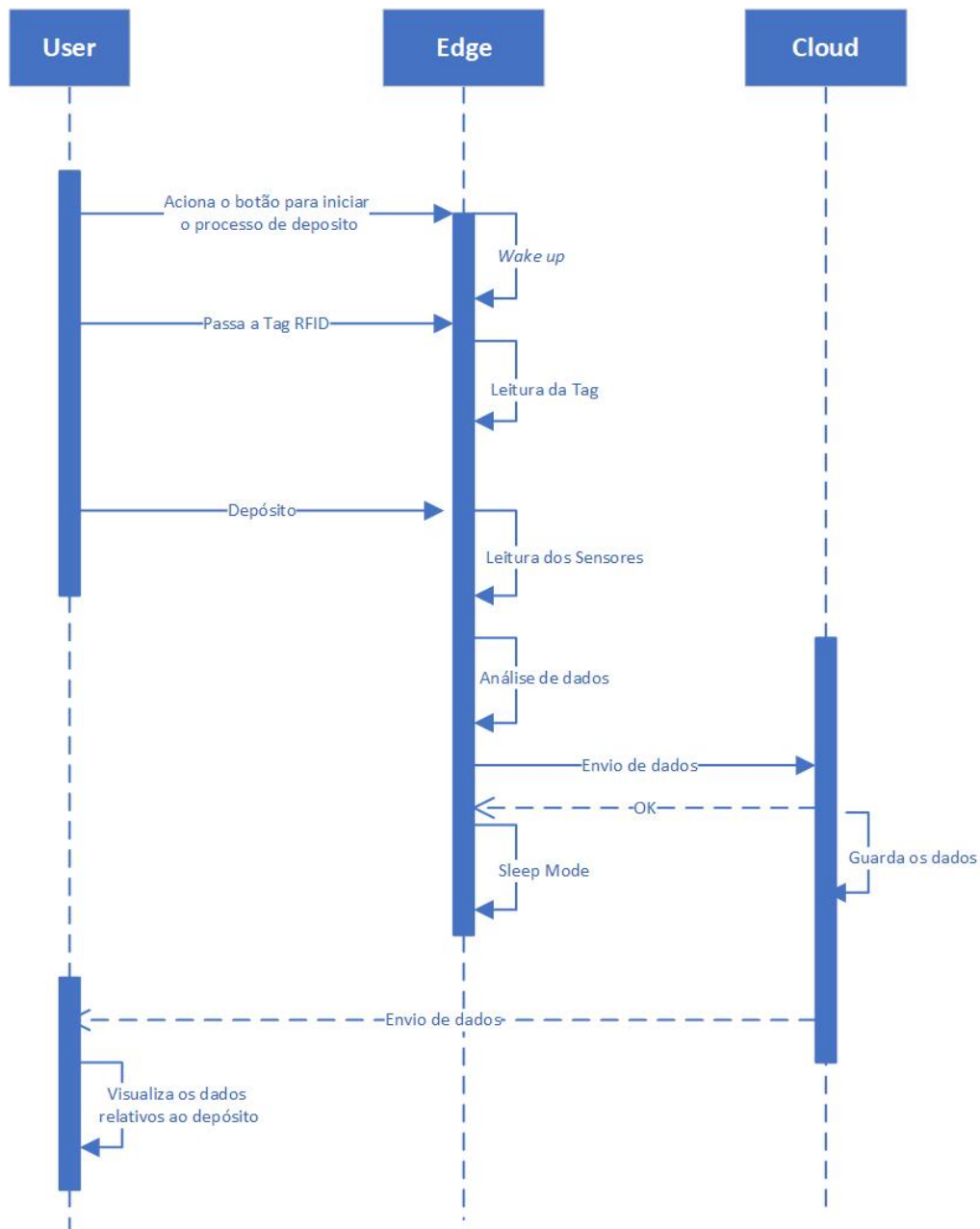


Figura 3.2: Diagrama de Sequência de Mensagens do Procedimento do Depósito

3.2.3 Diagrama de blocos do *End Device*

O diagrama de bloco representado pela figura 3.3 permite criar uma visão geral dos componentes que compõem a montagem de hardware de cada um dos protótipos presente na camada *edge*. O micro-controlador faz interface com o leitor RFID, módulo de comuni-

cação SIM800L e com os sensores utilizados para coleta de dados.

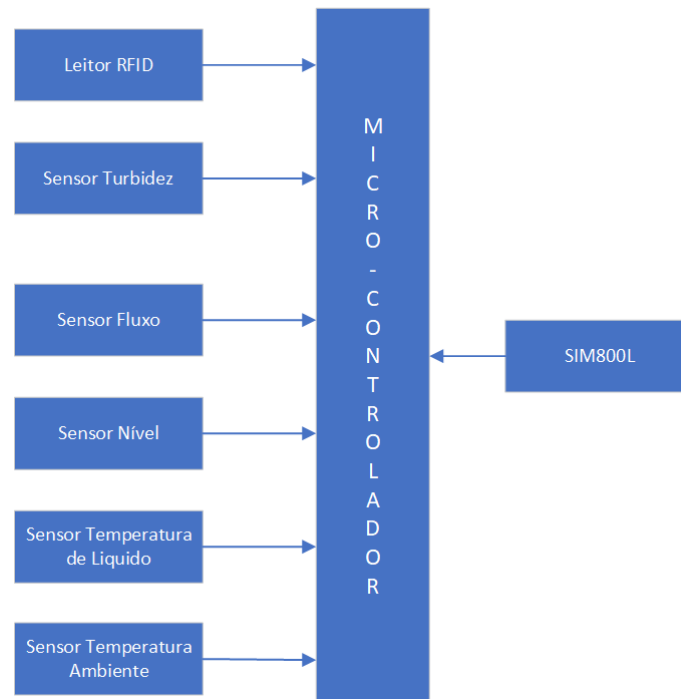


Figura 3.3: Diagrama de Blocos dos Sensores utilizados com o Micro-controlador

3.3 Análise dos Sensores Utilizados na Identificação de OAU

3.3.1 Sensor de Fluxo

O fluxo é a quantidade de líquido que passa por uma dada superfície num determinado tempo (Veloso, 2007). O sensor de fluxo (yf-s201), permite medir a quantidade de líquido, em litros por minuto (l/m) (DFRobot Electronic, 2017b). Na figura 3.4 podemos observar o funcionamento do sensor. Quando o líquido entra na tubagem faz a turbina girar e o ímã que está presente na turbina faz interferência como sensor de *hall*, que produz um sinal de pulso (DFRobot Electronic, 2017b). Esse sinal é interpretado pelo micro-controlador, sendo apresentado na unidade (l/min). Dadas as diferentes viscosidades e conseqüentes diferentes fluxos o sensor permite detectar se existem diferenças significativas entre os três líquidos em teste (água, óleo de carro usado e OAU).

Na figura 3.5 é apresentada a função que recolhe os dados do sensor de fluxo. Começamos por declarar o pino 27 como *digitalPinToInterrupt*, para converter o pino digital

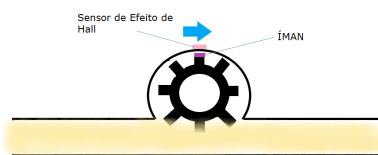


Figura 3.4: Sensor de Fluxo yf-s201

um número específico para ser usado em `attachInterrupt()`. As interrupções são utilizadas para que nenhum pulso de sinal seja perdido enquanto o programa mantém a leitura dos diferentes sensores (Arduino, 2021a). Através do somatório do total de pulsos recebidos por unidade de tempo torna-se possível estimar o fluxo do líquido em análise. Para garantir que durante o tempo de "escuta" de pulsos o micro-controlador mantém todas as restantes tarefas em execução, recorreremos à função `millis()` (milisegundos que é o tempo desde que o programa começou a executar (Arduino, 2021b)), como forma de obter a diferença temporal entre dois momentos de medição. As propriedades diferenciadas de líquidos em teste introduzem variações ao número de pulsos para os diferentes líquidos, ainda que em quantidades idênticas. Desta forma, e tal como sugerido pelo fabricante uma constante de calibração foi adicionada de modo a ajustar a medição de fluxo para OAU.

Na tabela 3.1 são apresentadas as características do sensor de fluxo, que são importantes ter em consideração para que seja feito o uso correto do sensor.

Tabela 3.1: Características de hardware do sensor de fluxo (DFRobot Electronic, 2017b)

Características	
Tensão a que opera	3.5 v a 12 v
Corrente a que opera	15 mA
Pressão máxima da água	<1.75 MPa
Intervalo de temperatura de funcionamento	-25 °C a +80 °C
Humidade a que opera	25% a 95%
Exatidão (Accuracy)	± 5% (2~30 L \ min)

3.3.2 Sensor Turbidez

A turbidez é uma propriedade física dos fluídos que indica um nível de transparência devido aos materiais que se encontram suspensos, interferindo, assim, com a passagem da luz através do fluído (Grobbelaar, 2009). O sensor de turbidez (Sen0189), permite medir o nível de turbidez na água, causada pelas partículas não dissolvidas-figura (3.6). O sensor emite um feixe de luz para detetar partículas suspensas na amostra de líquido. Desta forma, é possível determinar a quantidade de luz capaz de passar pelas partículas e a taxa

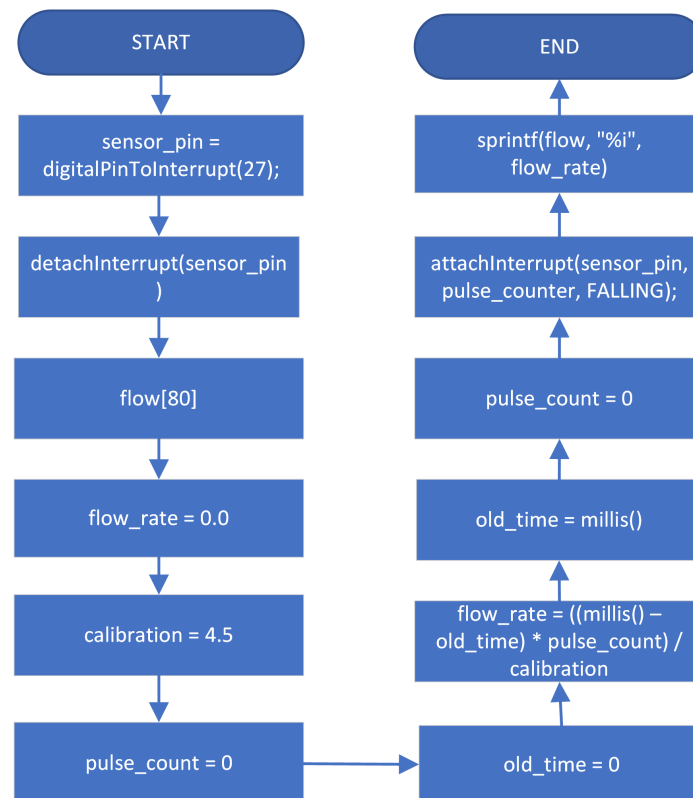


Figura 3.5: Fluxograma Função *get_flow()*

de dispersão que varia com a quantidade de sólidos suspensos totais (TSS) presentes no líquido. À medida que o TSS aumenta, o nível de turbidez também aumenta (DFRobot Electronic, 2018). O valor analógico é interpretado pelo micro-controlador.



Figura 3.6: Sensor de turbidez Sen0189

Na figura 3.7 é apresentado o algoritmo utilizado para a recolha da informação do sensor de turbidez. Para a recolha de dados do meio é usado o *analogRead()* que lê os valores analógicos da porta 36, são realizadas dez leituras e é calculada a mediana. Com o valor resultante é efetuada uma conversão para tensão. Neste caso usamos a conversão para valores entre 0.0 a 3.3.

Na tabela 3.2 são apresentadas as características do sensor de turbidez, que é importante ter em consideração para que seja feito o uso correto do sensor.

