

Monitorização de Separadores de Gordura Industriais Recorrendo a uma *Arquitetura Fog Computing*



Rafael Rodrigues

Faculdade de Ciência e Tecnologia

Universidade Fernando Pessoa

Uma tese submetida para obtenção do grau de

Mestre

2020

Resumo

Existe atualmente uma consciencialização social generalizada para a proteção do ambiente. Neste trabalho procura-se materializar uma solução tecnológica de monitorização *IoT* para automatizar separadores/coletores industriais de gordura. Estes separadores industriais de gordura possuem um papel significativo no que diz respeito ao tratamento dos esgotos urbanos, uma vez que evitam que a indústria da restauração aumente a fatia poluente deste sistema. Os separadores de gordura são, portanto, dispositivos que facilitam a separação de parte das gorduras e óleos presentes nos detritos alimentares, que de outra forma seriam lançados nos sistemas de esgotos dos restaurantes. O processo de separação utilizado nos coletores de gordura baseia-se na flutuação natural das gorduras em meio aquoso, de forma a reduzir a concentração dos resíduos que atingem as redes coletoras ou mesmo os sistemas de tratamento individual, quando não há ligação com o sistema público de esgoto.

Neste trabalho propõe-se uma arquitetura *IoT* baseada em *Fog computing* para monitorizar remotamente os níveis de gordura em vários separadores industriais instalados numa rede de restaurantes a nível nacional. A solução distribuída proposta permite a medição remota da quantidade de gordura em todos os separadores instalados. Desta forma, possibilita automatizar e gerir de forma escalável todo o processo de limpeza e manutenção dos separadores de gordura. Esta separação e recolha permite a reciclagem e também evitar extravasamentos que inevitavelmente iriam aumentar a poluição dos esgotos urbanos.

De uma forma mais precisa, a empresa Hardlevel é responsável, a nível nacional, pela recolha de óleo alimentar usado de 5000 restaurantes, tendo até ao momento 50 separadores de gordura instalados. Esta é uma área de negócio na qual pretende apostar e expandir de forma economicamente rentável.

Na solução proposta foi necessário identificar e selecionar os sensores mais adequados para medir os níveis de enchimento nos separados de gordura existentes. Os fatores de seleção incluíram não só a efetiva possibilidade de medição dos níveis de gordura, como também o custo associado uma vez que a rede de separadores de gordura é extensa e cada restaurante pode possuir

várias unidades industriais instaladas. Para além dos sensores foi ainda necessário integrá-los numa arquitetura *Fog computing*, recorrendo a módulos de aquisição e comunicação de dados, que permite automatizar a monitorização dos níveis de gordura em cada separador, e enviar as notificações necessárias sobre as necessidades de limpeza e de manutenção. Esta solução está a ser aplicada a nível nacional e tem-se mostrado adequada e escalável às necessidades existentes.

A arquitetura *Fog Computing* utilizada organiza-se em camadas capazes de processar e agregar os dados recebidos pelos dispositivos **IoT** conectados entre si. Os sensores utilizados foram: i) o sensor de condutividade, que permite detetar a quantidade de água existente nos separadores de gordura; ii) o sensor de turbidez, que permite detetar a quantidade de restos alimentares e a qualidade da água.

Em resumo, a principal contribuição deste trabalho consiste na solução **IoT** proposta, baseada numa arquitetura *Fog Computing*, que recorre aos sensores de condutividade e turbidez. O primeiro, foi desenvolvido no âmbito desta tese e permite detetar o nível de água/gordura e o segundo, foi seleccionado entre outros, porque se adequa à detecção da quantidade de **FOG** nos separadores de gordura. Desta forma, a solução permite evitar extravasamentos e entupimentos dos esgotos, contribuindo assim para a reciclagem e protecção do ambiente.

Abstract

There is now a widespread social awareness for the protection of the environment. This work seeks to materialize a technological monitoring solution *IoT* to automate industrial grease separators/collectors. These industrial fat separators play a significant role with regard to the treatment of urban sewage, as they prevent the catering industry from increasing the pollutant share of this system. The fat separators are, therefore, devices that facilitate the separation of part of the fats and oils present in the food waste, which would otherwise be released in the sewage systems of restaurants. The separation process used in fat collectors is based on the natural fluctuation of fats in an aqueous medium, in order to reduce the concentration of waste that reaches the collection networks or even the individual treatment systems, when there is no connection with the public system. sewage.

In this work, a *IoT* architecture based on *Fog computing* is proposed to remotely monitor fat levels in various industrial separators installed in a national restaurant chain. The proposed distributed solution allows remote measurement of the amount of fat in all installed separators. In this way, it makes it possible to automate and manage in a scalable way the entire process of cleaning and maintaining grease separators. This separation and collection allows recycling and also prevents spills that would inevitably increase the pollution of urban sewers.

More precisely, the company Hardlevel is responsible, at national level, for the collection of used cooking oil from 5000 restaurants, with 50 fat separators installed so far. This is a business area in which you want to bet and expand in an economically profitable way.

In the proposed solution, it was necessary to identify and select the most suitable sensors to measure the filling levels in the existing grease separators. The selection factors included not only the effective possibility of measuring fat levels, but also the associated cost since the network of fat separators is extensive and each restaurant can have several industrial units installed. In addition to the sensors, it was also necessary to integrate them in a *Fog computing* architecture, using data acquisition and communication modules, which allows to automate the monitoring of fat levels in each separator, and

to send the necessary notifications about the needs cleaning and maintenance. This solution is being applied at the national level and has proven to be adequate and scalable to existing needs.

The *Fog Computing* architecture used is organized into layers capable of processing and aggregating the data received by the connected IoT devices. The sensors used were: i) the conductivity sensor, which allows the detection of the amount of water in the grease separators; ii) the turbidity sensor, which allows the detection of the quantity of food waste and the quality of the water.

In summary, the main contribution of this work consists of the proposed IoT solution, based on a *Fog Computing* architecture, which uses conductivity and turbidity sensors. The first was developed within the scope of this thesis and allows the detection of the water / fat level and the second, was selected among others, because it is suitable for detecting the amount of FOG in the fat separators. In this way, the solution makes it possible to avoid overflowing and clogging sewers, thus contributing to recycling and environmental protection.

I would like to dedicate this thesis to my loving girlfriend Rita ...

Agradecimentos

Esta dissertação representa o fecho de mais um ciclo. Terminam, assim, cinco anos de conhecimentos e aprendizagens com os mais diversos professores e com vários colegas, que permitiram uma evolução pessoal nos mais diversos níveis.

Para a realização efetiva deste trabalho foi necessário muito esforço e, acima de tudo, apoios, vários, que tornaram este projeto final possível. Desde já, um agradecimento aos professores orientadores Dr. Rui Moreira e Dr. Christophe Soares, que desde logo mostraram o aval positivo para a concretização desta dissertação. Agradecer, também, a todos os professores do curso de Engenharia Informática, sem exceção, que ao longo destes cinco anos lecionaram e proporcionaram um crescimento significativo, quer pessoalmente, mas, também, profissionalmente, onde muitas competências foram aprendidas.

Um forte agradecimento, também, a todas as pessoas da Hardlevel que me proporcionaram uma primeira experiência no mercado de trabalho, onde me foi possível errar e reaprender, nomeadamente ao Dr. Karim Karmali, ao Dr. Salim Karmali, ao Dr. Célio Carvalho e aos meus colegas Luís Arnaldo, Pedro Costa e ao Luís Henriques com quem trabalhei diretamente. Um obrigado muito especial para a minha família mais próxima, que sempre me apoiou e incentivou ao longo destes cinco anos de estudo na Universidade Fernando Pessoa e, também, a todos os amigos, que marcaram presença e demonstraram agrado pela minha frequência universitária.

O grande agradecimento vai para a minha namorada, Rita Almeida, que sem ela isto não seria possível. Depois de muitas horas perdidas e de cansaço, teve sempre uma palavra de ânimo e me deu toda a força para nunca desistir dos meus objetivos.

Finalmente, um grande agradecimento a todos os colegas, que ao longo destes cinco anos me acompanharam, nos bons e nos maus momentos, em especial à Nilsa Melo e ao Bruno Gomes, com quem partilhei uma grande parte da minha vida académica.

Obrigado, ainda, à instituição Universidade Fernando Pessoa, que me incutiu

vários valores que me acompanharão vida fora e ensinamentos de utilidade garantida.

Lista de Siglas

FOG *Fats, Oils and Grease*

IoT *Internet Of Things*

OAU *Óleo Alimentar Usado*

WAN *Wide Area Network*

SaaS *Software as a Service*

PaaS *Plataform as a Service*

CRM *Customer Relationship Management*

IaaS *Infrastructure as a Service*

VM *Virtual Machine*

VPN *Virtual Private Network*

RTC *Real Time Clock*

ULP *Ultra Low Power*

CPU *Central Process Unit*

RSSI *Received Signal Strength Indicator*

OTA *Over the air*

QoS *Quality of Service*

RFID *Radio-Frequency Identification*

PCB *Printed Circuit Board*

RADAR *Radio Detection And Ranging*

WAN *Wide Area Network*

PPP *Point to Point Protocol*

ADC *Analog to Digital Converter*

NTU *Nephelometric Turbidity Units*

Conteúdo

Lista de Siglas	ix
Conteúdo	xi
Lista de Figuras	xiii
Lista de Tabelas	xiv
Lista de Acrónimos	xiv
1 Introdução	1
1.1 Motivação do Trabalho	2
1.2 Objetivos	3
1.3 Estrutura da Dissertação	3
2 Estado da Arte Sobre Monitorização Remota com Base em Sistemas IoT	5
2.1 Monitorização de Separadores de Gordura Industriais	5
2.2 Internet das Coisas	7
2.3 <i>Cloud Computing</i>	8
2.4 <i>Fog Computing</i>	10
2.4.1 Áreas de aplicação e atuação do <i>Fog Computing</i>	12
2.5 <i>Edge Computing</i>	13
2.6 Comparação entre <i>Cloud</i> , <i>Fog</i> e <i>Edge Computing</i>	14
2.7 Trabalhos Relacionados	17
2.8 Conclusão	18
3 Especificação do Sistema de Monitorização de Separadores de Gordura Industriais	20
3.1 Cenário de Aplicação	20
3.2 Requisitos do Sistema de Monitorização	22
3.2.1 Requisitos funcionais	22
3.2.2 Requisitos não funcionais	22