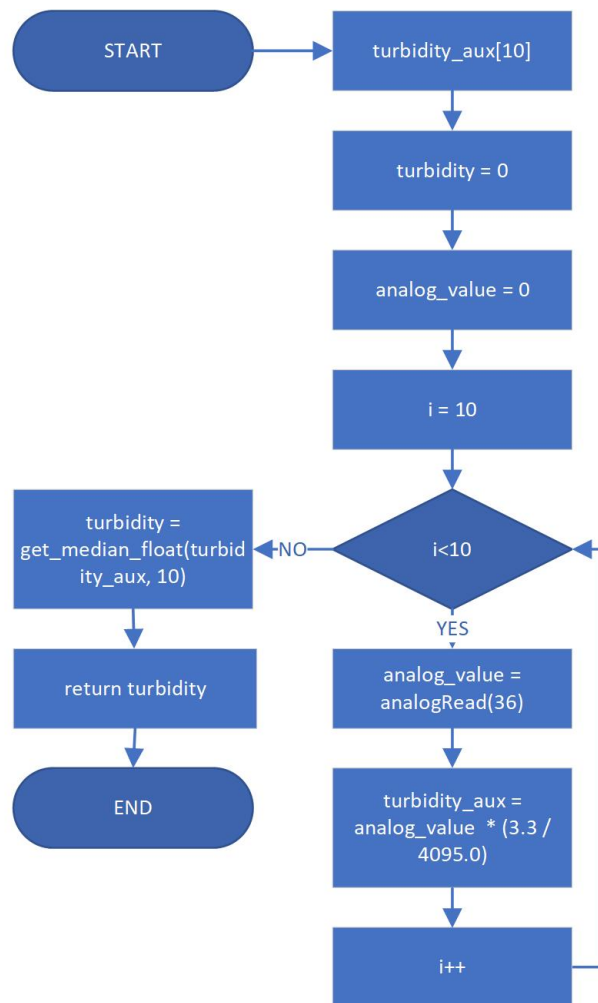
Figura 3.7: Fluxograma Função *get_turbidity()*

Tabela 3.2: Características de hardware do sensor de turbidez (DFRobot Electronic, 2018)

Características	
Tensão a que opera	5 v
Corrente a que opera	40 mA
Saída analógica	0 - 4.5V
Intervalo de temperatura de funcionamento	+5 °C ~ +90 °C

3.3.3 Sensor de Temperatura Ambiente

A temperatura é uma propriedade física que mede a energia cinética de átomos e moléculas num sistema (Gardner, 2020). O sensor DHT22 (figura 3.8) mede a temperatura e humidade presente num determinado ambiente (Firdaus et al., 2019). Este sensor está conectado a uma porta digital do micro-controlador. Este sensor é utilizado para uma monitorização do ambiente ao longo dos testes experimentais da parte prática deste docu-

mento.

Na figura 3.9 temos a função desenvolvida para controlar a temperatura ambiente.

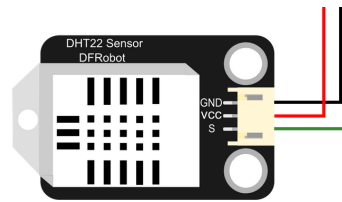


Figura 3.8: Sensor de Temperatura DHT22 (DFRobot Electronic, 2017a)

É usada uma biblioteca DHT22 que é fornecida pelo fabricante (DFRobot Electronic, 2017a), também são efetuadas dez leituras e ao fim do ciclo é feito o calculo da mediana.

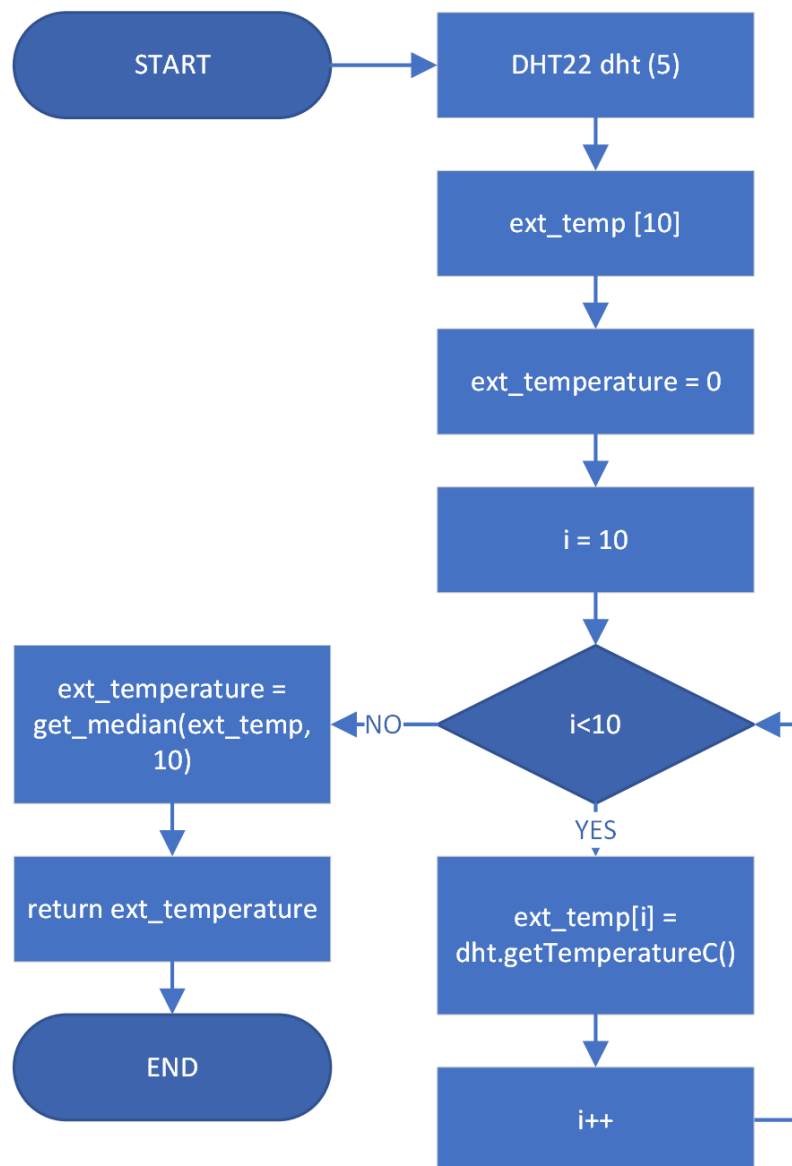


Figura 3.9: Fluxograma Função *get_external_temperature()*

Na tabela 3.3 são apresentadas as características do sensor de temperatura DHT22,

que são importantes ter em consideração para que seja feito o uso correto do sensor.

Tabela 3.3: Características de hardware do sensor de temperatura DHT22 (DFRobot Electronic, 2017a)

Características	
Tensão a que opera	5v
Corrente a que opera	1.5mA
Tensão de saída	0v a 3.3v
Intervalo de temperatura que mede	-40°C a +80°C
Intervalo de temperatura de funcionamento	-20°C a +80°C
Erro de medição	$\pm 0.5^\circ\text{C}$

3.3.4 Sensor de Temperatura do Líquido

Este sensor de temperatura (DS18B20), ilustrado na figura 3.10 é utilizado para medir a temperatura da água (Abdulwahid, 2020). Na parte experimental deste documento, será utilizado para medir a temperatura nos três diferentes líquidos em teste (água, Óleo de carro usado e OAU).



Figura 3.10: Sensor de Temperatura DS18B20

No fluxograma apresentado na figura 3.11, é descrito o algoritmo utilizado para a medição da temperatura interna do líquido. O recurso a este sensor permite controlar o ambiente dentro do recipiente para que os testes sejam feitos seguindo os parâmetros de temperatura definidos. A função *getTemp()* é responsável por ler a temperatura do sensor, recorrendo à biblioteca *OneWire* disponibilizada pelo fabricante (DFRobot Electronic, 2017c).

Na tabela 3.4 são apresentadas as características do sensor de temperatura DS18B20, que são importantes ter em consideração para que seja feito o uso correto do sensor.

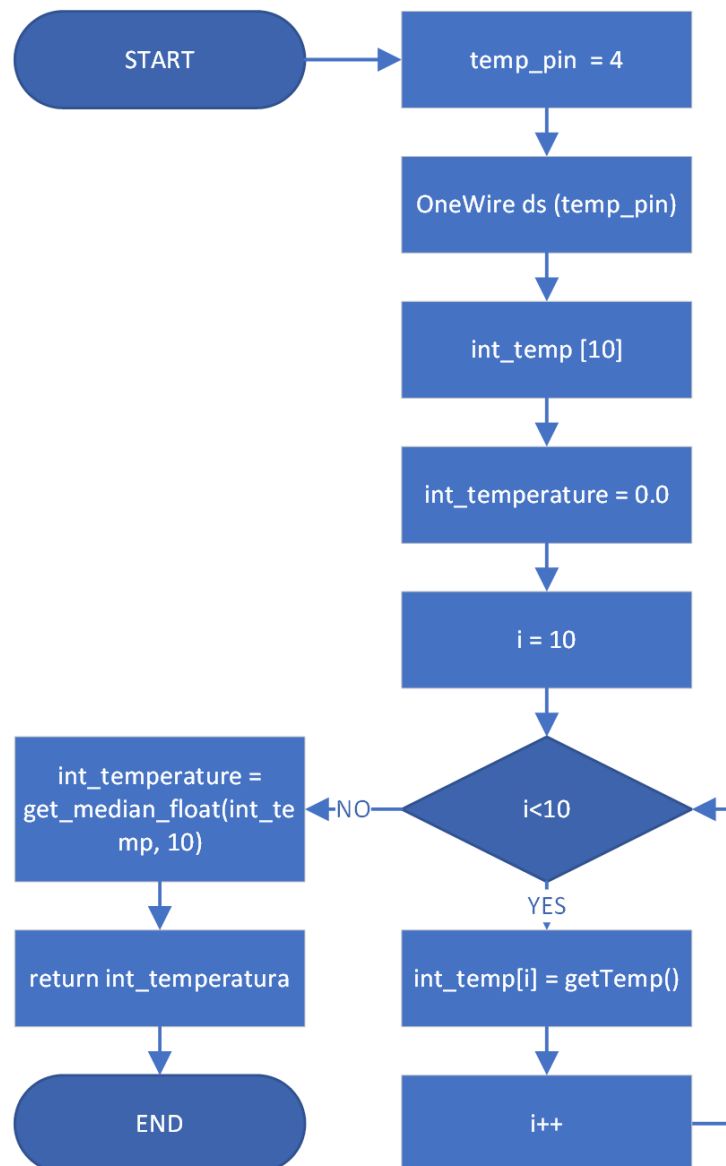


Figura 3.11: Fluxograma da Função *get_internal_temperature()*

Tabela 3.4: Características do sensor de temperatura DS18B20 (DFRobot Electronic, 2017c)

Características	
Tensão a que opera	3.0 v a 5.5 v
Exatidão	± 0.5 °C (-10°C a + 85°C)
Intervalo de temperatura de funcionamento	-55°C a +125°C

3.3.5 Sensor de Distância/Nível

O funcionamento deste sensor de distancia/nível (VL53L0X) (3.13) é baseado na tecnologia tempo de voo. Na figura 3.12 podemos ver um esquema de funcionamento do sensor. O sensor emite um feixe de luz e aguarda a reflexão do sinal num objeto. A distância é dada através do tempo que a luz demorou a atingir o objeto (Laković et al., 2019).

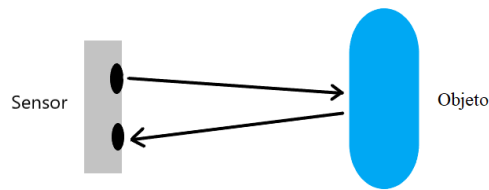


Figura 3.12: Funcionamento do Sensor *ToF*

De forma a tornar a parte de emissão e recepção compatível com ambientes sujos é aplicada uma cobertura de vidro sobre as lentes do sensor (Gilisymo, 2020; Gomes et al., 2020). Essa proteção é constituída por uma divisão central que separa fisicamente o emissor e recetor evitando fenómenos de diafonia ou *crosstalk* (ST, 2016).

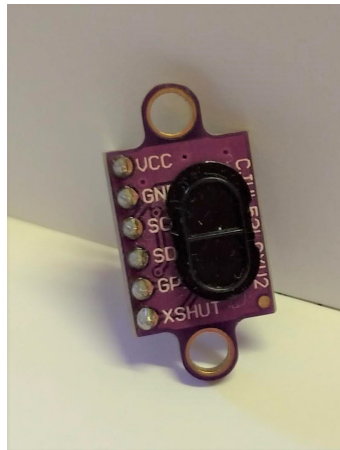


Figura 3.13: Sensor de Distância/Nível VL53L0X com *glass cover*

Para a leitura do nível do líquido foi utilizada uma biblioteca da Pololu para o sensor VL53L0X (Pololu, n.d.). No fluxograma apresentado pela figura 3.14 temos o algoritmo implementado para a medição do nível de enchimento. A função *readRangeSingleMillimeters()* é responsável por medir a distancia ao objeto/líquido. Logo após a medição da distancia é efetuado um calculo para conversão em centímetros. À distância obtida é subtraída a altura total da caixa 12.5 centímetros. De seguida é calculado o volume do líquido presente no recipiente, que é dado pela fórmula deduzida através da figura 4.17 e 4.18.

Na tabela 3.5 são apresentadas as características do sensor de nível VL53L0X, que é importante ter em consideração para que seja feito o uso correto do sensor.

Dados do sensor a ter em consideração:

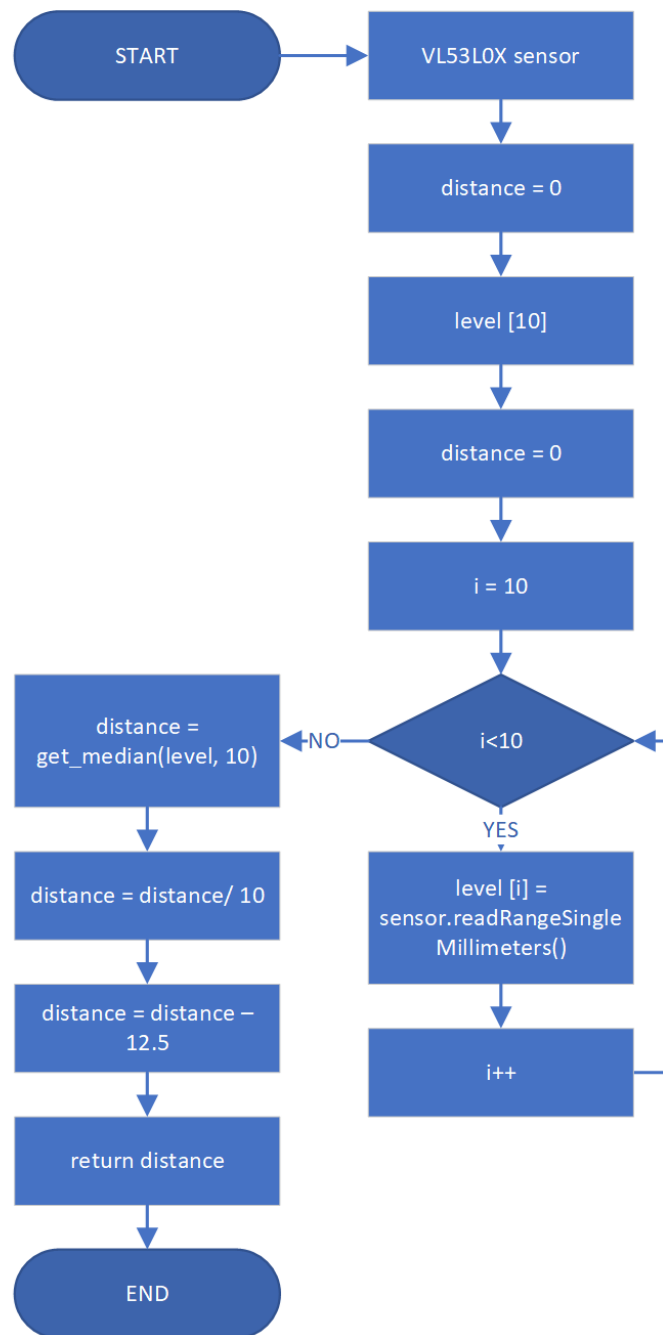
Figura 3.14: Fluxograma Função *get_level()*

Tabela 3.5: Características de hardware do sensor VL53L0X (Microelectronics, 2018)

Características	
Tensão a que opera	2.6 v a 3.5 v
Corrente a que opera	10 mA
Frequência a que opera	400 kHz
Alcance Máximo	200 cm
Intervalo de temperatura de funcionamento	-20°C a +70°C

3.3.6 Micro-controlador e Servidor

Para conectar todos os sensores foi utilizado o micro-controlador ESP32 representado na figura 3.15 , devido a sua versatilidade, estabilidade, eficiência energética e uma vasta comunidade de suporte (Gomes et al., 2020). Este micro-controlador é usado noutros projetos no âmbito da empresa. Como servidor foi utilizada uma raspberry ilustrada na figura 3.17 com a distribuição raspbian buster . O ESP32 comunica os dados para a raspberry através do modulo de comunicação sim800L (3.16). Assim que entregues à raspberry uma API (3.3.6) desenvolvida em python flask armazena-os numa base de dados relacional. A telemetria que é enviada, consiste na classificação final e na identificação da tag RFID, tornando mais eficiente o envio de informação. O envio de dados "em cru" de cada depósito teria um custo elevado com o aumento da utilização do sistema, quer do ponto de vista económico quer energético. Para fins de análise de dados a API recebe todos os dados obtidos pelos sensores.



Figura 3.15: Micro-controlador ESP32

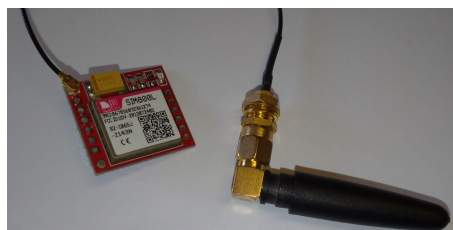


Figura 3.16: Modulo de Comunicação SIM800L

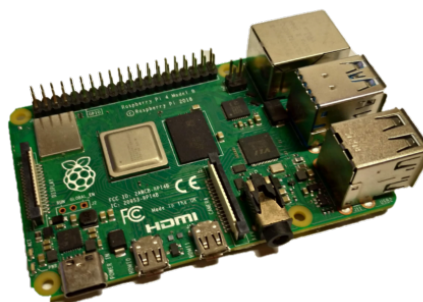


Figura 3.17: Raspberry Pi 3

Código para Receção de Dados

```
from flask import Flask, request
import urllib
import mariadb
app = Flask(__name__)

@app.route('/post', methods = ["POST"])

def post():
    data = request.get_json()
    rfid = data.get('rfid' , '')
    mac_address = data.get('mac_address', '')
    decision = data.get('decision', '')
    liquid_type = data.get('liquid_type', '')
    flowrate = data.get('flowrate', '')
    total_flowrate = data.get('total_flowrate', '')
    internal_tempearture = data.get('internal_tempearture', '')
    external_temperature = data.get('external_temperature', '')
    volume = data.get('volume', '')
    turbidity = data.get('turbidity', '')
    #database
    save_database(rfid, mac_address, decision, liquid_type, flowrate,
        total_flowrate, internal_tempearture, external_temperature,
        volume, turbidity)

def save_database(rfid, mac_address, decision, liquid_type, flowrate,
    total_flowrate, internal_tempearture, external_temperature, volume,
    turbidity):
    try:
        connection = mariadb.connect(host = 'localhost', database =
            'oil_detection', user = 'root', password = 'root', port = 3306)
        cursor = connection.cursor()
        insert_query = """INSERT INTO oil_classification (rfid,
            mac_address, decision, liquid_type, flowrate, total_flowrate,
            internal_tempearture, external_temperature, volume, turbidity)
            VALUES (%s, %s, %s, %s, %s, %s, %s, %s, %s, %s)"""
        data = (rfid, mac_address, decision, liquid_type, flowrate,
            total_flowrate, internal_tempearture, external_temperature,
            volume, turbidity)
        cursor.execute(insert_query, data)
        connection.commit()
```

```
print ("insert sucessfully")
except mariadb.Error as e:
    print ("Failed to insert")
    print (error)
finally:
    if(connection.is_connected()):
        cursor.close()
        connection.close()

app.run(host = '0.0.0.0', port = 5000)
```

3.4 Implementação do Sistema de Monitorização

A implementação do sistema passou por várias fases. Primeiro foi feita uma análise interna dos líquidos mais comuns depositados nos oleões domésticos. Na figura 3.18, 3.19 e 3.20 temos os três líquidos utilizados para a realização dos testes.



Figura 3.18: Coletor com Água da Torneira

Depois de saber os líquidos iniciou-se a pesquisa pelos sensores. Dado a pouca bibliografia em sistemas de análise de óleo com sensores de baixo custo, foi analisado o estado da arte em sistema de monitorização de água. Após essa análise foram escolhidos os sensores tendo em consideração o custo e o seu funcionamento. Depois da seleção, cada sensor foi testado individualmente para serem ajustados modos de operação e ava-

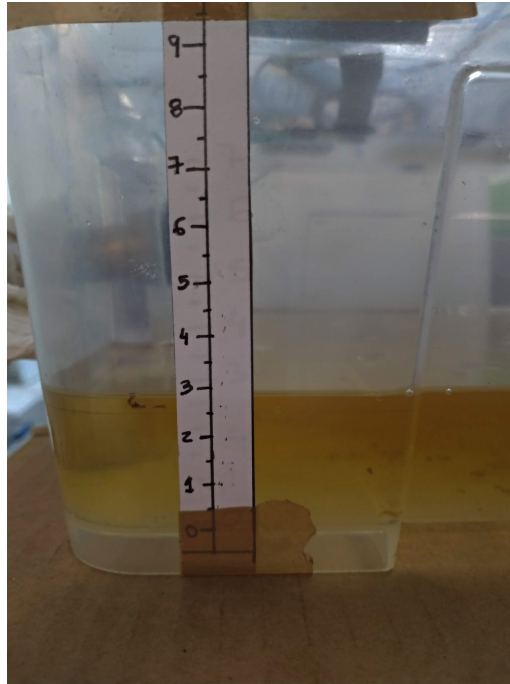


Figura 3.19: Coletor com Óleo Alimentar Usado



Figura 3.20: Coletor com Óleo de Carro Usado

liação de hipóteses de assemblagem em cada um dos protótipos. O sensor de fluxo que está representado na figura 3.4, foi ligado a duas mangueiras, uma para cada extremidade do sensor correspondente á entrada e saída de líquido. A extremidade de saída foi ligada a um dos lados da caixa e no lado oposto foi colocada uma torneira para facilitar a saída

do líquido. Já o sensor de turbidez presente na figura 3.6 foi assembled num dos cantos junto á base a fim de facilitar a sua total imersão no líquido, tendo o cuidado que o sensor não ficasse na horizontal para que não houvesse acumular de partículas que pudessem estar presentes no líquido. O sensor de temperatura mostrado na figura 3.8 foi montado na tampa da caixa para recolher leituras do ambiente exterior, ao paço que o sensor de temperatura de líquido que está representado na figura 3.10, foi colocado no interior da caixa num dos cantos junto a base para que também estivesse ao máximo em contacto com o líquido. Por último no centro da caixa foi montado sensor de nível ilustrado na figura 3.13. Todos os sensores foram fixados a caixa com o recursos de cola quente, com a exceção do sensor de fluxo. Cada sensor foi novamente testado separadamente, para verificar o seu correto funcionamento. Depois da montagem concluída, foi efetuada uma validação do correto funcionamento do código com todos os sensores em conjunto e iniciada a fase experimental. Ao longo de cada experiência foi analisado o comportamento de cada sensor para verificar anomalias presentes no hardware. No decorrer dos testes o sensor de turbidez trouxe alguma preocupação, pois não era completamente isolado e o líquido podia facilmente entrar através do encaixe afetando assim algumas leituras. A sensorização do meio, independentemente das tipologias de sensores utilizadas, não está isenta de leituras que não correspondem às grandezas reais a serem medidas. Estas leituras são designadas por ruído. Para minimizar esses erros são frequentemente aplicados filtros para reduzir o efeito de ruído sobre as leituras. A mediana é utilizada para reduzir interferências (Valadares et al., 2012). Logo após cada sensor, com a exceção do sensor de fluxo, recolher a informação é calculada a mediana das dez leituras que cada um efetua. Quando todos os sensores terminam é realizada uma classificação (0 - água; 1 - OAU; 2 - OCU) que define se os valores recolhidos estão dentro dos parâmetros da classificação de OAU. Depois dessa análise o micro-controlador comunica o resultado através do sim800l para a raspberry pi onde os respetivos dados são guardados numa base de dados. Para que seja possível atribuir o depósito ao respetivo utilizador é necessário identifica-lo, para isso é usada uma tag RFID, com um código único.

Capítulo 4

Processo Experimental de Aferição da Identificação de Líquidos

Este Capítulo está dividido em duas secções. Na primeira secção descreve-se toda a parte experimental a que foi sujeito o protótipo do sistema proposto neste trabalho. Nesta secção detalha-se todo o processo desde a análise inicial de montagem das três instâncias do protótipo, até aos testes realizados para obtenção de dados dos diferentes sensores utilizados. Na segunda secção apresenta-se os resultados obtidos e a análise dos dados provenientes dos vários sensor utilizados, nomeadamente, o sensor de fluxo, turbidez e de nível/volume.

A parte experimental teve início com a criação dos três protótipos representados na figura 4.1. Cada uma das réplicas destes protótipos foi utilizada para testar individualmente cada um dos três tipos de líquidos:

- Prototipo 1: utilizado para testar depósitos de Água;
- Prototipo 2: utilizado para testar depósitos de Óleo Alimentar Usado OAU;
- Prototipo 3: utilizado para testar depósitos de Óleo de Carro Usado.

A experiência foi dividido em duas partes. A primeira parte consiste na realização de três medições com o mesmo líquido à temperatura ambiente em cada caixa, de forma a minimizar erros no procedimento de recolha de medidas. A segunda fase consiste em manipular a temperatura do líquido de forma a simular temperaturas ambiente ao longo do ano. Para uma melhor aproximação ao ambiente real de produção foram tidos em consideração os valores de extremos climatológicos registados pelo Instituto Português do Mar e da Atmosfera IPMA (IPMA, 2021) na figura 4.2.

As temperaturas consideradas para esta segunda parte oscilam portanto entre os 5°C e os 40°C. Da mesma forma que na primeira fase, as experiências de recolha de medições também se repetiram três vezes com cada líquido.