3.2.3	Requisitos de Sistema (<i>Software e Hardware</i>)	23
3.3	Arquitetura do Sistema de Monitorização	23
3.3.1	Diagrama de Sequência de Mensagens	25
3.4	Análise de Sensores para Monitorização dos Separadores de Gordura	28
3.4.1	Sensor de Condutividade	29
3.4.2	Bóias de nível com sensor magnético	29
3.4.3	Sensor Ótico	30
3.4.4	Sensor de Densidade	30
3.4.5	Sensor de Turbidez	31
3.4.6	Sensor de Peso	31
3.4.7	Sensor Ultrassônico	32
3.4.8	Sensor RADAR	32
3.5	Conclusão	33
4	Implementação do Sistema de Monitorização de Separadores de Gordura Industriais	34
4.1	Implementação <i>Fog Device</i>	34
4.2	Implementação <i>Edge Device</i>	36
4.3	Conclusão	40
5	Avaliação do Sistema de Monitorização de Separadores de Gordura Industriais	41
5.1	Resultados do Sensor de Condutividade	41
5.2	Resultados com Sensor de Turbidez	47
5.3	Análise do Consumo Energético do <i>Edge Device</i>	49
5.4	Conclusão	51
6	Conclusão	52
	Referências	56

Lista de Figuras

3.1	Camadas <i>Fog Computing</i> Genérica	24
3.2	Esquema representativo das Interligações numa arquitetura <i>Fog</i> Aplicada no Sistema de Monitorização de Separadores de Gordura	25
3.3	Diagrama de Sequência de Mensagens no Cenário de Monitorização Remota	26
3.4	Diagrama de Blocos do Microcontrolador ESP32	27
3.5	Fluxograma de Lógica no <i>Edge Device</i>	28
3.6	Sensor de Condutividade	29
3.7	Sensor de Bóias de nível com sensor magnético	30
3.8	Sensor Ótico	30
3.9	Sensor de Densidade	31
3.10	Sensor de Turbidez	31
3.11	Sensor de Peso	32
3.12	Sensor Ultrassônico	32
3.13	Sensor RADAR	33
4.1	Esquemática e Construção do <i>Fog Device</i>	35
4.2	<i>Edge Device</i> - Separador de Gordura	37
5.1	Testes Reais de Condutividade em Água e OAU	42
5.2	Gráfico da quantidade de água e de gordura medidos	43
5.3	Esquema de Construção do Sensor de Condutividade	43
5.4	Protótipo Sensor Condutividade	44
5.5	Emulsão num Separador Gorduras	45
5.6	Protótipo do Separador de Gordura em Ambiente Real	45
5.7	Protótipo do Separador de Gordura em Ambiente Real	47
5.8	Relação entre Turbidez e Tensão Elétrica	48
5.9	Resultados Sensor de Turbidez	49
5.10	Percentagem de Bateria dos Separadores de Gordura s1 e s2	50
5.11	Tempo(ms) <i>Working Mode</i> dos Separadores de Gordura s1 e s2	51

Lista de Tabelas

2.1	Tabela Comparativa entre <i>Cloud</i> e <i>Fog Computing</i>	15
2.2	Tabela Comparativa de Resultados entre <i>Cloud</i> e <i>Fog Computing</i>	16
2.3	Tabela Comparativa entre <i>Fog</i> e <i>Edge Computing</i>	17
5.1	Resultados Obtidos da Condutividade em Água e OAU	42
5.2	Resultados das Medições Obtidas com Sensor de Condutividade em Gorduras	46
5.3	Consumo Energético <i>Edge Device</i>	49

Capítulo 1

Introdução

A proteção do meio ambiente é cada vez mais uma preocupação para a sociedade. A indústria alimentar é uma das mais poluidoras do sistema de esgotos existentes (Masotti and Verlicchi, 2005). Assim sendo, a existência dos separadores/coletores de gordura industriais é fulcral para a reciclagem de óleos e de gorduras, diminuindo, então, a contaminação da rede de esgotos, uma vez que a formação de uma camada de gordura à superfície afeta drasticamente a água e o papel que esta desempenha no ecossistema.

Desta forma, existe legislação portuguesa que obriga a respeitar determinados parâmetros no que toca aos separadores de gordura e à quantidade de óleos e gorduras despejados na rede de esgotos: Decreto-Lei 152/97, Decreto-Lei 236/98 de 1 de Agosto.

Para além dos problemas ambientais associados a esta problemática, a danificação das infraestruturas, os entupimentos e os extravasamentos são, igualmente, outros problemas associados ao excesso de óleo e de gordura, uma vez que estes resíduos solidificam e reduzem o fluxo de água (Junior and Morita, 2007).

Esta é uma grande preocupação que pode ser evitada através da existência de separadores/coletores de gordura industriais, possibilitando, desta forma, a separação dos resíduos. Leia-se, segundo (Junior and Morita, 2007), os separadores de gordura industriais vão permitir a separação de parte dos óleos alimentares e das gorduras presentes nos detritos alimentares, que posteriormente serão despejados para a rede de esgotos dos restaurantes.

Assim, todo este processo de separação vai facilitar todo o tratamento posterior da água, evitando aumentar desnecessariamente os custos associados e diminuindo a poluição do sistema de esgotos.

Por isso, é apresentada uma solução tecnológica de monitorização **IoT** baseada em *Fog Computing* para automatizar remotamente os níveis de gordura e de óleos nos separadores/coletores industriais de gordura. Ou seja, esta solução tem como objetivo medir remotamente a quantidade de gordura e de óleo presente nos separadores de gordura, facilitando, ainda, a limpeza e manutenção dos mesmos.

Entenda-se, os resíduos depositados nas pias dos restaurantes, nomeadamente **FOG**,

podem ser reciclados e reaproveitados para produzir biodiesel, tornando-se, assim, economicamente rentável. Caso não sejam feitas as limpezas e as manutenções necessárias aos separadores de gordura, o nível de acidez aumenta gradualmente até que o óleo e a gordura não possam ser reciclados e terão de ser descartados como resíduo, sem fonte de receita (Tran et al., 2018; Lee et al., 2017).

Com os dados recolhidos por esta solução tecnológica de monitorização dos separadores de gordura, instalados em restaurantes, em hotéis, em escolas, entre outros, é possível prever atempadamente, as respetivas recolhas e limpezas.

Para combater esta lacuna, efetua-se, assim, uma proposta baseada em IoT, numa arquitetura do tipo *FOG Computing*, de baixo custo com vista à possibilidade de medição da quantidade dos níveis de óleo e de gordura existente nos separadores de gordura e, conseqüentemente, enviar dados telemétricos processados. Para além de medir a quantidade de óleos e de gorduras existentes nos separadores de gordura, esta solução tecnológica permite, ainda, a verificação de anomalias. Isto é, caso seja verificada alguma anomalia serão emitidos alertas para o sistema. Como por exemplo, lançamento de alertas sempre que os separadores de gordura estejam a ficar demasiado cheios e/ou a necessitar de limpeza/manutenção.

Nesta solução tecnológica foi necessário recorrer ao uso de sensores. Desta forma, foi necessário verificar o que mais se adequa às necessidades do problema – a medição de óleo e de gorduras – mas, ao mesmo tempo, que tivessem um baixo custo, uma vez que a rede de separadores de gordura é extensa.

Contudo, para além dos sensores foi, ainda, necessário implementar uma arquitetura *Fog Computing* com a utilização de um módulo de aquisição de dados e de comunicação, de forma a permitir enviar dados, comunicar e alertar para a necessidade de limpar ou manutenção dos separadores de gordura.

Este sistema foi desenvolvido e implementado sob a forma de um protótipo, em parceria com uma empresa que se dedica à reciclagem e recolha de óleo alimentar usado para a produção de biodiesel (Altın et al., 2001) – a Hardlevel.

1.1 Motivação do Trabalho

Os separadores de gordura industriais requerem um cuidado acrescido, pois se não forem limpos atempadamente podem causar extravasamentos e, conseqüentemente, contaminar a rede de esgotos devido ao excesso de gorduras e de resíduos.

Assim sendo, a Hardlevel pretende apostar nesta área de negócio e torná-lo o mais rentável possível, isto é, uma solução inovadora e viável, de baixo custo monetário, no que diz respeito à implementação e posteriormente nos custos de manutenção e limpeza dos separadores de gordura, uma vez que os separadores de gordura são propriedade dos clientes da Hardlevel e não da própria empresa.

Quanto às minhas motivações pessoais, o gosto pelo **IoT** e arquitectura de software foram os motivos da minha escolha, mas, também, pelo desafio lançado pela empresa, uma vez que será uma tecnologia inovadora, ainda muito pouco desenvolvida e que será implementada em todo o país junto dos clientes da empresa.

1.2 Objetivos

Os principais objetivos deste problema passam por perceber a quantidade de óleo e de gordura existentes nos separadores de gordura e, ainda, perceber quando são necessárias as manutenções e limpezas dos separadores de gordura industriais.

Estes dois objetivos foram impostos pela Hardlevel, uma vez que é uma área de negócio que pretende investir, pois é uma empresa de energias renováveis, que opera na recolha de óleo alimentar usado **OAU**.

Porém, e sem perder o foco principal para a concretização deste primeiro objetivo, existem outros pontos importantes, tais como perceber como funcionam os separadores de gordura e o ambiente envolvente para o desenvolvimento da melhor proposta.

Assim sendo, o segundo objetivo passa por perceber quais os melhores sensores a serem utilizados. Depois desta análise, segue-se a implementação - com o desenvolvimento de um protótipo de forma a serem desenvolvidos os primeiros testes, em ambiente de laboratório, e posteriormente, a realização de testes em ambiente real.

1.3 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação de mestrado está dividida em quatro capítulos principais: um com a vertente mais teórica, um segundo com a parte prática, onde está patente a especificação, um outro capítulo para a implementação e um último para a avaliação do sistema de monitorização de separadores de gordura, sempre com subcapítulos.

No primeiro capítulo é possível perceber quais os problemas que esta solução pretende responder. Assim, é possível perceber o que são os separadores de gordura e como funcionam; perceber o que é o **IoT** e a sua evolução até ao *Fog Computing*.

Num vertente mais prática está patente a especificação, a implementação e a avaliação desta tecnologia em **IoT**. Na especificação é possível perceber os cenários de aplicação desta solução, bem como os requisitos funcionais e não funcionais, a arquitetura desenvolvida e as várias opções de sensores.

Num terceiro capítulo é possível verificar a implementação desta solução tecnológica de monitorização de separadores de gordura, nomeadamente *Edge Device*. Por fim, o quarto e último capítulo com a avaliação, onde são analisados e discutidos todos os resultados.

Esta dissertação de mestrado é complementada com ilustrações, quer em ambiente de laboratório, quer em ambiente real, que permitem observar, ainda melhor, toda a tecnologia implementada.

Capítulo 2

Estado da Arte Sobre Monitorização Remota com Base em Sistemas IoT

Este capítulo apresenta os conceitos e trabalhos relacionados com a monitorização remota de separadores de gordura em ambientes industriais, como por exemplo, em restaurantes industriais de cadeias de restauração (e.g. *McDonald's*). Posteriormente apresenta-se uma revisão da literatura relacionada com as várias arquiteturas *IoT*, nomeadamente, *Cloud Computing*, *Fog Computing* e *Edge Computing*. Como veremos, estas arquiteturas fornecem diferentes capacidades e meios técnicos necessários para uma monitorização remota das caixas de separação de gordura. Esta monitorização torna-se indispensável quando as empresas pretendem automatizar de forma eficiente a gestão da recolha e substituição das caixas numa rede complexa de clientes de restauração.

2.1 Monitorização de Separadores de Gordura Industriais

Os separadores de gordura são dispositivos que facilitam a separação da parte das gorduras e dos óleos (*Fats, Oils and Grease - FOG*) presentes no meio líquido, de forma a reduzir a concentração dos resíduos que atingem as redes coletoras ou mesmo os sistemas de tratamento individual, quando não há ligação com o sistema público de esgoto (Ackroyd, 2007).

Entenda-se, os separadores de gordura têm como função impedir que a gordura seja despejada para a pia e vá diretamente para a rede de esgotos (Masotti and Verlicchi, 2005). Desta forma, os separadores de gordura destinam-se a reter, na sua parte superior, o *FOG* presentes no esgoto, formando, assim, diferentes camadas, que necessitam de ser removidas periodicamente, de modo a evitar que estes componentes escorram para a rede pública e a entupa (Altın et al., 2001).

Contudo, no que aos óleos de cozinha diz respeito, a separação é mais recorrente e

incentivada, uma vez que gordura é menos densa do que a água e, desta forma, fica presa no reservatório específico, que precisa de ser limpo regularmente (Altın et al., 2001).

Assim, todo o restante pode ser tratado e reutilizado sem causar danos aos canos ou equipamentos das estações de tratamento de água (Delatorre Jr, 2007). Leia-se, nos separadores de gordura existe uma divisória, que impede toda a gordura de ser acumulada e escoar para a canalização geral, que será, posteriormente, direcionado para as respectivas entidades de tratamento, pois a água e a gordura não se misturam e, por isso, na instalação ou na limpeza dos separadores de gordura é despejada água.

Caso não existissem estes separadores de gordura, toda a gordura acumulada iria causar entupimentos. O refluxo do esgoto e um cheiro forte são algumas das consequências da presença de FOG no esgoto e pode causar vários problemas operacionais no sistema de coleta.

A utilização de separadores de gordura industriais é obrigatória por lei e tem como objetivo o de evitar algumas problemáticas, tais como:

- o bloqueio da rede de esgoto, que pode causar extravasamentos;
- a flotação de sólidos nos poços de sucção de estações elevatórias de esgoto;
- a ocorrência de altas concentrações de escumas no decantador primário, que causam o arrastar para outras etapas do processo de tratamento;
- a aderência em superfícies e equipamentos;
- a dificuldade no manuseio e desaguamento do lodo;
- a redução do desempenho dos processos biológicos de tratamentos, podendo inclusive ocasionar a violação dos limites autorizados para o lançamento do efluente final tratado.

O entupimento é o primeiro grande problema associado a um mau funcionamento ou manutenção dos separadores de gordura industriais, uma vez que esta se acumularia em excesso nos canos, fixando-se nas paredes de toda a tubulação. Consequentemente, a gordura, de um modo geral, endurece e dificilmente consegue ser retirada sem a troca de todo o sistema de tratamento (Ackroyd, 2007).

Já o refluxo do esgoto é, ainda, pior do que os entupimentos (Ackroyd, 2007). Leia-se, em alguns casos, o problema no encanamento não é detetado a tempo e, por isso, pode haver um retorno de todos os resíduos e da água acumulada para dentro das habitações. Há, igualmente, sérios riscos de inundações nas ruas.

Por fim, um cheiro forte, que resulta de uma grande acumulação de gordura nos canos, atrai insetos e outros animais, como baratas e ratos (Ackroyd, 2007).

Toda a eficiência dos dispositivos de retenção são postos em causa devido à capacidade insuficiente ou a falhas nas limpezas dos separadores de gordura, o que vai facilitar a passagem direta de óleos e de gorduras para a rede coletora. Desta forma, a manutenção destes separadores de gordura, que é atualmente uma grande preocupação a nível industrial, mas, também, a nível residencial, pois a remoção do seu conteúdo vai evitar que o **FOG** chegue à rede pública.

Contudo, a nível industrial é obrigatório a existência de separadores de gordura, como é defendido pela Norma Europeia EN1825 e pela Legislação Ambiental NP4434, que obriga a reutilização de águas residuais urbanas tratadas, e a DRE 265/2017 com a obrigação de ter um sistema de retenção de gorduras.

2.2 Internet das Coisas

A internet tem sofrido várias alterações ao longo dos tempos, acompanhando as necessidades de uma sociedade em constante evolução. A quantidade de objetos inteligentes heterogêneos totalmente interconectados através da internet sempre em constante crescimento rompe com o paradigma existente e surge, assim, no novo conceito – *Internet of Things* (Matos et al., 2017).

Torna-se, assim, possível “qualquer dispositivo, como Identificação por Rádio Frequência (**RFID**), tags, sensores, smartphones, entre outros, estarem conectados à rede em qualquer lugar e a qualquer hora, iniciar a era da ubiquidade, principal característica e pilar fundamental para o surgimento da Internet das Coisas (**IoT**)”(Tiburski et al., 2015).

Este conceito de **IoT** é considerado, por Tan and Wang (2010), uma evolução de vários elementos tecnológicos unidos por um mesmo ambiente, quer se torna o futuro da computação e das comunicações, como é o casos de sensores, hardware, semântica, armazenamento, processamento, comunicação, entre outros.

Assim, Perera et al. (2014) afirma que a **IoT** tem como objetivo criar um mundo melhor para todas as pessoas, que permite que os objetos tenham conhecimento e autonomia para agirem de forma inteligente sem instruções explícitas.

A Internet das Coisas (*Internet Of Things* - **IoT**) surge, então, como uma evolução computacional, que permite vários objetos físicos conectados por redes sem fio e que se comunicam através da internet.

A internet tornou-se, desta forma, o pilar para a fusão de milhões de coisas, uma vez que tinha que lidar com a escala massiva, heterogeneidade e interoperabilidade. Este termo **IoT** surge em 1999, por Ashton (2009) e vem evoluindo desde então, impulsionado por um crescente número de projetos empresariais e académicos, defende Donno et al. (2019).

Uma das principais funcionalidades desta tecnologia **IoT** é a conectividade entre os dispositivos, uma vez que está em todo o lado e aplicada a qualquer área. A **IoT** resume-

se a uma tecnologia de ponta para perceber o mundo real ao nosso redor, através das redes de computadores, e iniciou uma transição proeminente na forma de como a comunicação e as interações do nosso mundo podem acontecer (Alrawais et al., 2017).

Os sistemas IoT têm ganho cada vez mais espaço a nível global a fim de melhorar a vida quotidiana (Castells, 2003; Cardoso, 2006) e, por isso, necessitam de recursos que facilitem um ambiente de configuração, adaptação e monitoração de serviços, bem como, espaço para armazenamento de dados e performance (Atzori et al., 2010). Desta forma e a fim de melhorar ainda mais esta tecnologia em IoT surge a utilização de *Cloud Computing* (Armbrust et al., 2010).

Os sistemas baseados em IoT surgem de abordagens baseadas em nuvem, sistemas centralizados, que passam por armazenar, processar e visualizar os dados, mas, posteriormente, a computação passou a ser colocada diretamente na extremidade da rede, nos dispositivos, e mais recentemente surgiu pela Cisco em 2012 (Bonomi et al., 2012b), a *Fog Computing*, uma arquitetura mais complementar, voltada sobretudo para o processamento local em tempo real e para questões de privacidade tendo como principal foco a descentralização por ser um sistema distribuído.

Para Donno et al. (2019), todos estes tipos de arquitetura estão ligados a projetos de IoT, que fornecem uma evolução temporal, que coloca as arquiteturas *Edge* e *Cloud* antes das arquiteturas de computação em *Fog*, mais recentes.

Desta forma, a *Cloud Computing* tem sido o paradigma mais predominante, desde 2008, porém, o *Fog Computing* tem crescido substancialmente nos últimos anos. Segundo (Mimura Gonzalez et al., 2016), consideram que a arquitetura *Fog Computing* seja um subconjunto de uma arquitetura em *Edge Computing*, principalmente porque ambos defendem a mudança da computação e do processamento para a periferia da rede, mais próximo dos dispositivos, objetos do mundo real capazes de perceber e agir sobre o ambiente em redor.

Para (Moreira and Sobral, 2020) o *Fog Computing* é considerado um paradigma de primeira classe, ou seja, um refinamento da arquitetura do *Edge computing*. Uma arquitetura *Fog* atende a requisitos mais concretos e desempenha o papel de uma camada intermédia entre os dispositivos e a nuvem, colocando serviços da nuvem nos dispositivos locais inteligentes.

2.3 *Cloud Computing*

A *Cloud Computing* ou a Computação em Nuvem é o resultado da evolução e adoção de tecnologias e paradigmas computacionais consolidados (Zhou et al., 2010). Segundo Mell and Grance (2011), o termo *Cloud Computing* é descrito como um modelo que permite acesso a uma rede sob demanda ubíqua e conveniente a um conjunto compartilhado de recursos computacionais, como redes, armazenamento, aplicações e serviços.

A *Cloud Computing* é um tipo de computação permitido pela virtualização, uma vez que esta separa um dispositivo físico de computação de um ou mais dispositivos virtuais. Entenda-se, com a virtualização é possível que cada dispositivo possa ser facilmente utilizado e comandado para executar tarefas.

Desta forma, com a virtualização, a nível do sistema operacional, a criação de um sistema escalável de vários dispositivos de computação independentes, além de recursos computacionais ociosos, podem ser atribuídos e utilizados de forma mais eficiente.

Este conceito vem do avanço e da junção de técnicas e tecnologias a fim de simplificar o fornecimento de serviços computacionais, como por exemplo: servidores, armazenamento, bases de dados, rede entre outros recursos, sendo a sua principal característica a virtualização destes dispositivos (Ray, 2017).

Para Hamdaqa and Tahvildari (2012), o objetivo da computação em nuvem é permitir que os utilizadores tirem benefícios de todas estas tecnologias, sem a necessidade de conhecimento profundo ou experiência com cada uma delas. Leia-se, esta forma de computação baseia-se na internet como fornecedor de recursos de hardware e de software, de acordo com as necessidades.

Segundo vários autores, a *Cloud* virtualiza a infraestrutura de computação, redes, armazenamento e outros, para formar uma grande gama de recursos e serviços partilhados, mensuráveis e dinâmicos, e fornece um modelo de computação para todos os tipos de utilizadores na forma de serviços controlados através de uma plataforma de gestão (Marco Anotni, 2015; Botta et al., 2016; Zhang et al., 2010).

A *Cloud* é considerada como o próximo passo na evolução dos sistemas operacionais (Marco Anotni, 2015). Desta forma, a *Cloud Computing* assenta nos princípios da escalabilidade, do dimensionamento rápido, na facilidade de utilização e manutenção, de uma melhor recuperação a desastres e numa redução de custos.

Antoni (2015) e Zhang et al. (2010) defendem como principais modelos de serviços *Cloud*, **SaaS** – *Software as a Service*, **PaaS** – *Platform as a Service*, e, **IaaS** – *Infrastructure as a Service*.