Figura 4.1: Início da montagem dos três protótipos

Extremos Climatológicos - Continente				
Variável	CONTINENTE			
	Valor	Local	Data	
Maior valor da temperatura mínima do ar	+ 32,0 °C	Faro	26/07/2004	
Menor valor da temperatura mínima do ar	- 16,0 °C	Penhas da Saúde	04/02/1954	
Maior valor da temperatura máxima do ar	+ 47,3 °C	Amareleja	01/08/2003	
Menor valor da temperatura máxima do ar	- 10,2 °C	Penhas da Saúde	04/02/1954	
Maior valor da temperatura média do ar	+ 37,1 °C	Amareleja	01/08/2003	
Menor valor da temperatura média do ar	- 11,1 °C	Lagoa Comprida	12/01/1945	
Maior valor da precipitação em 24 h	220,0 mm	Penhas da Saúde	14/01/1977	
Maior valor da rajada	>167 km/h *	Porto/S. Pilar	15/02/1941	

(*) maior valor registado pelo anemómetro que avariou (ciclone de 1941)

Figura 4.2: Temperaturas Extremas Registadas pelo IPMA (IPMA, 2021)

4.1 Primeira Fase de Recolha de Dados dos Sensores

Para ambas as experiências foi considerado o peso máximo da garrafa padronizada 2000g. A primeira fase iniciou-se com a medição de dois quilos de cada um dos líquidos numa balança de laboratório e foram observados os seus aspetos físicos (resíduos, emulsão e cor) presentes nas amostras. Estes valores foram registados na tabela 4.1. Os dois quilos correspondem a capacidade máxima que uma garrafa padronizada poderá levar.

De forma a tornar o fluxo de saída constante, o líquido foi colocado num recipiente com torneira (4.3) e medida a temperatura do líquido com um termómetro de laborató-

Tabela 4.1: Registo de valores não sensoriais de cada amostra (Fase 1)

Amostras para a primeira fase			
	Água	OAU	OCU
Peso (g)	2000	2000	2000
Cor	Transparente	Amarelo	Preto
Resíduos	Não detetados	Não detetados	Não detetados

rio como podemos observar na figura 4.4. O processo de leituras sensoriais é acionado quando o utilizador aciona um interruptor presente no oleão. O micro-controlador acorda e fica à escuta de uma *tag RFID* que está associada ao utilizador. Assim que é feita a leitura o sistema de sensores é acionado, com a abertura da torneira e o processo de entrada do líquido na caixa de armazenamento é iniciado, passando o líquido pelo sensor de fluxo. De seguida os sensores de nível, temperatura do líquido, turbidez e temperatura ambiente efetuam as leituras como podemos observar no fluxograma da figura 4.5. O micro-controlador envia o resultado para uma API, onde posteriormente a informação é armazenada numa base de dados local.

Para cada um dos líquidos o procedimento repete-se, onde são efetuadas novas pesagens garantindo assim que a quantidade inserida é sempre a mesma.



Figura 4.3: Recipiente com Torneira

4.2 Segunda Fase de Recolha de Dados dos Sensores

Para a segunda fase o processo é semelhante ao anterior. São efetuadas as pesagens dos três líquidos e registadas juntamente com as características cor e resíduos na tabela 4.2.

O que diferencia esta fase da primeira é o aquecimento do líquido desde os 5°C aos 40°C em intervalos de 5°C. Cada líquido foi aquecido num agitador magnético com aquecimento e termómetro para controlar a temperatura como podemos observar na figura 4.6. O local de realização dos testes permite que a temperatura ambiente seja controlada,

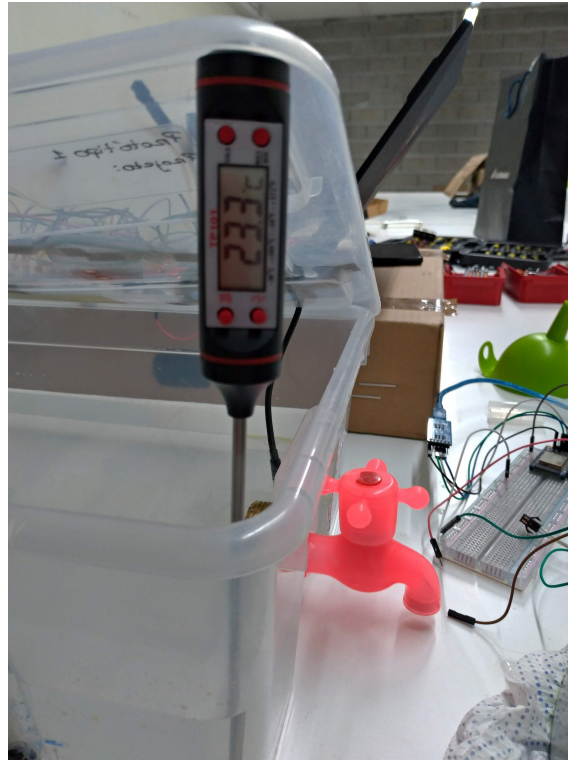


Figura 4.4: Medição da temperatura da água com termómetro de laboratório (temperatura ambiente)

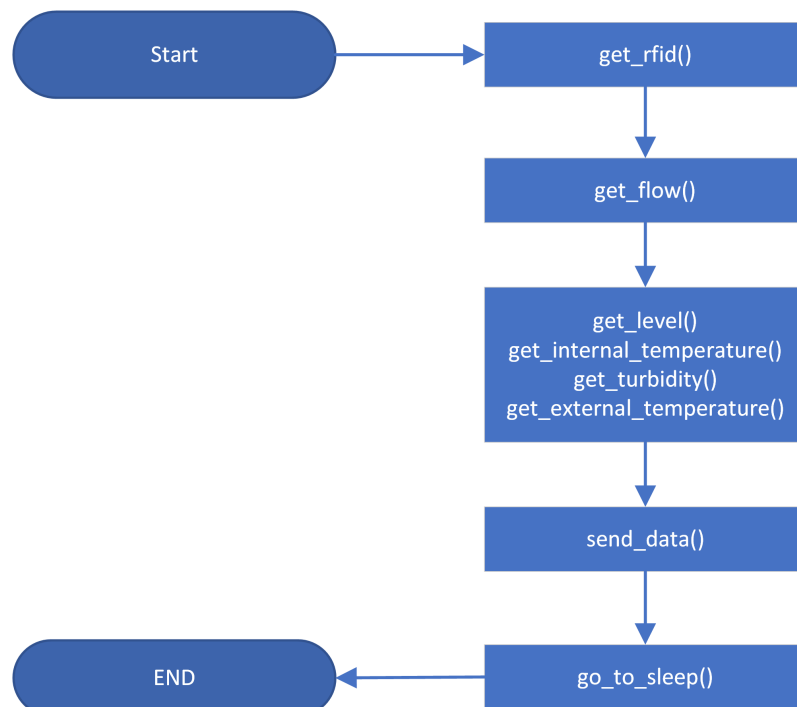


Figura 4.5: Fluxograma do *Firmware* Desenvolvido para o Micro-controlador

Tabela 4.2: Registo de valores não sensoriais de cada amostra (Fase 2)

Amostras para a segunda fase			
	Água	OAU	OCU
Peso (g)	2000	2000	2000
Cor	Transparente	Amarelo	Preto
Resíduos	Não detetados	Não detetados	Não detetados

mantendo-se nos 23°C.

Em ambos os testes, no caso do sensor de fluxo o número da medição está dependente da

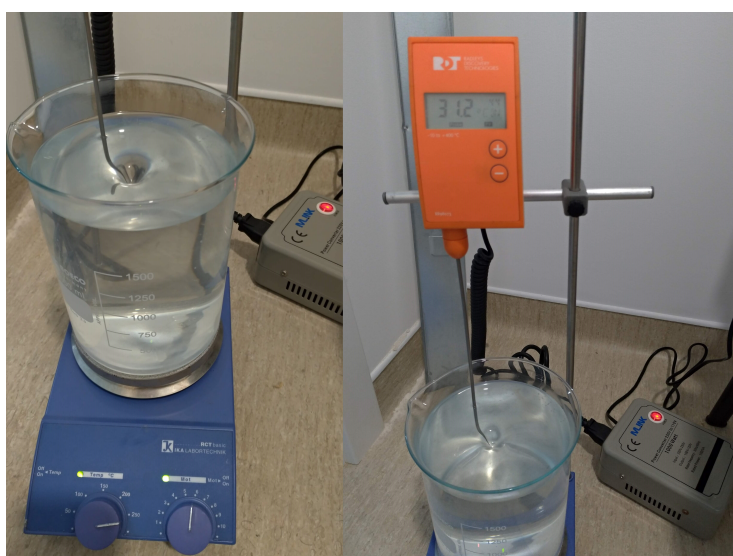


Figura 4.6: Aquecimento da água

quantidade de líquido inserida, pois o sensor apenas inicia a leitura assim que o líquido é inserido e termina quando não houver mais líquido a passar pelas tubagens. O sensor de nível, temperatura do líquido, turbidez e temperatura ambiente vão efetuar dez leituras, sendo que cada teste é repetido três vezes. No momento de leitura de cada um dos sensores (temperatura interna líquido, temperatura externa, turbidez e nível do líquido) são efetuadas 10 leituras e é calculada a mediana, para registar o melhor valor, eliminando assim possíveis erros.

4.3 Resultados das Medições com os Sensores

Esta secção encontra-se dividida em três subsecções, cada uma delas apresenta os resultados obtidos através dos sensores utilizados na parte experimental.

4.3.1 Sensor de Fluxo

Nesta subsecção são apresentados os resultados do sensor de fluxo. No eixo das ordenadas (y) é representado o fluxo em mililitros por minutos e no eixo das abcissas (x) o tempo em segundos. O primeiro gráfico representado na figura 4.7 corresponde aos testes realizados na primeira fase experimental. Esses resultados permitem avaliar a existência de diferenças entre os três líquidos (água, OAU e OCU). Na análise do gráfico, é possível observar dois conjuntos de linhas distintas. A água para a mesma quantidade de líquido apresenta valores de fluxo maiores e conseqüentemente tempo inferior quando comparada com as linhas dos óleos usados. Após estes resultados deu-se início á segunda fase do experimento com manipulação as temperaturas dos líquidos.

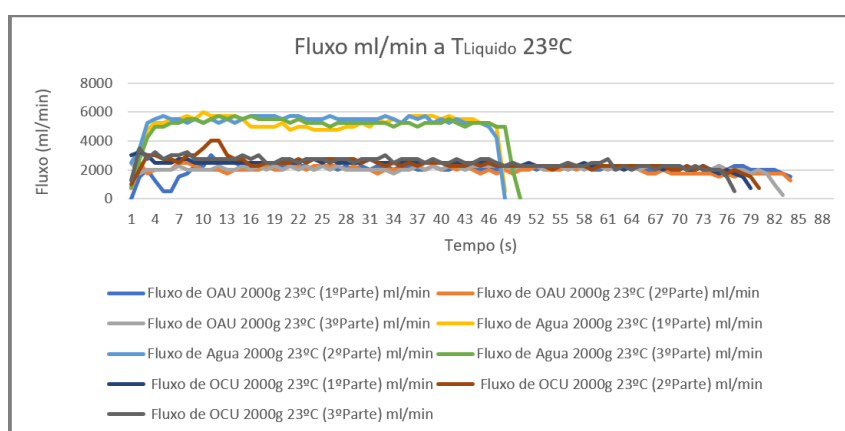


Figura 4.7: Resultados do Fluxo com Temperatura de 23°C

Os restantes gráficos da figura 4.8 à figura 4.11 correspondem aos resultados com temperaturas do líquido entre os 5°C e 40°C, em intervalos de 5°C. Devido á sala climatizada foi possível manter a temperatura ambiente controlada nos 23°C. Interpretando estes gráficos verificamos que existe uma diferença entre as linhas que representam a água e as linhas que representam os óleos. A medida que a temperatura do líquido aumenta, nas linhas que representam os óleos observa-se que o tempo é menor. Podemos então concluir que a mesma quantidade de líquido demora menos tempo a passar no sensor de fluxo. Colocando lado a lado os extremos de temperatura (4.8 e 4.11) torna-se evidente a diferença do espectro. A viscosidade do líquido diminuiu á medida que a temperatura aumenta, isso deve-se a propriedade física que define a resistência do líquido (Prolab, 2014). Por isso á medida que a temperatura dos óleos aumenta (4.9 e 4.10), o líquido fica menos viscoso e passa de forma mais rápida, diminuindo assim o tempo de passagem.