SaaS é o conceito de software referente ao fornecimento de aplicações online, como por exemplo serviços de e-mail, ferramentas Microsoft Office 365, aplicações **CRM** - *Customer Relationship Management*, calendário, entre outros.

PaaS é o conceito de plataforma como serviço de fornecimento de recursos da camada de plataforma, incluindo suporte ao sistema operacional e de desenvolvimento de software, fornecendo componentes como bases de dados, armazenamento, monitorização, balanceamento de carga e roteamento. O Google App Engine, a Microsoft Windows Azure e a Salesforce são alguns dos exemplos de serviços **PaaS**.

Por fim, **IaaS**, o conceito de infraestrutura como serviço é realizar partilha dos recursos da infraestrutura, tais como processadores, memória, rede e armazenamento. A responsabilidade e toda a configuração e instalação dos softwares necessários cabe ao seu

proprietário. Ou seja, refere-se ao provisionamento sob demanda de recursos de infraestrutura, geralmente em termos de **VM** em nuvem. Exemplos de fornecedores de **IaaS** incluem Amazon EC2, GoGrid e Flexiscale.

Porém, estes modelos de serviço oferecidos no ambiente de *Cloud Computing* têm vários níveis de complexidade para administração de serviços oferecidos comparado com os custos pela abstração dos mesmos.

Desta feita, a *Cloud Computing* permite que o utilizador aceda a uma grande quantidade de informação e serviços que não estão armazenados localmente no seu dispositivo. Assim sendo, as principais características da *Cloud Computing* passam pela escalabilidade de recursos, podendo diminuir os recursos de ambientes ociosos e acrescentar em ambientes que necessitam, tudo isso de forma simples e rápida.

Contudo, a sua principal limitação está relacionada com problemas de largura de banda e, conseqüentemente, de custos. Problemas esses que podem ser sentidos em aplicações sensíveis, e a sua latência de comunicação ser afetada (Ray, 2017). A fim de solucionar estas lacunas surge o conceito de *Fog Computing* (Bonomi et al., 2012a).

2.4 *Fog Computing*

Com a evolução tecnológica, a computação em nuvem tornou-se a principal opção para fornecer recursos computacionais e de armazenamento para dispositivos **IoT**. Desta forma, a comunicação entre os recursos computacionais e recursos de armazenamento, permitem que as ações computacionais sejam efetuadas e realizadas através de *data centers* localizados em diferentes pontos espalhados pelo mundo.

Fog Computing surge em 2012, pela CISCO (Bonomi et al., 2012b), deste modo, como uma extensão, não comum, da computação em nuvem, uma vez que possibilita a existência de uma série de serviços e aplicações que não são completamente compatíveis com a arquitetura em nuvem.

Leia-se, segundo Yi et al. (2015), a *Fog Computing* surge como uma infraestrutura de computação onde aplicações e serviços podem ser processados por serviços na *Cloud*, ou então, na própria rede.

No entanto devido à latência de rede, especialmente em ambientes móveis, muitas vezes a computação em nuvem não consegue dar resposta aos requisitos inflexíveis de latência das aplicações, segurança e privacidade em áreas restritas geograficamente o que se diferencia do *Fog Computing* (Zhu et al., 2013).

Porém, segundo Osanaiye (2017), a crescente quantidade de dados produzidos por dispositivos ou sistemas com poucos recursos pode tornar-se inexecutável para transmitir dados através de redes para a nuvem.

Desta feita surge um novo paradigma, o *Fog Computing*. Para Jain and Singhal (2017), esta é uma computação em nuvem que distribui serviços de computação, armazenamento,

rede e gestão para estarem mais próximos dos utilizadores finais, enviando informações dos dispositivos **IoT** para a nuvem, formando, assim, uma plataforma distribuída e virtualizada. Existe assim um processamento descentralizado, computação mais próxima da periferia da rede, ou seja, em dispositivos, *gateways* ou servidores.

Segundo Li et al. (2017), é a ligação entre a **IoT** e a *Cloud Computing*, com a infraestrutura de computação existente na Internet.

Segundo Bonomi et al. (2014), o *Fog Computing* inclui serviços de baixa latência e previsíveis, aplicações geodistribuídas, como no caso de sensores no ambiente, aplicações em dispositivos com mobilidade a alta velocidade, como os carros, comboios, metro, entre outros, e sistemas de controlo distribuídos em grande escala, como por exemplo semáforos, redes elétricas inteligentes, cidades inteligente, entre outras.

O conceito de *Fog Computing* assenta em quatro objetivos principais:

- Melhorar a eficiência e reduzir a quantidade de dados gerados que precisam de ser transmitidos para a nuvem para serem processados, analisados e armazenados;
- Diminuição da latência;
- Aproximar o consumidor de informações com o provedor de dados;
- Disponibilizar segurança e qualidade para transmissão de dados.

Segundo Hajibaba and Gorgin (2014), a arquitetura *Fog Computing* consiste em colocar poder de processamento mais próximo ao limite da rede, sendo este conceito acolhido pela *Cisco Systems* como um novo paradigma em meados de 2012 (Bonomi et al., 2012a).

Neste novo modelo de arquitetura existe uma descentralização ao nível do processamento e armazenamento de dados entre dispositivos e a nuvem. Por isso, para Ray (2017), esta arquitetura coloca inteligência ao nível de rede local, processando dados em nós intermédios ou *gateways*. O objetivo é reduzir a latência e a largura de banda, solucionando, assim, de forma total ou parcial os problemas encontrados na computação em nuvem.

Desta forma, este tipo de comunicação amplia as operações e serviços inerentes à *Cloud Computing*, permitindo, assim, uma nova geração de áreas de aplicação. A principal função passa por filtrar e agregar dados para os centros de dados da *Cloud* e aplicar inteligência lógica a dispositivos finais.

Chiang et al. (2017) afirma que o *Fog Computing* é semelhante em diversos critérios à *Cloud Computing*. Contudo, diferenciam-se pelo facto da computação estar mais próxima dos dispositivos finais (*Edge Devices*), mas também, pelo facto da distribuição do espaço geográfico ser menor e possibilitar a mobilidade.

O processamento baseado em *Fog Computing* ocorre ao longo da rede e, assim, para Al-Doghman et al. (2017) e dos Santos Machado et al. (2020), resulta numa melhoria

significativa na latência, qualidade de serviço para aplicações em tempo real. A heterogeneidade desta arquitetura, permite que os dispositivos *Fog* possam ser servidores, *routers*, pontos de acesso, ou mesmo dispositivos finais como sensores, telemóveis, veículos, semáforos, entre outros.

Segundo Steiner and Poledna (2016), *Fog Computing* permite um maior suporte e melhor tempo de resposta aos dispositivos *IoT*, é adequado para serviços em tempo real e para partilha de recursos de uma forma mais eficiente. Afirmar, também, a necessidade da existência de emparelhamento entre os nós da rede (eg. nós *Fog*, dispositivos *IoT*), cooperando entre si de forma eficaz.

Assim sendo, as principais características da *Fog Computing* são as seguintes:

- Heterogeneidade;
- Sistema Distribuído;
- Interação em tempo Real;
- Mobilidade;
- Interoperabilidade;
- Redes sem Fios;
- Redes de sensores em grande escala;
- Baixa latência;

2.4.1 Áreas de aplicação e atuação do *Fog Computing*

Segundo Al-Doghman et al. (2017), a *Fog Computing* funciona como uma camada intermédia entre os dispositivos *IoT* e a *Cloud* para introduzir funcionalidades extras necessárias para o processamento, como filtragem e agregação. Antes de transferir os dados para a *Cloud*, deve ser capaz de decidir o que deve ser enviado (o conteúdo), como (formato de dados) e quando enviar (tempo), efetuando a exclusão de todos os dados redundantes e inválidos, e agrega-los no espaço e no tempo.

Osanaiye (2017), afirma que as aplicações em *Fog Computing* dividem-se em três categorias: aplicações de tempo real, aplicações quase em tempo real e aplicações introduzidas em redes.

- Aplicações em tempo real: têm baixa latência e têm um período de tempo estabelecido para funcionar, podendo ser possível classificar as mensagens como imediatas ou urgentes;

-
- Aplicações quase em tempo real: têm por norma um atraso de tempo entre o momento em que ocorre um evento e a visualização ou uso dos dados, pela existência de algum processamento ou pela transmissão de dados na rede;
 - Aplicações introduzidas em redes: reduzem a quantidade de tráfego no núcleo de processamento, uma vez que não precisam de processamento e de transmissão em tempo real.

2.5 *Edge Computing*

Outro conceito que surge é o de *Edge Computing*, que funciona como uma metodologia para processamento local, como dados, cálculos, serviços, entre outros, fora de um ponto central para as extremidades da rede, afirma Chang et al. (2014).

Para Ray (2017), o processamento nos *endpoints*, reduzem os custos de comunicação entre as arquiteturas, uma vez que o processamento diretamente nos dispositivos reduz o tráfego na rede, os custos decorrentes disso, latência, além de melhorar a qualidade do serviço (QoS).

Entenda-se, uma camada *Edge* reduz significativamente o processamento do *Middleware*, pois trata-se de dados já processados, reduz a carga presente na rede, possibilitando, assim, aumentar a segurança dos dados, encriptando e o *Middleware*, por sua vez, desencriptando os dados. Entre outras vantagens vem a escalabilidade do sistema, pois é um sistema distribuído.

Para vários autores, esta camada *Edge Computing* replica fragmentos e informações do *Middleware* através da rede para os *Edge-services*, localizados em ambiente distribuído, incluindo inclusive subsistemas IoT fora da rede principal (Patel, 2014).

O *Edge Computing* elimina ou reduz significativamente a carga de trabalho do *Middleware*, que por ser centralizado, torna-se um ponto único de falha. Lewis et al. (2014) dão como exemplo o volume de dados que é menor, o mesmo tem a possibilidade de ser encriptado para ser transportado na rede, o *Middleware* por sua vez desencriptando os dados. Assim sendo, caso o tipo de criptografia não seja reconhecido, o mesmo é descartado, dada a possibilidade de ser um ataque.

Com isso, a segurança do sistema como um todo também sai melhorada. Além disso, outra vantagem está na escalabilidade do sistema, que por estar em ambiente distribuído, também é beneficiada.

O *Edge Computing* está relacionado com *Grid Computing*, onde é feita a divisão de tarefas em diversas máquinas. Na maioria das vezes essa divisão é feita de forma manual.

Por sua vez, o *Edge Computing* ao replicar fragmentos do código, além de informações pertinentes, cria um *template*, facilitando a distribuição das tarefas entre os dispositivos (Patel, 2014).

Prover autonomia aos dispositivos também se refere ao conceito de *Autonomic Computing*, onde existem algumas secções de ambiente de processamento autónomo distribuído, incluindo:

- Automático – significa ter a possibilidade de controlar a si mesmo, incluindo funções e operações;
- Adaptativo – ter a possibilidade de mudar a sua operação, bem como status, dado algum evento;
- Consciente – um sistema autónomo deve ser capaz de monitorizar-se, além de identificar permanentemente o contexto em que está localizado, o que influencia diretamente a adaptabilidade do sistema.