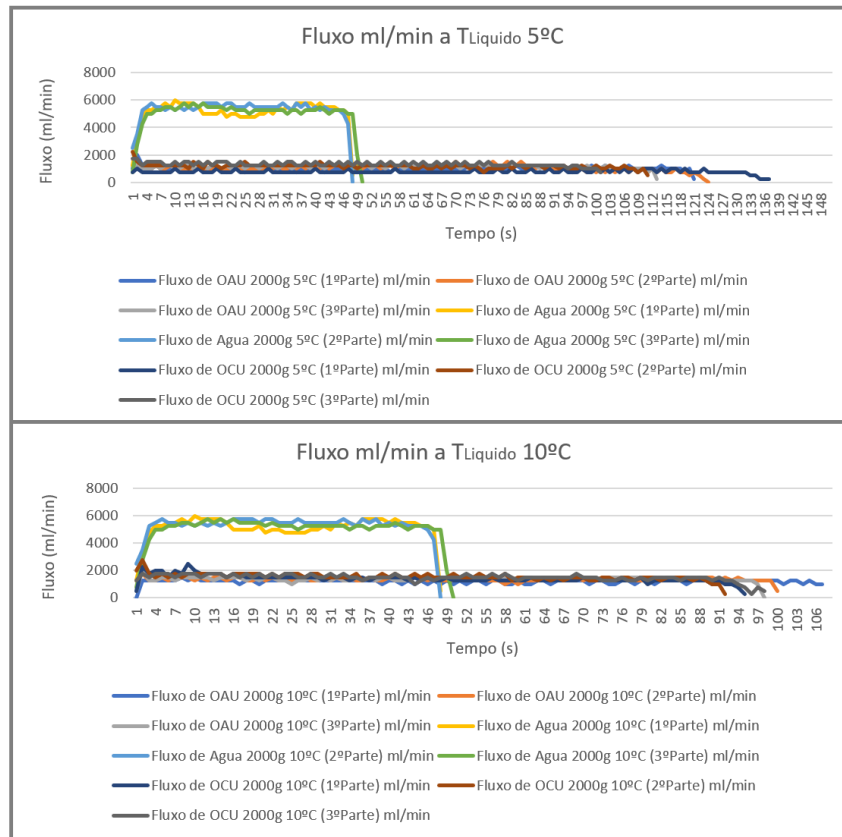


Figura 4.8: Resultados Fluxo com Temperatura de 5°C e 10°C

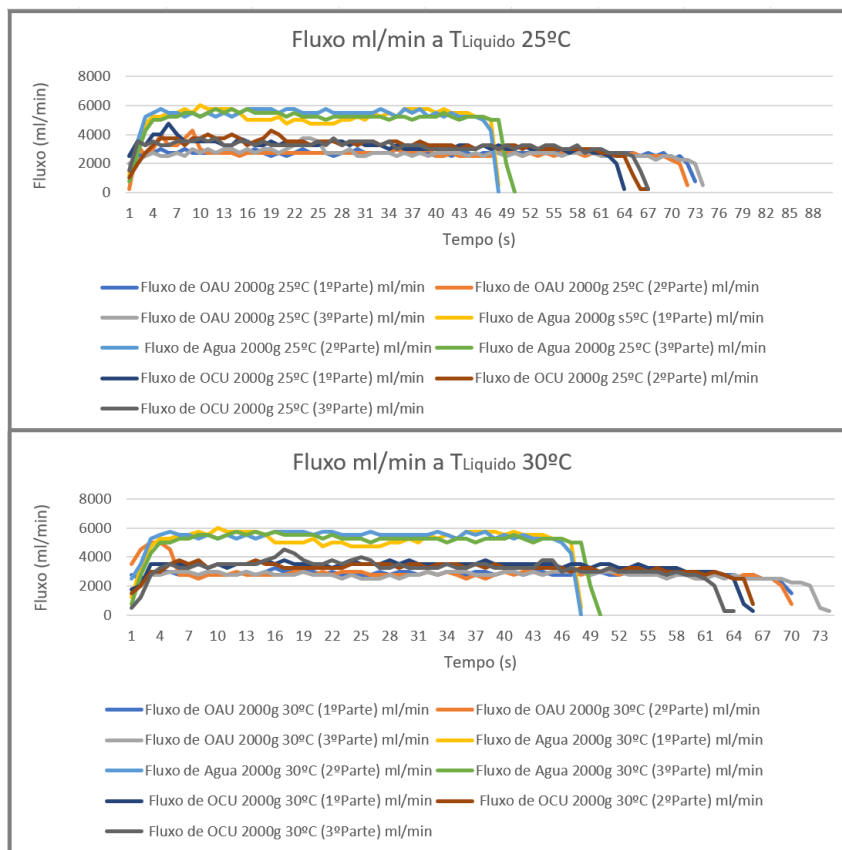


Figura 4.10: Resultados Fluxo com Temperatura de 25°C e 30°C

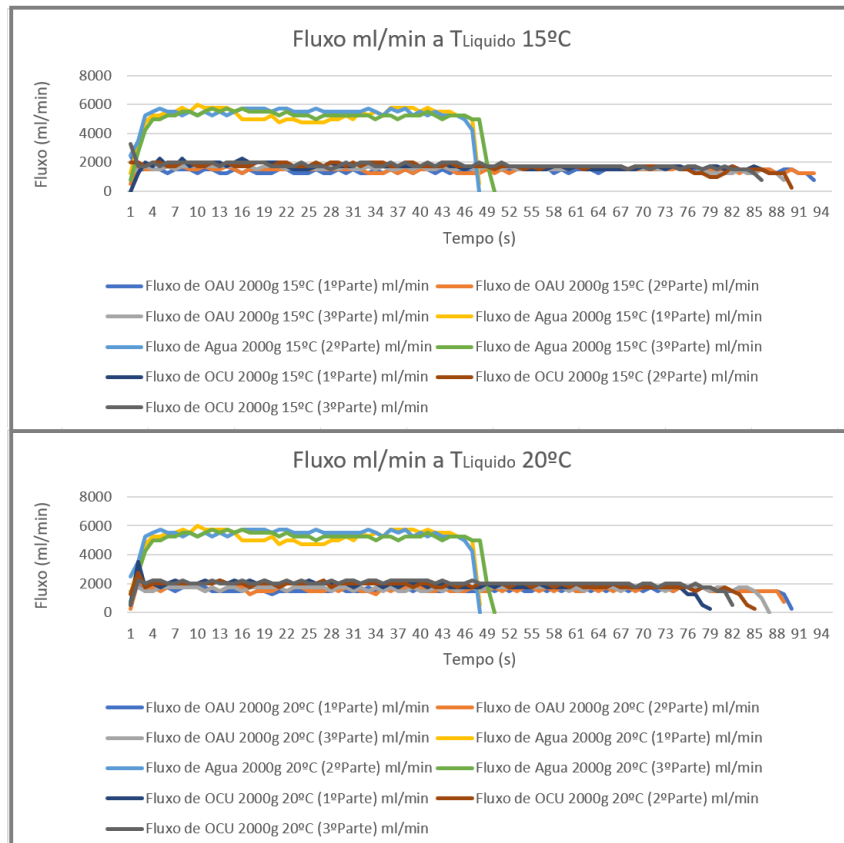


Figura 4.9: Resultados Fluxo com Temperatura de 15°C e 20°C

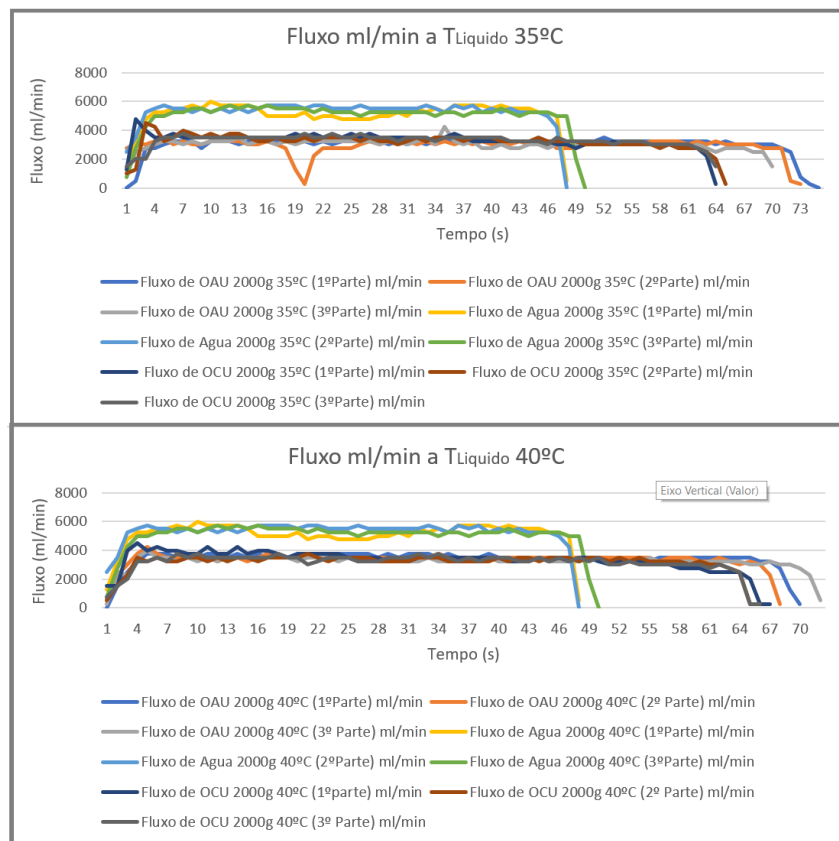


Figura 4.11: Resultados Fluxo com Temperatura de 35°C e 40°C

4.3.2 Sensor de Turbidez

Nesta subsecção são apresentados os resultados do sensor de turbidez. A turbidez é calculada pela formula (DFRobot Electronic, 2018):

$$y = -1120.4x^2 + 5742.3x - 4352.9$$

o y representa a turbidez em **NTU** e o x a tensão em volt que corresponde ao valor lido pelo sensor. No eixo das ordenadas (y) temos representado a turbidez, e no eixo das abcissas (x) o número de repetições, ou seja, o numero de leituras efetuadas com intervalo de amostragem de cinco milissegundos. A figura 4.12 corresponde á primeira fase experimental dos testes realizados à temperatura ambiente de 23°C. O objetivo consiste em perceber se existem diferenças entre os três líquidos. Ao interpretar os resultados percebemos que as linhas da água e do **OAU** são bastante próximas uma da outra. Essa aproximação deve-se à transparência semelhante dos dois líquidos como podemos visualizar na figura 3.18 e 3.19. Durante a realização dos testes o sensor apresentou inconsistências nas leituras (4.13). Estas foram provocadas devido a um mau isolamento que permitia a entrada de líquido dentro do próprio sensor, e que afetou algumas leituras. Já a tonalidade tipicamente opaca do **OCU** (figura 3.20) leva a que o valor medido pelo sensor seja zero, o que resulta numa turbidez constante de -4352.9 NTU, ou seja, o sensor não é capaz de captar o feixe de luz emitido.

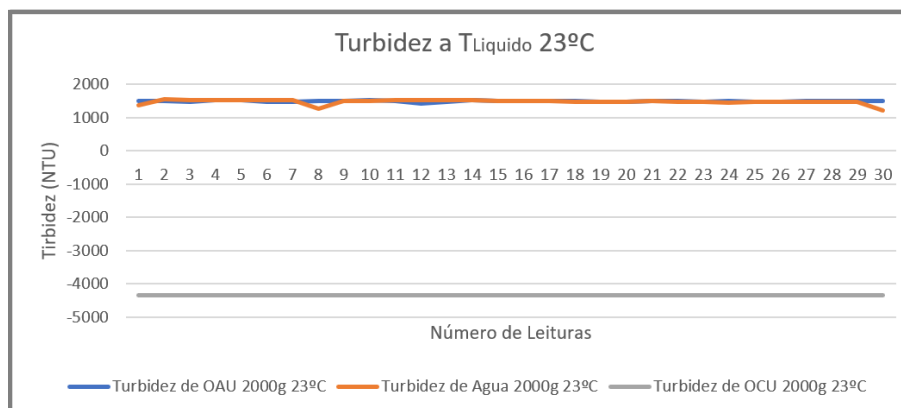


Figura 4.12: Resultados Turbidez com Temperatura de 23°C

Os restantes gráficos presentes na figura 4.13 á figura 4.16 correspondem aos resultados com temperaturas do líquido entre os 5°C e 40°C, tendo um intervalo entre valores de 5°C. A temperatura ambiente registada ao longo dos testes foi de 23°C, sendo este um ambiente controlado. Observando as linhas que representam a água e o **OAU**, podemos analisar que os valores obtidos são próximos (4.14 e 4.15). A água apresenta valores que variam entre [1220.478;1547.987] e o **OAU** com valores de [132.144;1535.607].

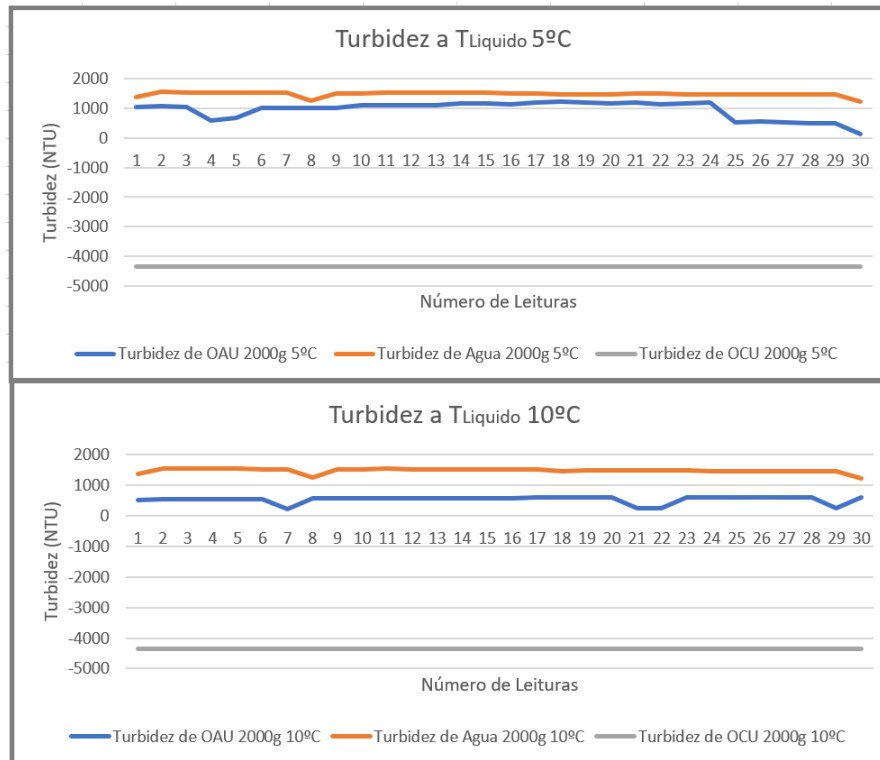


Figura 4.13: Resultados Turbidez com Temperatura de 5°C e 10°C

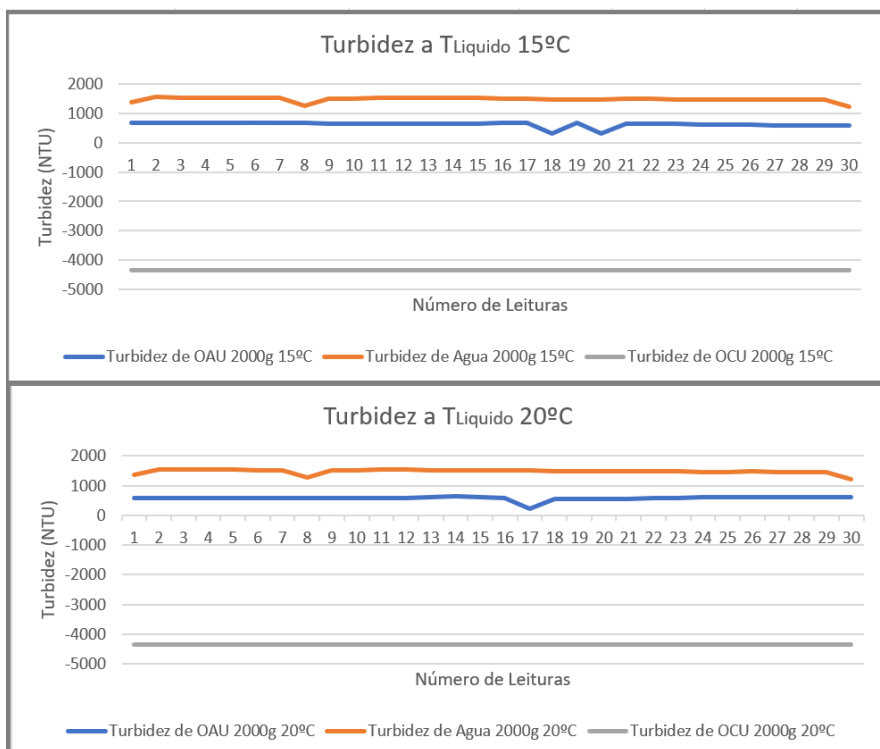


Figura 4.14: Resultados Turbidez com Temperatura de 15°C e 20°C

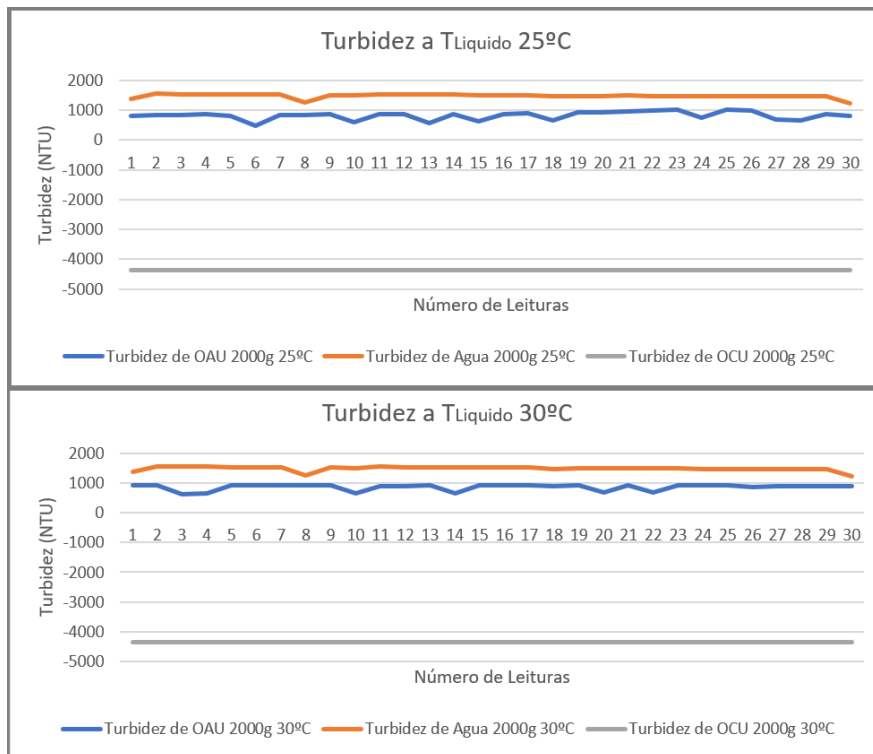


Figura 4.15: Resultados Turbidez com Temperatura de 25°C e 30°C

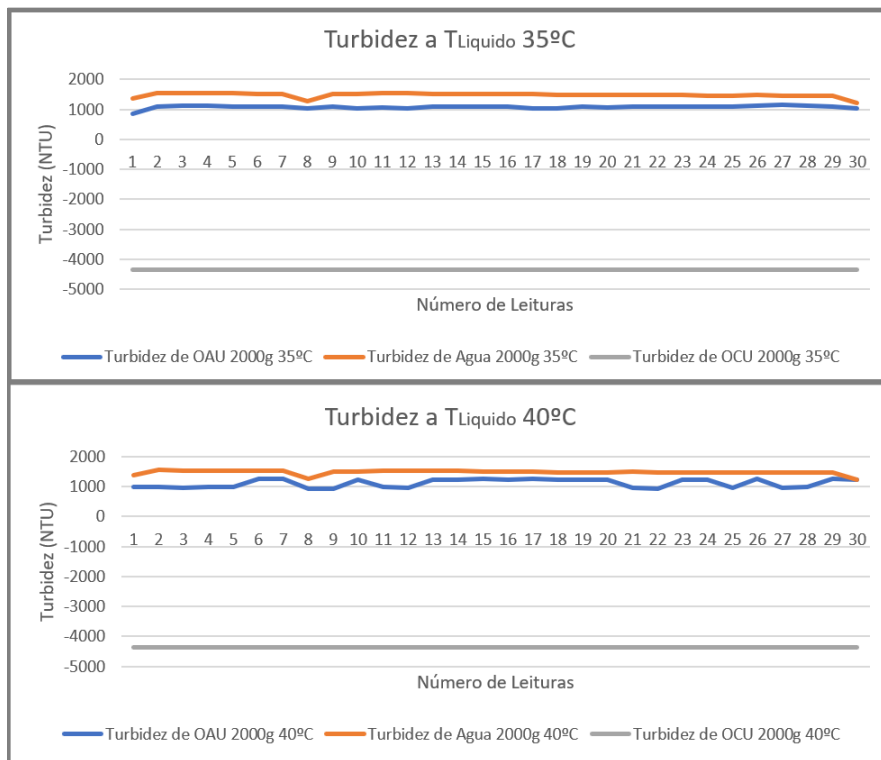


Figura 4.16: Resultados Turbidez com Temperatura de 35°C e 40°C

4.3.3 Sensor de Nível

Nesta subsecção são apresentados os resultados do sensor de nível convertidos em volume. Para determinar o volume do líquido foram aplicadas fórmulas para calcular a área do trapézio, sendo a figura geométrica mais semelhante a caixa utilizada. Na figura 4.17, podemos ver as medidas da caixa, tal com as incógnitas a ser calculadas. Foi medido o nível do líquido com uma régua para calcular o volume real do líquido na caixa.

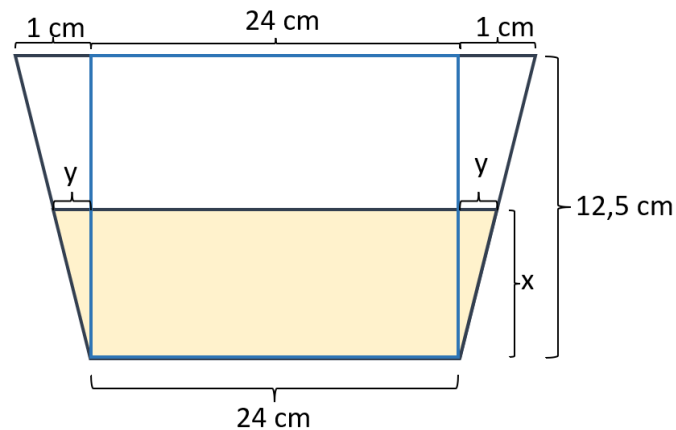


Figura 4.17: Medições do Recipiente Utilizado no Protótipo

O volume do trapézio é dado pela fórmula:

$$V(x) = Ab * h$$

Para determinar o volume do líquido é necessário primeiro calcular a área da base que é dada pela fórmula:

$$Ab = \frac{(B + b) * h}{2}$$

Sabendo que (4.17): $b = 24$; $B = 24 + 2y$; $h = x$;

Para obter o y aplicamos a semelhança de triângulos (4.18):

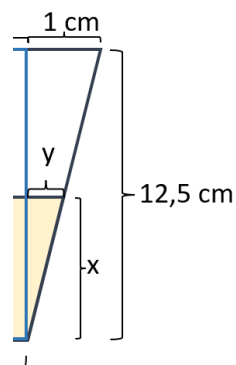


Figura 4.18: Semelhança de Triângulos

$$\frac{12,5}{x} = \frac{1}{y}$$

$$y = \frac{x}{12,5}$$

Para calcular o B :

$$\begin{aligned} B &= 24 + 2y \\ &= 24 + 2 * \left(\frac{x}{12,5}\right) \\ &= 24 + \frac{2x}{12,5} \end{aligned}$$

Aplicando os valores calculados anteriormente para calcular a Área da Base:

$$\begin{aligned} Ab &= \frac{(B + 24) * x}{2} \\ &= \frac{\left(\left(24 + \frac{2x}{12,5}\right) + 24\right) * x}{2} \\ &= \frac{\left(48 + \frac{2x}{12,5}\right) * x}{2} \end{aligned}$$

Depois de determinada a área é calculado o volume em ordem a x :

Calcular o volume:

$$\begin{aligned} V(x) &= Ab * h \\ &= \frac{\left(48 + \frac{2x}{12,5}\right) * x}{2} * 35 \\ &= \frac{\left(\frac{600x + 2x^2}{12,5}\right)}{2} * 35 \\ &= \frac{\frac{21000x + 70x^2}{12,5}}{2} \\ &= \frac{1680x + 5,6x^2}{2} \\ &= 840x + 2,8x^2 \end{aligned}$$

Aplicando os valores reais de cada um dos líquidos obteve-se os seguintes resultados:

Para $x = 2.5 \text{ cm}$ (corresponde à altura real da água):

$$V(2.5) = 840x + 2,8x^2$$

$$= 840 * 2,5 + 2,8 * 2,5^2$$

$$= 2117,5 \text{ cm}^3$$

Temos um volume de água igual a $2117,5 \text{ cm}^3$

Para $x = 3 \text{ cm}$ (corresponde á altura real de OAU e OCU presente na caixa):

$$V(3) = 840x + 2,8x^2$$

$$= 840 * 3 + 2,8 * 3^2$$

$$= 2545,2 \text{ cm}^3$$

O volume de OAU e OCU corresponde a $2545,2 \text{ cm}^3$.

Depois de calculada a equação que permite determinar o volume do líquido presente na caixa foi aplicada a fórmula aos valores lidos pelo sensor e obteve-se os gráficos apresentados desde a figura 4.19 á figura 4.23.

No eixo das ordenadas (y) temos representado o volume em cm^3 e no eixo das abcissas (x) o número de leituras com intervalo de amostragem de cinco milissegundos. O gráfico presente na figura 4.19 corresponde á primeira fase experimental dos testes realizados á temperatura ambiente de 23°C . Onde podemos observar que os valores da água são os valores que apresentam maior consistência. Os valores correspondentes ao OAU e ao OCU apresentam inconsistências nas leituras (4.20), devendo-se aos diferentes níveis de reflexão provocados pelas diferentes cores dos alvos (Microelectronics, 2018). Os valores de OCU são os valores mais diferentes dos valores reais, o valor real do nível de líquido é de três centímetros e o sensor lê valores entre sete e oito centímetros. Como o objeto é mais escuro a reflexão do feixe vai ser demasiado baixa, pois existe uma absorção do feixe emitido pelo sensor.