2.6 Comparação entre *Cloud*, *Fog* e *Edge Computing*

Fog Computing é definido, por Datta et al. (2015), como uma extensão dos paradigmas de uma arquitetura *Cloud Computing* em direção às periferias da rede, oferecendo os mesmos serviços, porém com a vantagem de se aproximar dos dispositivos, dando uma maior densidade e suporte a mobilidade em torno da rede.

Al-Fuqaha et al. (2015) afirma que os termos *Fog* e *Edge Computing* funcionam como pontes (camadas intermédias) entre dispositivos inteligentes e a *Cloud* que oferece computação, armazenamento e estende os seus serviços em direção à extremidade da rede. Assim sendo, apresentam diversas vantagens:

- menor latência devido à proximidade com a ponta da rede,
- possibilidade de maior capacidade de dispositivos,
- aplicações em tempo real com maior performance,
- interoperabilidade com diferentes fornecedores de serviços *Cloud*,
- possibilidade de efetuar agregação de dados diminuindo o tráfego gerado,
- suporte à mobilidade.

Já como desvantagens defende:

- confiabilidade e segurança dos dados analisados nas extremidades da rede,
- recursos de processamento, armazenamento e rede são de maior limitação, muito embora possam ser dimensionados em escala e com menor custo.

Munir et al. (2017) afirma que grande parte da literatura trata o *Fog* e *Edge Computing* como idênticas. Porém, apresenta a sua distinção, *Fog computing* tem como objetivo processar os dados próximo aos dispositivos, isto é, nas extremidades da rede, diminuindo significativamente o volume de tráfego entre os dispositivos e a *Cloud*; e dispor a análise de dados junto à sua fonte.

O mesmo defende Hu et al. (2017), enquanto Chiang and Zhang (2016)) destacam o uso de *Fog* em aplicações que precisam assegurar serviços contínuos mesmo com falhas de conectividade com a *Cloud*, uma vez que a implementação de uma camada intermédia *Fog* fidedigna permite o funcionamento conforme desenhado mesmo em condições adversas. Na tabela 2.1 é apresentada uma comparação entre *Cloud* e *Fog Computing*.

	<i>Cloud Computing</i>	<i>Fog Computing</i>
Arquitetura	Centralizada	Distribuída
Nível de abstracção	Alto	Alto
Optimização de Recursos	Fácil	Difícil
Gestão de recursos	Fácil	Difícil
Hardware	Homogéneo	Heterogéneo
Custos	Alto	Baixo a Médio
Distância ao utilizador final	Alto	Baixo
Latência	Alta	Baixa
Delay	Alto	Muito baixo
Distância	Múltiplos saltos	Único salto
Segurança	Fácil	Difícil
Propriedade da infraestrutura	Definida	Não definida
Modelo de Negócio	Pago consoante o uso	Por recursos computacionais
Segurança dos Dados	Seguro	Seguro
Análise de Dados	Longo prazo	Curto prazo
Conectividade	WAN	Diversificada
Mobilidade	Limitada	Suportada
Consciência de localização	Não	Sim

Tabela 2.1: Tabela Comparativa entre *Cloud* e *Fog Computing*

Entenda-se, segundo Chiang and Zhang (2016), as estruturas *Fog* e *Cloud* são complementares. A correlação entre elas permite beneficiar de vantagens presentes em cada uma. Algumas soluções podem ser geridas pela *Cloud* e outras possuem melhor performance e desempenho fazendo uso de uma estrutura *Fog*. Na tabela 2.2 é apresentada uma comparação com resultados entre características dessas duas estruturas.

	<i>Cloud Computing</i>	<i>Fog Computing</i>
Latência	5s	1,5s
Latência exibição páginas da Web	8s	3s
Tráfego de Internet	75Kbps	10Kbps
Hardware	Amazon AWS	Raspberry Pi

Tabela 2.2: Tabela Comparativa de Resultados entre *Cloud* e *Fog Computing*

A *Fog Computing* tem como objetivo de processar os dados próximo da fonte, isto é, nas extremidades da rede, diminuindo fortemente o volume de dados entre os dispositivos e a nuvem e permitindo o processamento mais complexo como a análise e agregação de dados junto aos dispositivos.

Para Al-Doghman et al. (2017), o aparecimento da *Fog Computing* teve origem na necessidade de mitigar as crescentes preocupações com o enorme fluxo de dados gerados em tempo real e a utilização dos limites de largura de banda disponível.

Por sua vez, os termos de *Fog* e *Edge Computing* são normalmente usados de forma trocada. Isso ocorre porque, em termos funcionalidade, ambos têm o objetivo de aproximar a inteligência dos dispositivos, ou seja, onde os dados são gerados. No entanto, inicialmente, o termo *Edge Computing* foi apresentado como este ter o controle e a gestão de dispositivos independente, individualmente ou através software.

Com o tempo, a definição de *Edge Computing* foi redefinida para incluir algumas das propriedades do *Fog*, como a interoperabilidade e segurança. Hoje, a computação *Edge* é um subconjunto da computação em *Fog*. Na tabela 2.3 são apresentadas as suas diferenças.

	<i>Fog Computing</i>	<i>Edge Computing</i>
Entre Domínios	Sim	Não
Extensão da <i>Cloud</i>	Sim	Não
Consciência de <i>Cloud</i>	Sim	Não
<i>App Hosting</i>	Sim	Limitado
Serviço de Dados no <i>Edge</i>	Sim	Sim
Gestão de aplicações de dispositivos	Sim	Sim
Computação elástica	Sim	Não
Hardware modular	Sim	Não
Virtualização	Sim	—
Controlo em tempo real e alta disponibilidade	Sim	Não
Segurança	Encriptação ponto a ponto; Protecção de Dados; A nível de Hardware;	Solução parcial; <i>Firewall</i> ; VPN
Consciência de veticalidade	Sim	Não
Integração vertical de IoT	Sim	Não
Análise de Dados	Múltiplos dispositivos	Único dispositivo
Detecção de Anomalias	Sim	—

Tabela 2.3: Tabela Comparativa entre *Fog* e *Edge Computing*

Em conclusão, o *Edge Computing* não é sinónimo de *Fog Computing*. Entenda-se, são arquiteturas e abordagens que diferem uma da outra, sendo uma um subconjunto da outra. Ou seja, a *Edge Computing* executa aplicações específicas num local fixo (e.g. no dispositivo) e fornece serviços de transmissão direta. Por sua vez, o *Fog Computing* executa aplicações numa camada intermédia da arquitetura que efetua computação e executa agregação de dados. Além de computação e rede, também trata do armazenamento, do controlo e do processamento de dados (Iorga et al., 2018).

A *Cloud Computing* é uma arquitetura centralizada, em que a *Cloud* é responsável por todo o tipo de processamento, de análise e de agregação de dados. A distância é maior do que nas arquiteturas de *Fog* e de *Edge Computing*, uma vez que é condicionada pela existência de múltiplos saltos. Assim sendo, a latência e o *delay* são algumas dos problemas desta arquitetura, principalmente para aplicações em tempo real, pois estas requerem uma resposta mais rápida aquando da necessidade de atuação.

2.7 Trabalhos Relacionados

Na revisão da literatura e estado da arte, propostas para resolução do problema de monitorização de separadores de gordura industriais com base em sensores e **IoT** são

escassas.

Relativamente ao tema mais específico da monitorização de separadores de gordura industriais, no artigo (Faria et al., 2016) os autores exploram uma série de sensores possíveis para a resolução deste problema. A abordagem que seguiram foi através do princípio de capacitância, apresentando também módulos de hardware e software necessários para aquisição de dados e transmissão.

Outra proposta adaptável a este problema, é através de sensores ultrassônicos abordada no artigo (Behnia et al., 2019), tendo por base o aproveitamento do eco de som quando este embate nas zonas de interferências de líquidos diferentes permitindo assim que seja possível detectar zonas de interferência, pelo princípio de reflexão de ondas ultrassónicas espaçadas no tempo.

A nível de soluções para gestão de resíduos no artigo (Costa et al., 2020) é apresentada uma solução para gestão de barricas de óleo alimentar usado em restaurantes, através de sensores *Time-of-Flight* e com uma abordagem de arquitetura em *Fog Computing* permitindo, assim, a monitorização à distância para previsão de recolhas. O autor Gomes et al. (2020) apresentada uma solução *Edge Computing* com vista a eficiência energética, noção de contexto e atualizações OTA de dispositivos IoT para gestão de resíduos em restaurantes.

No artigo (Wen et al., 2018) é apresentada uma implementação e a avaliação de uma tecnologia de rede IoT baseada em sensores de peso e tags RFID para melhorar a gestão de resíduos de alimentos em restaurantes, na cidade de Suzhou, na China.

2.8 Conclusão

Neste capítulo foi descrito o funcionamento técnico dos separadores de gorduras industriais, qual a sua função e o seu propósito. Com um papel importante para todo o ecossistema, os separadores de gordura facilitam a redução da concentração de óleos e de gorduras nas redes coletoras e nos sistemas de tratamento de esgotos urbanos, permitindo assim, uma diminuição significativa na poluição da rede pública de esgotos e, ainda, facilitar todo o tratamento de reciclagem destes resíduos.

Abordaram-se, assim, três arquiteturas possíveis de implementar numa solução em IoT inteligente que seja capaz monitorizar os separadores de gordura, sendo elas, a *Cloud Computing*, o *Edge Computing* e a *Fog Computing*. Todas estas arquitecturas apresentam as suas vantagens e desvantagens, mas, uma arquitetura em *Fog Computing* atende a todos os requisitos necessários para solucionar o problema em questão.

A *Fog Computing* é uma arquitetura distribuída com uma camada intermédia capaz de processar e agregar os dados recebidos dos dispositivos IoT conectados a si e diminuindo drasticamente o delay, bem como a latência. Estes requisitos são importantes para que os dispositivos IoT tenham um menor gasto energético e maior longevidade no tempo com

uma única carga de bateria.

Esta é uma arquitetura modular e tem um nível de abstracção alto, possibilita, também, que a conectividade entre as camadas seja diversificada para o uso de diferentes tecnologias sem fios. Ao mesmo tempo que permite a mobilidade dos dispositivos, bem como a inserção de diferentes dispositivos **IoT**, como por exemplo as barricas de óleo, os separadores de gorduras e outros sensores e atuadores.

Capítulo 3

Especificação do Sistema de Monitorização de Separadores de Gordura Industriais

Neste capítulo começa-se por apresentar o cenário de aplicação no que diz respeito à monitorização remota de separadores de gordura em ambiente real, que deu origem ao levantamento dos requisitos do sistema tais como requisitos funcionais, não funcionais, hardware e software. De seguida, é detalhada a arquitetura *Fog Computing* usada no sistema, bem como um diagrama de sequência de mensagens que caracteriza a troca de informação entre os separadores de gordura, o *fog node* e os serviços de *cloud*. Por fim, apresentam-se também os vários sensores estudados para possível utilização nesta solução, com o intuito de medir e detetar a quantidade de gordura presente nos separadores de gordura industriais.