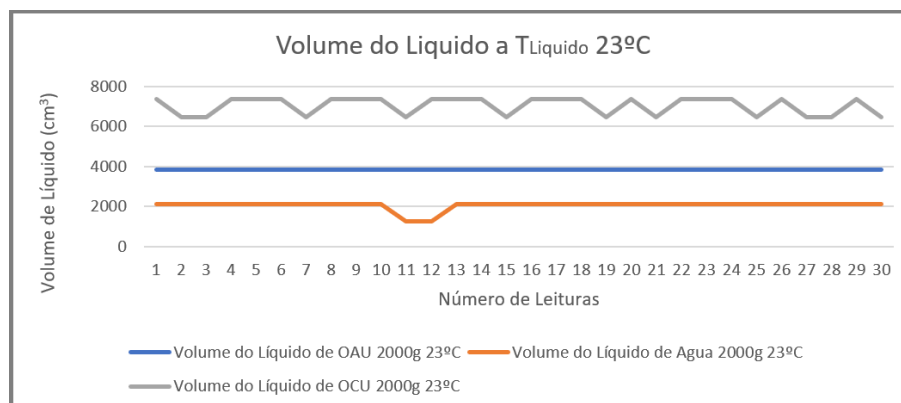


Figura 4.19: Resultados do Volume com Temperatura de 23°C

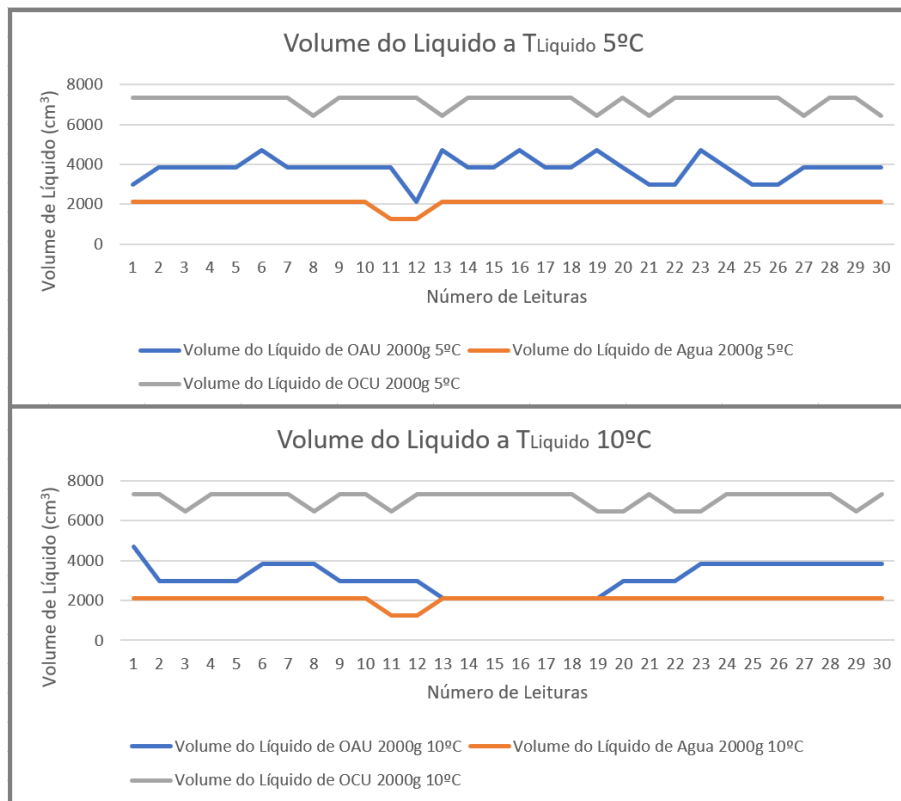


Figura 4.20: Resultados Volume com Temperatura de 5°C e 10°C

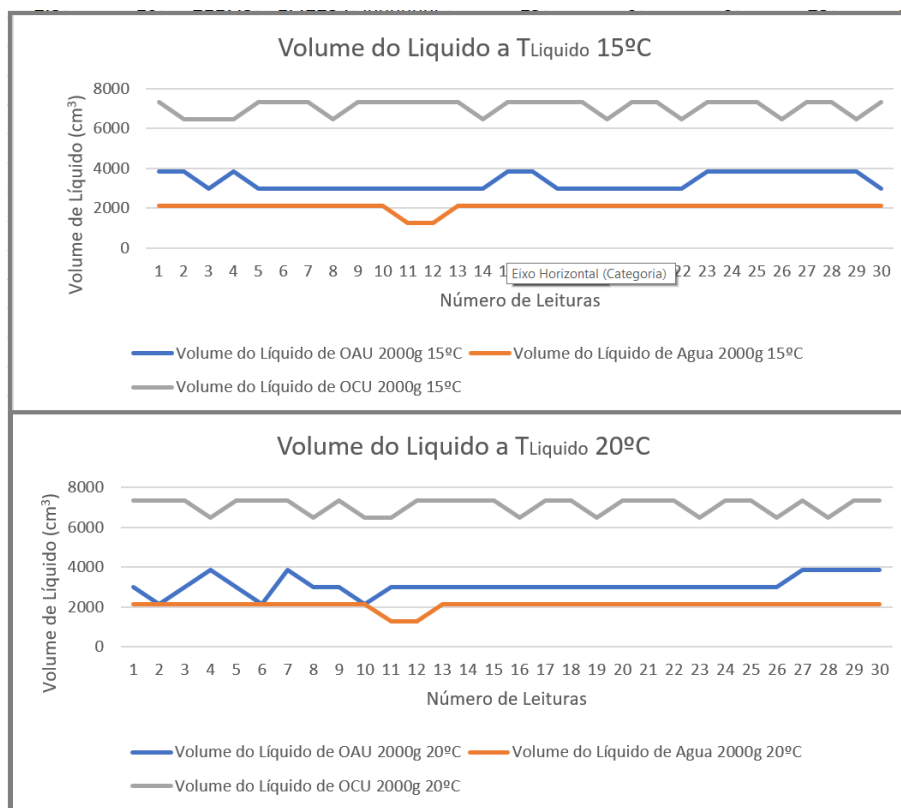


Figura 4.21: Resultados Volume com Temperatura de 15°C e 20°C

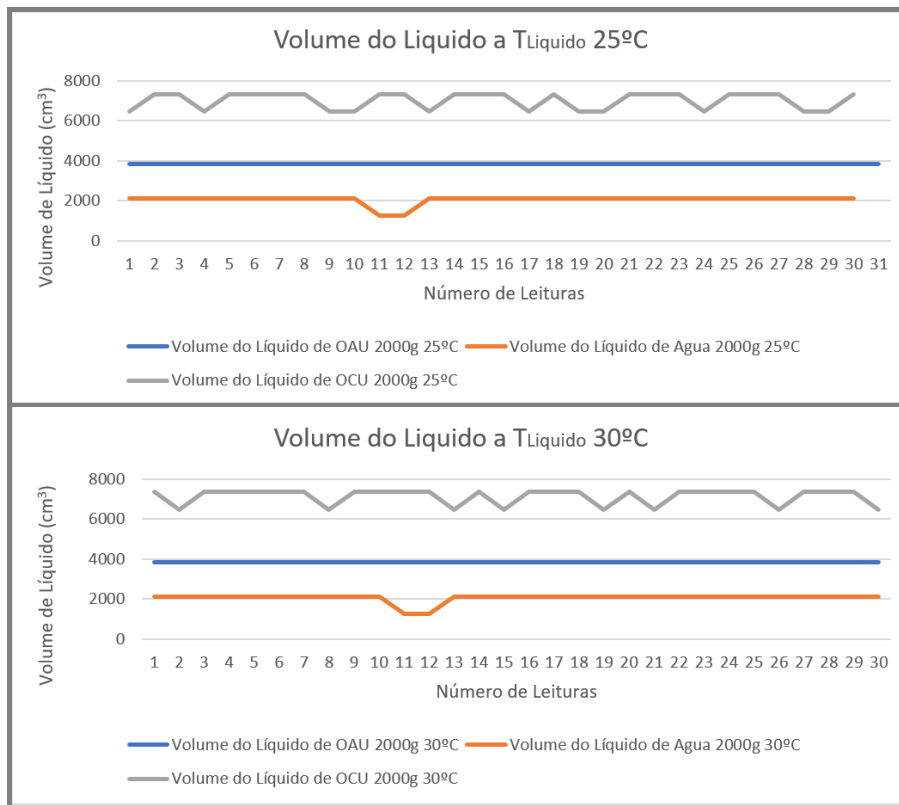


Figura 4.22: Resultados Volume com Temperatura de 25°C e 30°C

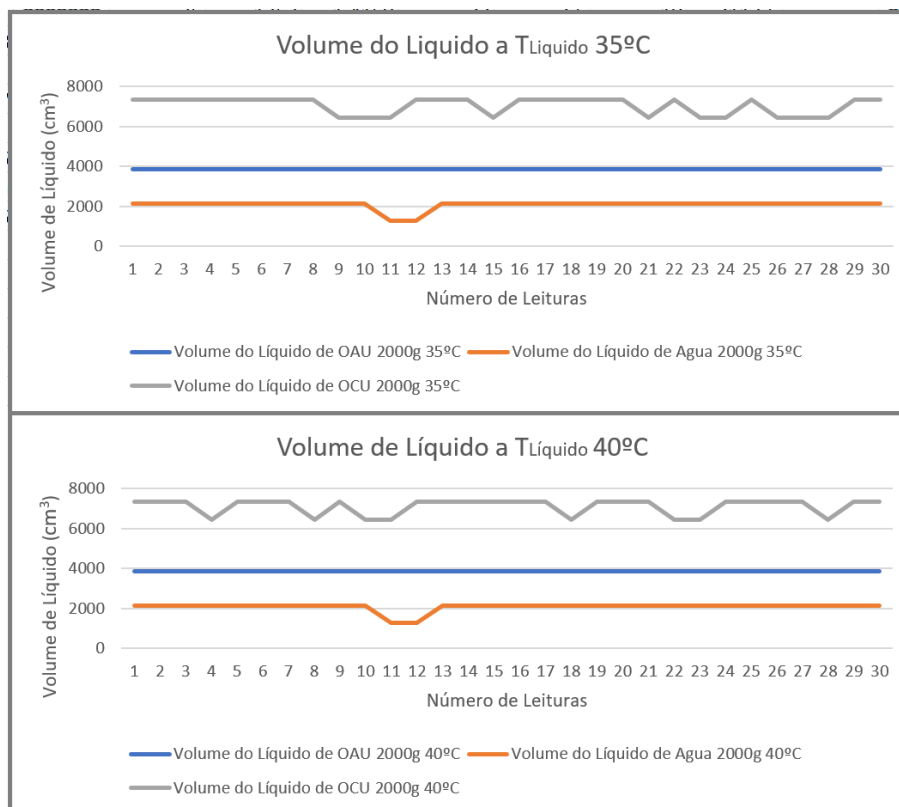


Figura 4.23: Resultados Volume com Temperatura de 35°C e 40°C

4.3.4 Identificação do Líquido

Na tabela 4.3 estão representados os valores mínimos e máximos, $[min;max]$, das leituras obtidas por cada sensor. A coluna *tempo de fluxo* representa a diferença entre o tempo em que o sensor começa a ler e o momento em que termina. Através dos resultados obtidos com o sensor de fluxo representados também pela figura 4.7 à 4.11, é possível distinguir entre a água, o OAU e o OCU. Os valores registados pelo sensor na água têm uma máximo de 6000 ml/min, já no caso dos óleos não ultrapassam os 5000 ml/min. Observando a coluna do *tempo de fluxo* é possível verificar diferenças significativas, para o mesmo peso de líquido. Os tempos de passagem pelo sensor variam devido as propriedades físicas de cada um dos líquidos.

Com a *turbidez*, para os casos de estudo apresentados, conseguiu-se distinguir entre OAU e OCU, devido as diferentes tonalidades que ambos os líquidos (3.19) e (3.20) apresentam. Caso o OCU apresentasse uma tonalidade mais clara, os resultados poderiam eventualmente ser mais semelhantes aos do OAU, dificultando a sua distinção com o uso exclusivo do sensor de turbidez. Assim, através do sensor de nível observam-se diferenças nos três líquidos. A água tem um máximo de 2117.5 cm^3 , o OAU de 4704.7 cm^3 e o OCU de 7342.3 cm^3 .

Com a utilização do sensor de fluxo conseguimos distinguir óleos de água. Contudo, para a distinção entre óleos é necessário recorrer a outros sensores como o de turbidez e de nível. Para este caso de estudo só foi possível distinguir os líquidos através da fusão dos dados dos vários sensores estudados e testados.

Na coluna *Classificação*, estão representados os valores que identificam cada um dos três líquidos, de forma a distinguir os resultados obtidos através de uma classificação simples. O valor zero corresponde à água, o valor um ao OAU e por fim o valor dois diz respeito ao OCU. Na última coluna temos, a título de exemplo, os pontos que representam a bonificação dada ao utilizador pelo depósito efetuado (NB: apenas os depósitos de OAU contemplam bonificações atribuídas aos depositantes).

Tabela 4.3: Mínimos e Máximos dos Resultados Obtidos pelos Sensores

Tipo de Líquido	Fluxo (ml/min)	Tempo de Fluxo (s)	Turbidez (NTU)	Volume (cm^3)	Classificação	Pontos
Água	[500; 6000]	[47; 49]	[1220.5; 1548.0]	[1266.3; 2117.5]	0	0
OAU	[250; 5000]	[67; 123]	[132.14; 1535.6]	[3836.7; 4704.7]	1	5
OCU	[250; 4750]	[63; 136]	[-4352.9 ; -4352.9]	[6457.5; 7342.3]	2	0

Capítulo 5

Conclusão

O Óleo Alimentar Usado (OAU) proveniente de ambientes domésticos e da indústria hoteleira, constitui uma fatia muito significativa da percentagem total de gorduras que são despejadas nos sistemas de esgotos. Estes resíduos causam não só problemas nas canalizações e sistema de esgotos como também contribuem significativamente para a poluição dos sistemas de tratamento de águas.

Da mesma forma que já se procede à recolha e reciclagem generalizada de papel, vidro e plástico, torna-se cada vez mais premente a necessidade de melhoramento da eficiência do sistema de reciclagem de OAU. A monitorização e automatização dos pontos de recolha de OAU poderão ter, cada vez mais, um papel importante no aumento da eficiência e adesão à reciclagem proveniente de uso doméstico, e consequente redução na poluição causada por estes resíduos.

Neste projeto foi desenhada, desenvolvida e avaliada uma solução IoT para monitorizar de forma automática os depósitos nos oleões de rua. Esta solução teve como principal objetivo distinguir o tipo de líquidos vulgarmente depositados (cf. óleo alimentar usado, água e óleo de carro usado) nos pontos de recolha atuais. Na solução desenvolvida combinou-se a utilização de vários tipos de sensores, nomeadamente: o sensor de turbidez, que permite medir a turbidez do líquido depositado; o sensor de fluxo que mede a quantidade de líquido a circular na conduta de recolha por unidade de tempo; o sensor de nível que mede a distância à superfície do líquido presente no recipiente de recolha (posteriormente convertida em volume); os sensores de temperatura que medem, respetivamente, a temperatura do ambiente e do líquido. A combinação das medidas recolhidas por estes sensores permitem-nos, de acordo com os testes efetuados, distinguir os tipos de líquidos mais depositados nos oleões dos sistema de recolha atuais. A capacidade de monitorizar e automatizar de forma remota esta distinção entre os vários líquidos depositados, permite ainda associar individualmente a qualidade de cada depósito aos respetivos utilizadores. Desta forma, torna-se possível utilizar mecanismos de gestão baseados em recompensas para incentivar as pessoas a aderir aos depósitos de OAU nos locais próprios, prevenindo o seu vazamento para os sistema de esgotos.

5.1 Trabalho Futuro

No trabalho desenvolvido ficou patente que a solução IoT proposta, recorrendo aos sensores de baixo custo selecionados e avaliados, consegue distinguir de forma eficiente os três tipos de líquidos tipicamente encontrados nos depósitos dos sistemas de recolha de OAU. Poderão no entanto existir depósitos contendo outros tipos de líquidos ou combinações de líquidos, cuja identificação e quantificação seja mais complicada de efetuar. Nestes casos, estamos convictos que a combinação dos dados recolhidos por estes sensores poderá ser usada para treinar algoritmos de *Machine Learning* (ML), que posteriormente podem ser usados para automatizar ainda mais a classificação dos conteúdos dos depósitos efetuados. Assim, consideramos que será pertinente e essencial desenvolver trabalho futuro para testar e comparar a utilização de algoritmos de ML para estender e melhorar a identificação dos líquidos depositadas, aumentando dessa forma o controlo sobre os produtos recolhidos e as possíveis bonificações atribuídas aos utilizadores.

Referências

- Abdulwahid, A. H. (2020). Iot based water quality monitoring system for rural areas, pp. 279–282. [10](#), [21](#)
- Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M. and Ayyash, M. (2015). Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications, *IEEE Communications Surveys and Tutorials* **17**(4): 2347–2376. [7](#)
- Al-Khashab, Y., Daoud, R., Majeed, M. and Yasen, M. (2019). Drinking water monitoring in mosul city using iot, *2019 International Conference on Computing and Information Science and Technology and Their Applications (ICCISTA)*, pp. 1–5. [ix](#), [8](#), [9](#), [10](#)
- Anani, W., Ouda, A. and Hamou, A. (2019). A survey of wireless communications for iot echo-systems, pp. 1–6. [2](#), [7](#)
- Apa (2010). Óleos Alimentares Usados, *Agência Portuguesa do Ambiente* p. 8. [1](#)
- Arduino (2021a). attachInterrupt() - Documentação de Referência do Arduino.
URL: <https://www.arduino.cc/reference/pt/language/functions/external-interrupts/attachinterrupt/> [17](#)
- Arduino (2021b). millis() - Documentação de Referência do Arduino.
URL: <https://www.arduino.cc/reference/pt/language/functions/time/millis/> [17](#)
- Cloete, N. A., Malekian, R. and Nair, L. (2016). Design of smart sensors for real-time water quality monitoring, *IEEE Access* **4**: 3975–3990. [8](#), [10](#)
- Dang, L. M., Piran, M. J., Han, D., Min, K. and Moon, H. (2019). A survey on internet of things and cloud computing for healthcare, *Electronics* **8**(7). [13](#)
- De Matos, E., Amaral, L. A., Tiburski, R. T., Schenfeld, M. C., De Azevedo, D. F. and Hessel, F. (2017). A sensing-as-a-service context-aware system for Internet of Things environments, *2017 14th IEEE Annual Consumer Communications and Networking Conference, CCNC 2017* pp. 724–727. [7](#)

- Dentzel, Z. (2021). How the Internet Has Changed Everyday Life | OpenMind.
URL: <https://www.bbvaopenmind.com/en/articles/internet-changed-everyday-life/> 7
- DFRobot Electronic (2017a). DHT22 Temperature and Humidity Sensor-DFRobot, *Datasheet* . ix, xi, 20, 21
- DFRobot Electronic (2017b). Water Flow Sensor - 1/2" SKU: SEN0217 Contents, *Datasheet* pp. 2–5. xi, 16, 17
- DFRobot Electronic (2017c). Waterproof DS18B20 Digital Temperature Sensor, *Datasheet* . xi, 21, 22
- DFRobot Electronic (2018). Turbidity sensor SKU: SEN0189, *Datasheet* p. 4. xi, 18, 19, 38
- Firdaus, R., Murti, M. A. and Alinursafa, I. (2019). Air quality monitoring system based internet of things (iot) using lpwan lora, pp. 195–200. 19
- Fraden, C. (2010). *Handbook of Modern Sensors (Physics, Design and Applications)*, 4th edn, American Institute of Physics. 5
- Gardner, B. (2020). The physics of temperature, *Southern African Journal of Anaesthesia and Analgesia* pp. S55–S58. 19
- Geetha, S. and Gouthami, S. (2016). Internet of things enabled real time water quality monitoring system, *Smart Water* 2(1): 1–20. 4
- Gilisymo (2020). vl53l0x cover glass IR-T079C0-CC3L-A066-B.
URL: <https://www.gilisymo.com/cover-glass/29-vl53l0xcoverglassdustfree.html> 23
- Gomes, B. (2020). Towards Edge Intelligence in Smart Spaces Universidade Fernando Pessoa. 6
- Gomes, B., Melo, N., Rodrigues, R., Costa, P., Carvalho, C., Karmali, K., Karmali, S., Soares, C., Torres, J. M., Sobral, P. and Moreira, R. S. (2020). A power efficient IoT edge computing solution for cooking oil recycling, *Advances in Intelligent Systems and Computing* 1160 AISC: 113–124. 23, 25
- Grobbelaar, J. (2009). Turbidity, in G. E. Likens (ed.), *Encyclopedia of Inland Waters*, Academic Press, Oxford, pp. 699–704. 17
- IPMA (2021). Instituto Português do Mar e da Atmosfera.
URL: https://www.ipma.pt/pt/oclima/extremos.clima/index.jsp?page=extreme_co.xml
ix, 30, 31

- Kocic, J., Jovicic, N. and Drndarevic, V. (2018). Sensors and Sensor Fusion in Autonomous Vehicles, *2018 26th Telecommunications Forum, TELFOR 2018 - Proceedings*. 6
- Kumar Jha, M., Kumari Sah, R., Rashmitha, M. S., Sinha, R., Sujatha, B. and Suma, K. V. (2018). Smart water monitoring system for real-time water quality and usage monitoring, *2018 International Conference on Inventive Research in Computing Applications (ICIRCA)*, pp. 617–621. 7, 10
- Laković, N., Brkić, M., Batinić, B., Bajić, J., Rajs, V. and Kulundžić, N. (2019). Application of low-cost vl53l0x tof sensor for robot environment detection, pp. 1–4. 22
- Lambrou, T. P., Anastasiou, C. C., Panayiotou, C. G. and Polycarpou, M. M. (2014). A low-cost sensor network for real-time monitoring and contamination detection in drinking water distribution systems, *IEEE Sensors Journal* **14**(8): 2765–2772. 8, 10
- McGrath, M. and Scanaill, C. (2013). *Sensor Technologies: Healthcare, Wellness and Environmental Applications (Expert’s Voice in Networked Technologies)*, Apress, Berkeley, CA. 5, 6
- Mell, P. and Grance, T. (2011). The NIST Definition of Cloud Computing. 6
- Microelectronics, S. (2018). VL53L0X World ’ s smallest Time-of-Flight ranging and gesture detection, *Datasheet*. xi, 24, 43
- Moreira, R. S., Soares, C., Torres, J. and Sobral, P. (2020). Combining iot architectures in next generation healthcare computing systems, in A. Sangaiah and S. Mukhopadhyay (eds), *Intelligent IoT Systems in Personalized Health Care*, Elsevier Science, Academic Press, Amsterdam, chapter 1, pp. 1–29. 7
- Pasika, S. and Gandla, S. T. (2020). Smart water quality monitoring system with cost-effective using iot, *Heliyon* **6**(7): e04096.
URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844020309403> 10
- Pololu (n.d.). Pololu arduino library for vl53l0x time-of-flight distance sensor. 23
- Prabowo, O. M., Tresnawati, Y. and Kusumastuti, D. (2020). Design of water quality monitoring system using remote operated vehicle, **CFP2013V-ART**: 1–5. 10
- Prolab (2014). O que é viscosidade de um fluido? | Prolab.
URL: <http://www.prolab.com.br/blog/curiosidades/o-que-e-viscosidade-de-um-fluido/> 35
- Raut, V. and Shelke, S. (2016). Wireless acquisition system for water quality monitoring, pp. 371–374. 10

- Roy, B. C. (2005). Role of structural engineers towards reduction of poverty, *Structural Engineering International: Journal of the International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE)* **15**(2): 113–114. [6](#)
- Sarnin, S. S., Hussein, A. B., Zahidi, D. B., Naim, N. F., Abdul Kadir, R. S. B. S. and Tan, M. N. M. (2020). Development of water quality system to monitor turbidity and temperature of water using gsm module, pp. 70–75. [ix](#), [9](#), [10](#)
- Shaw, S. B. and Singh, A. K. (2014). A survey on cloud computing, *Proceeding of the IEEE International Conference on Green Computing, Communication and Electrical Engineering, ICGCCEE 2014* . [6](#), [13](#)
- Shi, W. and Dustdar, S. (2016). The promise of edge computing, *Computer* **49**(5): 78–81. [7](#)
- Sinha, G. (2017). Introduction and classification of Sensors. [5](#)
- ST (2016). Application note VL53L0X ranging module cover window guidelines, *Datasheet* . [23](#)
- Tiburski, R. T., Amaral, L. A., Matos, E. D. and Hessel, F. (2015). The importance of a standard security architecture for SOA-based iot middleware, *IEEE Communications Magazine* **53**(12): 20–26. [7](#)
- Valadares, F. G., Aquino, A. L. L. and Rodrigues, A. P. (2012). Detecção de outliers multivariados em redes de sensores, pp. 1350–1361. [29](#)
- Velayutham, T. (2019). The importance of water in our daily lives. I. Accessed: 2021-09-10.
URL: <https://www.indiahomehealthcare.com/blogpost/the-importance-of-water-in-our-daily-lives/> [7](#)
- Veloso, J. H. (2007). Análise dos Mecanismos de Gestão do Fluxo de Óleos e Gorduras Alimentares Usados em Portugal. [1](#), [16](#)
- White, R. M. (1987). Sensor Classification Scheme., *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control* **UFFC-34**(2): 125–127. [5](#)
- Wilson, J. S. (2005). Chapter 1 - sensor fundamentals, *Sensor Technology Handbook*, Newnes, Burlington, pp. 1–20.
URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780750677295500410> [5](#)