3.1 Cenário de Aplicação

O estudo em causa nesta dissertação de mestrado é o perceber a quantidade de óleos e de gorduras presentes nos separadores de gordura industriais dos clientes da Hardlevel e perceber quando precisam de limpezas e manutenções.

A Hardlevel é uma empresa, com sede em Vila Nova de Gaia, dedicada às energias renováveis. Para além da recolha e gestão de óleos alimentares usados, faz, também, a manutenção e limpeza de separadores de gordura em diversos clientes a nível nacional. Assim surge a necessidade premente de uma solução funcional, barata e adequada que facilitasse todo esse processo de manutenção e limpeza dos separadores de gordura industriais.

Os separadores de gordura são espaços sujeitos a grandes gorduras e com um ambiente bastante oscilante e, por isso, a solução tecnológica a ser desenvolvida requer uma grande

precisão e susceptibilidade.

Monitorização Recorrendo a Fog Computing

Neste caso de uso é fundamental monitorizar separadores de gordura industriais, de forma a que sejam evitados extravasamentos e contaminação das canalizações próprias e públicas.

Possibilidade ainda de monitorizar as águas injetadas no sistema de saneamento após as caixas de gordura, com vista a controlar se as mesmas se encontram dentro dos parâmetros legais.

Com o sistema implementado pretende-se detetar a quantidade de óleo e gorduras, bem como a quantidade de água nos separadores de gordura através de sensores e recorrendo a uma arquitetura do tipo *Fog Computing*, o que permite, assim, uma maior sustentabilidade energética dos dispositivos acoplados nos separadores de gordura industriais.

Um outro motivo para a escolha desta arquitetura de *Fog Computing* está associado a outros projetos da empresa, como é o caso da monitorização de barricas de óleo alimentar usado. Entenda-se, estes dois projectos assenta na mesma arquitetura, uma vez que é possível adicionar novos dispositivos sempre que necessário, mesmo que tenham diferentes fins, como é o caso.

Porém, este sistema será aplicado em diferentes cenários. Nomeadamente, os separadores de gordura apresentam dimensões diferentes, dependendo do meio em que forem inseridos, seja em restaurantes ou em hotéis, ou até mesmo cafés.

Desta forma, a quantidade de gorduras, óleo e restos alimentares vão variar consoante o meio envolvente e, conseqüentemente, a quantidade de alimentos depositados num separador de gordura.

Deste modo, num primeiro momento é detetada a quantidade de água no separador de gordura, através de sensores de condutividade. Assim sendo, depois de saber a quantidade de água no separador de gordura, é possível calcular a quantidade de *Fats, Oils and Grease (FOG)* no mesmo, uma vez que o nível da água acaba por ser menor, quando a quantidade de óleos e de gorduras é maior.

Já quando existe uma grande presença de restos alimentares, há automaticamente um recurso ao sensor de turbidez para verificar e detetar a sua presença pois a quantidade de partículas suspensas na água é bastante elevada.

Os testes em causa estão a ser desenvolvidos em dois clientes: a Companhia das Sandes e o H3. No caso da Companhia das Sandes existe uma menor quantidade de restos alimentares e uma maior quantidade de gorduras e de óleos das pastas. Já no H3, os restos alimentares também são em quantidades menores, no que diz respeito a óleos e gorduras são provenientes de hambúrguer.

3.2 Requisitos do Sistema de Monitorização

3.2.1 Requisitos funcionais

ID:RF1.1

Título:Medição de água

Descrição: O *Edge Device* é capaz de detetar e medir a quantidade de água no interior dos separadores de gordura.

ID: RF1.2

Título: Medição de **FOG** (*Fats, Oils and Grease*)

Descrição: O *Edge Device* é capaz de detetar e medir a quantidade de **FOG** no interior dos separadores de gordura.

ID: RF1.3

Título: Dados

Descrição:O *Edge Device* recolhe a informação obtida através de sensores (condutividade e turbidez) e comunica-os ao *Fog Device*.

ID: RF1.4

Título: Comunicação

Descrição: O *Edge Device* comunica os dados, periodicamente, e entra em modo *Deep Sleep*.

Fog Device

ID:RF2.1

Título: Dados

Descrição: O *Fog Device* recolhe a informação através dos diferentes *Edge Device* e guarda-os numa base de dados MariaDB.

ID:RF2.2

Título: Comunicação

Descrição: O *Fog Device* trata e comunica com um *WebService* os dados dos seus dispositivos *Edge Device*, mais concretamente a informação processada e tratada, bem como, se necessário emitir alertas.

3.2.2 Requisitos não funcionais

ID:RNF1.1

Título:Durabilidade energética

Descrição: O *Edge Device* é sustentável e duradouro a nível energético.

ID:RNF1.2

Título:Baixo Custo

Descrição: Todo o equipamento nos *Edge Device* é de baixo custo monetário.

ID:RNF1.3

Título: Escalabilidade

Descrição: O sistema permite inserir novos dispositivos e funcionalidades de forma fácil.

3.2.3 Requisitos de Sistema (*Software e Hardware*)

ID: RNS1.1

Título: Arquitetura

Descrição: Utilização de uma arquitetura *Fog Computing*.

ID: RNS1.2

Título: Sensorização

Descrição: Utilização de sensores capazes de detetar água e **FOG**.

ID: RNS1.3

Título: *Hardware Fog Device*

Descrição: Uso de Raspberry Pi Zero e um módulo de comunicação *GPRS*.

ID: RNS1.4

Título: *REST API*

Descrição: *API* para receção de dados no *Fog node*.

ID: RNS1.5

Título: Base de Dados

Descrição: Base de dados em MariaDB.

ID: RNS1.6

Título: *Hardware Edge Device*

Descrição: Uso de ESP32 da *Espressif*.

3.3 Arquitetura do Sistema de Monitorização

Na definição do sistema de monitorização de separadores de gordura industriais aplicou-se uma arquitetura *Fog Computing*, genericamente apresentada na Figura 3.1.

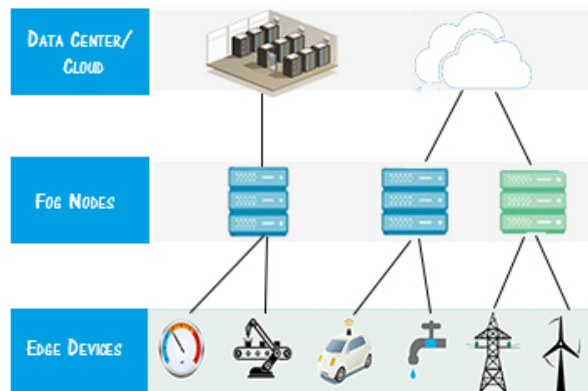


Figura 3.1: Camadas *Fog Computing* Genérica

Esta foi considerada uma relação de camadas mais adequada para o problema de monitorização exposto, uma vez que apresentava várias vantagens, tais como:

- i) baixa latência na transmissão de dados entre os *Edge Device* (separadores de gordura) e o *Fog Node*;
- ii) possibilidade dos *Fog Node* armazenarem e tratarem os dados localmente;
- iii) permitir que os *Fog Node* enviem somente os dados mais relevantes para a *Cloud*, evitando a transmissão e o armazenamento exaustivo e massivo de dados para *data centers*;
- iv) mais importante ainda, o aumento da autonomia das baterias dos *Edge Device*, devido à muita baixa latência no envio de dados para o *Fog Node*, permitindo que o hardware só esteja em pleno funcionamento quando os sensores realizam as medidas e envio imediato de dados para o *Fog Node*, posteriormente colocado em modo *Deep Sleep*, usando assim o mínimo de energia possível.

Destaca-se neste cenário, a utilização de uma arquitetura genérica de *Fog Computing*, que permite a comunicação entre os *Edge Device* e *Fog Node*, e entre o *Fog Node* e o *Data Center/Cloud*, através de diferentes tecnologias sem fios (e.g., Wifi, Bluetooth, ZigBee, GPRS, 3G, 4G, 5G, NB-IoT, Lora, Sigfox, etc.). Sendo um sistema modular, permite utilizar diferentes soluções de comunicação, adequadas às circunstâncias de cada cenário de utilização, como é visível na Figura 3.2.

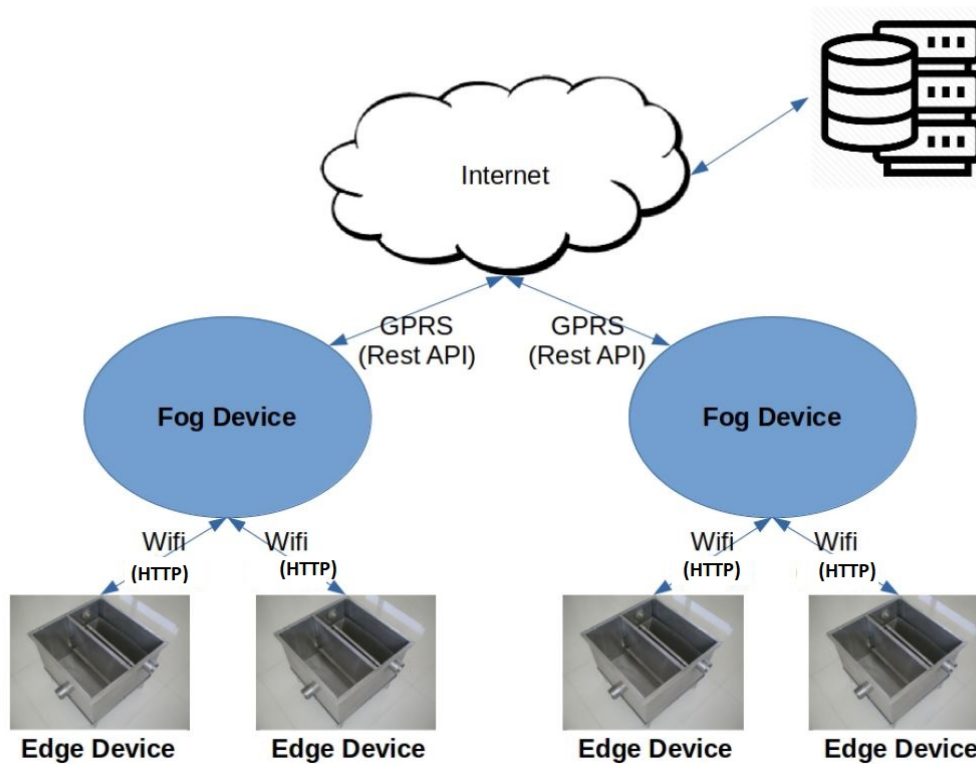


Figura 3.2: Esquema representativo das Interligações numa arquitetura *Fog* Aplicada no Sistema de Monitorização de Separadores de Gordura

3.3.1 Diagrama de Sequência de Mensagens

Para melhor definir a troca de informação entre o *edge device* (acoplado ao separador de gordura), o *Fog Device*, do servidor, é apresentado na Figura 3.3 um diagrama de sequências de um cenário comum de monitorização remoto.

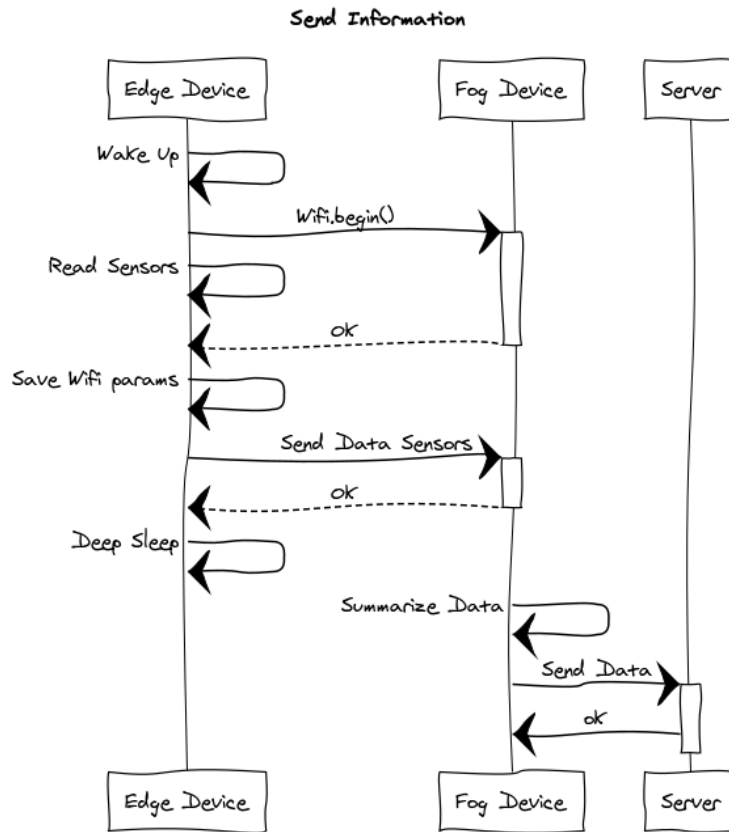


Figura 3.3: Diagrama de Sequência de Mensagens no Cenário de Monitorização Remota

A abordagem para o envio e troca de informação entre os dispositivos teve como principal preocupação otimizar a duração da bateria no dispositivo instalado no separador de gorduras.

Para isso, recorre-se à tecnologia de *Deep Sleep* do microcontrolador da *Espressif*, nomeadamente do ESP32, cujo diagrama de blocos é visível na Figura 3.4. Neste modo de funcionamento, o microcontrolador desliga os CPUs, a maior parte da RAM e todos os periféricos digitais com *clock*. As únicas partes que, ainda, podem ser ligadas são o controlador RTC, periféricos RTC incluindo o coprocessador ULP e memórias RTC.

O despertar do ESP32 pode ser efetuado de cinco maneiras diferentes: i) através do *timer* (com um tempo definido), ii) por *external wakeup ext0* ou por *ext1*, iii) por *ULP coprocessor wakeup*, ou ainda iv) por um *interrupt touchpad*.

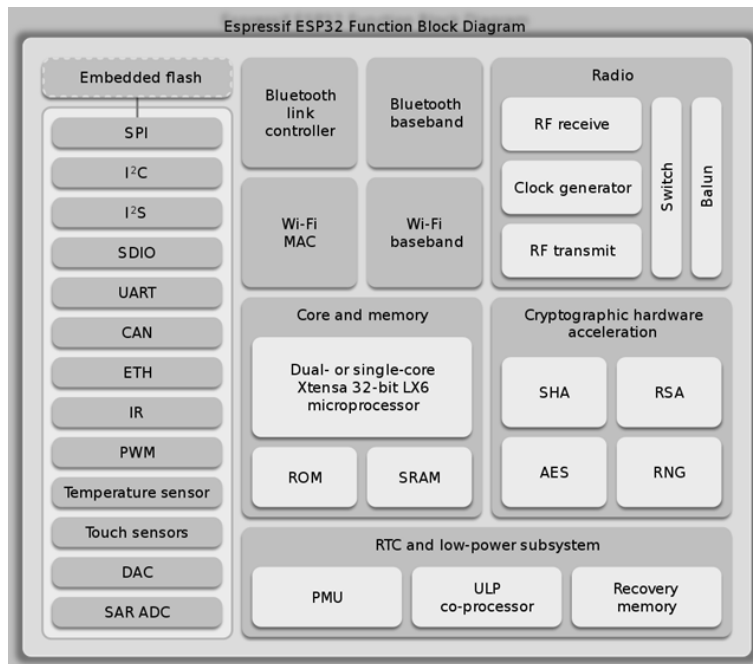


Figura 3.4: Diagrama de Blocos do Microcontrolador ESP32

Após o despertar do microcontrolador, este tenta estabelecer ligação *WiFi* com o dispositivo *Fog* e guarda na memória os parâmetros da ligação. Isto, facilitará as ligações seguintes, diminuindo assim o tempo de estabilização de conectividade.

Enquanto a estabilização de rede ocorre, o dispositivo lê paralelamente os sensores de condutividade e de turbidez para otimizar tempo e recursos, bem como, energia elétrica. Caso não seja possível, estabelecer uma ligação de rede, como por exemplo, por motivos de indisponibilidade do *Fog device* ou interferências de redes; o microcontrolador prossegue no algoritmo, iniciando o modo *deep sleep* e tentará na vez seguinte após ter ocorrido o tempo de *deep sleep*.

Depois de ocorrer os passos anteriormente descritos, o dispositivo no separador de gordura, envia para o dispositivo *Fog* a informação telemétrica recolhida junto com a percentagem de bateria que ainda dispõe, **RSSI** e tempo de envio. Quando este, recebe um "OK" do dispositivo *Fog*, entra em modo *deep sleep*, por um tempo definido, e dá como terminado o seu ciclo de trabalho.

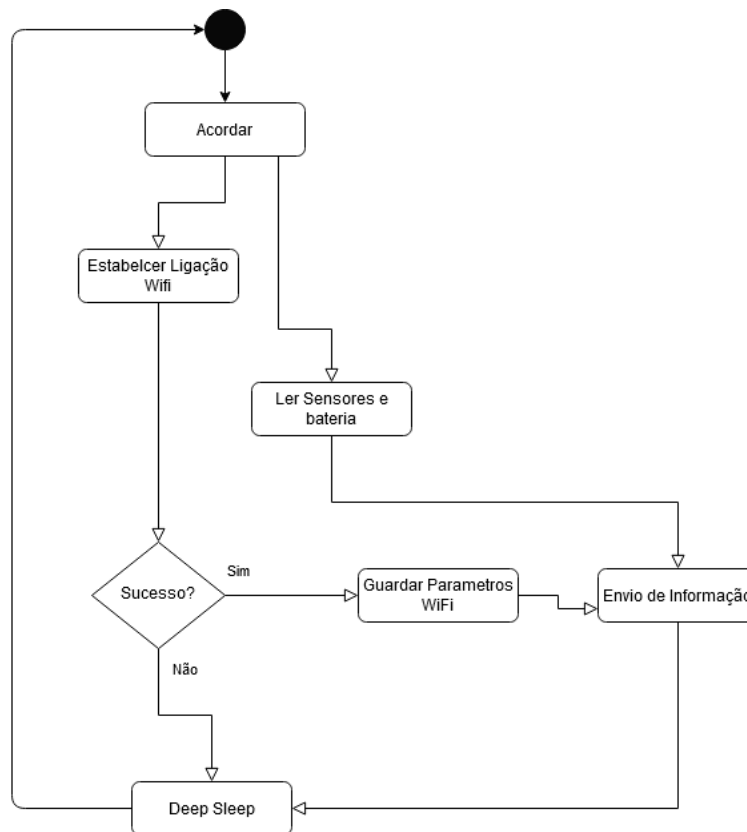


Figura 3.5: Fluxograma de Lógica no *Edge Device*

Os passos seguintes dizem respeito ao dispositivo *Fog* que guarda a informação numa base de dados local e todas as madrugadas sumariza toda a informação recebida e envia para um servidor externo. O dispositivo *Fog* só enviará informação no momento, se for justificável, como por exemplo bateria muito baixa, ou mudança drástica nos valores dos sensores que justifique e mostre uma possível intervenção de manutenção de limpeza.

3.4 Análise de Sensores para Monitorização dos Separadores de Gordura

Para Freitas (2013), os sensores são equipamentos utilizados para captar dados em diversos meios. Para cada caso de uso é necessário o recurso a diferentes sensores, uma vez que aspetos como pressão, temperatura, viscosidade, pressão do ambiente podem interferir nas medições e, por isso, são necessários vários sensores.

Os sensores que podem ser utilizados na medição de líquidos podem dividir-se em duas categorias: i) sensores de medição contínua, que são capazes de fornecer o nível real do líquido; ii) sensores de medição de presença, que permitem determinar se o líquido atingiu um determinado nível onde o sensor está instalado.

3.4.1 Sensor de Condutividade

A condutividade da água é delimitada pela sua capacidade de conduzir corrente elétrica, que é determinada pela quantidade de sólidos dissolvidos (TDS) e pela quantidade de íões dissolvidos na água (Torrents, 2004).

O princípio de funcionamento de um sensor condutividade é medir a condutividade em materiais ou líquidos que permitem a condução de energia elétrica. Assim sendo, como a água conduz eletricidade, e, o óleo e gordura não são condutores, este sensor é aplicável neste caso de uso dos separadores de gorduras.

Com este sensor de condutividade, o mecanismo é fácil e simples mas requer algum cuidado em especial com as barras de metal do sensor, uma vez que o excesso de gordura pode se acumular nas mesmas e afetar a sensibilidade do sensor. Este problema pode ser resolvido se o ponto de prova de condutividade for completamente liso e colocado na vertical, evitando assim que se acumule gorduras.



Figura 3.6: Sensor de Condutividade

3.4.2 Bóias de nível com sensor magnético

As bóias de nível, se tiverem uma densidade menor do que a água e maior do que os óleos e gorduras, estas vão flutuar entre a camada de água e a camada de FOG, permitindo assim detetar se a camada de água diminui com o acumular de gorduras.

O sensor magnético – eletrónico (Gurevich, 2005) ou mecânico (Iwamoto and Kamata, 1992) – deve ser montado no eixo da bóia sendo estimulado no ponto em que a bóia se encontra, funcionando, assim, como um sistema de alerta de nível. Este sistema de bóias é eficaz na medição do nível de líquido nos separadores de gordura. É um sistema comum e simples mas mais dispendioso e tem o problema da acumulação de gorduras no eixo da bóia que pode inviabilizar a movimentação da mesma no sensor magnético.



Figura 3.7: Sensor de Bóias de nível com sensor magnético

3.4.3 Sensor Ótico

Um sensor ótico tem um emissor de luz e um recetor de luz medindo assim a quantidade de luz no ponto de prova (Tregay, 1991). Normalmente é construído no formato de cone ou prisma e tem um índice de refração de 1,5. O índice de refração na água geralmente é inferior do que no óleo, permitindo assim distinguir a presença dos dois líquidos. Mas, as camadas de gordura na superfície vão afetar e alterar as propriedades de reflexão afetando assim a medição deste sensor (Elert, 2006).



Figura 3.8: Sensor Ótico

3.4.4 Sensor de Densidade

Um sensor de densidade mede a densidade do líquido na sua envolvência (Oliveira, 2010). Um separador de gordura quando está totalmente cheio de água vai ter uma densidade sempre superior do que quando este está na presença de água e FOG.

Com o passar do tempo e a acumulação de FOG, a densidade vai diminuindo permitindo extrapolar a quantidade de FOG no separador de gordura. Este tipo de sensor é muito dispendioso para o tipo de problema exposto e necessita de calibração para ser viável a sua utilização (F. W. Sears, 1984).



Figura 3.9: Sensor de Densidade

3.4.5 Sensor de Turbidez

A turbidez é uma propriedade física dos fluídos que se traduz na redução da sua transparência devido à presença de materiais em suspensão, que interferem com a passagem da luz através do fluído. A complexidade das interações óticas entre a luz incidente, as propriedades óticas dos materiais dissolvidos em suspensão e as características do fluído, em particular o seu índice de refração e cor, torna a turbidez numa propriedade visual essencialmente subjetiva, não se comportando como uma grandeza física diretamente mensurável.

O sensor de turbidez mede a quantidade de partículas suspensas no líquido e quanto maior for o número dessas mesmas partículas, maior será a sua turbidez (DfRobot, 2017).



Figura 3.10: Sensor de Turbidez

3.4.6 Sensor de Peso

O sensor de peso é um sensor que funciona por resistência, ou seja, é um sensor resistivo. Através deste sensor é possível medir o peso de algum objeto ou força aplicada sobre ele. O princípio de funcionamento destes sensores é bastante simples, quanto maior a força exercida sobre ele, menor será a resistência entre seus terminais.

Estes sensores apresentam dois problemas relevantes, sendo o primeiro a resposta não é linear, ou seja, não é proporcional à força que é exercida sobre eles, e um outro problema é que não deve ser mantido um peso apoiado constante durante um tempo longo pois a probabilidade de os danificar é muito alta.

No caso dos separadores de gorduras o peso medido seria superior quando estivesse cheio de água, do que quando estivesse com gorduras no seu interior. O peso vai dimi-

nuindo com a acumulação de óleos e gorduras. Apresenta, ainda assim, um problema de instalação, pois os separadores teriam que ser apoiados em cima destes sensores e muitos destes estão presos ou chumbados ao piso.



Figura 3.11: Sensor de Peso

3.4.7 Sensor Ultrassônico

Os sensores baseados ultrassom (sonar) emitem pulsos de rádio ou de som e calculam o tempo que é levado para que ele seja refletido e retorne ao sensor. Como a velocidade emitida é conhecida então é possível calcular a distância ao objeto onde existe reflexão (Freitas, 2013).

Contudo, estes sensores têm um angulo de abertura, ou seja, não é um sensor direcional a um único ponto e tem um efeito do tipo cone em que as ondas de som à medida que se propagam tendem alcançar um maior espaço.

Para a utilização deste tipo de sensor nos separadores de gordura, teria de ser utilizado um sonar à prova de água que pode-se ser imersível. O sonar teria de estar no interior do separador fixado numa zona mais abaixo e a apontado para cima pois as ondas de som seriam refletidas na zona de separação da água e gorduras (Mendes, 2017).

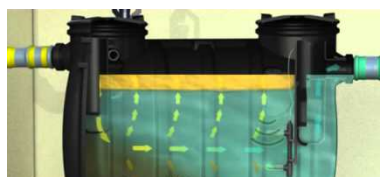


Figura 3.12: Sensor Ultrassônico

3.4.8 Sensor **RADAR**

O princípio de funcionamento deste sensor **RADAR** é baseado em frequências. As frequências emitidas são capazes de atravessar diferentes objetos e o recetor é capaz de escutar as diferentes reflexões no tempo, pelo meio envolvente (Weiss and Knochel, 2001).

Um sensor destes instalado na tampa do separador, seria capaz de medir quatro distâncias diferentes, a distância ao topo dos líquidos, a zona de separação da água e gorduras,

a zona de separação da água e dos restos de comidas, e por fim o fundo do separador. É um sensor com um preço monetário bastante elevado para o caso de uso.

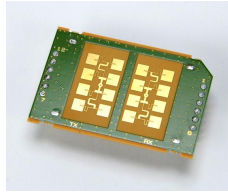


Figura 3.13: Sensor RADAR

3.5 Conclusão

Neste capítulo foi apresentado o cenário de monitorização das caixas de gordura industriais, os requisitos do sistema e a arquitetura respetiva. Foi proposta uma arquitetura *Fog Computing* com base num conjunto de benefícios adequados ao cenário de monitorização proposto. Por fim, apresentou-se um diagrama de sequência de mensagens, descrevendo a melhor forma de funcionamento do sistema, em função da quantidade de dados gerados pelos dispositivos IoT, mas também, e sobretudo, pela diminuição considerável dos tempos de latência. Esta diminuição permite também que os dispositivos gastem menos energia e aumentem consideravelmente a sua autonomia energética.

Este capítulo termina com a descrição do estudo efectuado sobre os potenciais sensores a usar nesta solução. Foram estudados e apresentados vários tipos de sensores, com viabilidade para integrar esta solução, tanto do ponto de vista funcional como económico. Com base nestes critérios de funcionalidade e viabilidade económica, os sensores seleccionados foram: i) sensores de condutividade, uma vez que detetam a presença de água; ii) sensores de turbidez, a fim de detetar a presença de restos alimentares ou a existência de detritos; e ainda outro iii) sensor de turbidez para detetar partículas suspensas nos líquidos, permitindo rastrear a qualidade da água no interior de um separador de gorduras, que se vai degradando entre as manutenções.

Capítulo 4

Implementação do Sistema de Monitorização de Separadores de Gordura Industriais

Nesta secção são descritos todos os detalhes técnicos utilizados nos componentes do sistema, tais como dispositivo *Fog* e dispositivo *Edge* (separador de gordura). Aqui são apresentados os pormenores físicos e de construção do dispositivo **IoT** a instalar nos separadores de gordura industriais, bem como o código implementado.

4.1 Implementação *Fog Device*

O *Fog Device* é um dispositivo intermédio, na arquitetura *Fog Computing* implementada, instalado nos restaurantes que necessitem de monitorização de separadores de gordura industriais. Note-se que este dispositivo pode servir para a ligação de outros dispositivos **IoT** da HardLevel, presentes nos estabelecimentos, tais como, barricas de **OAU** inteligentes, que não são objeto deste estudo.

Este dispositivo tem como propósito recolher toda a informação telemétrica enviada pelos separadores de gordura e armazenar numa base de dados interna toda essa informação para que posteriormente a possa enviar para a *Cloud*, utilizando para este fim, os serviços *Cloud IoT* da *ThingSpeak*. O dispositivo está ligado diretamente à rede elétrica através de um transformador, com disponibilidade 24x7, de modo a que seja possível receber, a qualquer momento, os dados de sensorização enviado por todos os dispositivos locais instalados.

Para comunicação interna, o *Fog Device* disponibiliza uma rede WiFi reconhecida pelos dispositivos **IoT**. Para comunicação externa com a *Cloud* é utilizada comunicação *GPRS* através de uma ligação **PPP** entre o *Fog Device* e o módulo de comunicação de dados.

O *Fog Device* a nível técnico de construção e em termos de Hardware utiliza uma Raspberry Pi Zero e um SIM800L. Na Figura 4.1 apresenta-se o esquema do circuito implementado.

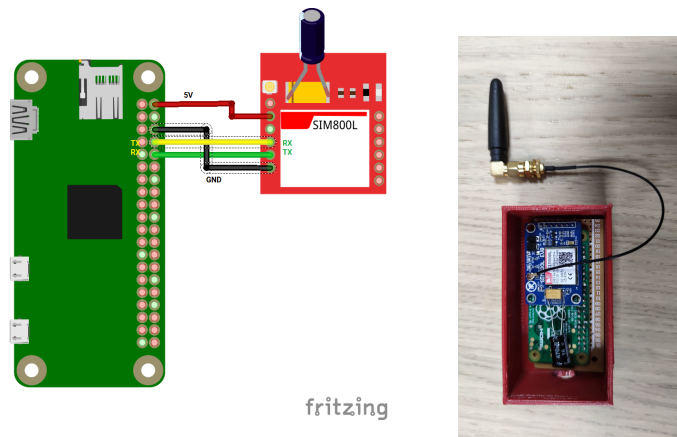


Figura 4.1: Esquemática e Construção do *Fog Device*

Para esta solução é necessário a implementação de uma *API*, que foi desenvolvida em Python Flask, para que os dispositivos acoplados nos separadores de gordura comuniquem os dados recolhidos dos sensores, o nível de bateria e tempos de operabilidade, que posteriormente de os ter recebido, guarda-os numa base de dados interna, neste caso, MariaDB. Em baixo (4.1) é apresentado o código desenvolvido com esta implementação:

Fog Device - API para Requests de Dados

```
from flask import Flask, request
import mysql.connector
from mysql.connector import Error
from mysql.connector import errorcode
import http.client
import urllib

app = Flask(__name__)
#end_node route: "http://192.168.5.1:5000/post"
#Rota de request para os dispositivos IoT(separadores de gordura)
@app.route('/post', methods = ["POST"])
def post():
    #obter parametros de json no request
    data = request.get_json()
    mac_address_sensor = data.get('mac_addr', '')
    message = data.get('message', '')
    rssi = data.get('rssi', '')
    battery = data.get('battery', '')
```

```

time_to_send = data.get('time','')

#gravar na base de dados
save_database(mac_address_sensor, message, rssi, battery,
             time_to_send)
return ''

#Funcao responsavel pela conexao e insercao na base de dados
def save_database(mac_address_sensor, message, rssi, battery, time_to_send):
    try:
        connection = mysql.connector.connect(host = 'localhost', database
            = 'caixa_gordura', user = 'admin', password = 'admin')
        cursor = connection.cursor()
        insert_query = """INSERT INTO caixa_gordura (message,
            mac_address_sensor, rssi, battery, time_to_send) VALUES (%s,
            %s, %s, %s, %s)"""
        data = (message, mac_address_sensor, rssi, battery, time_to_send)
        cursor.execute(insert_query, data)
        connection.commit()
        print ("insert sucessfully")
    except mysql.connector.Error as error:
        print ("Failed to insert")
    finally:
        if(connection.is_connected()):
            cursor.close()
            connection.close()
            print ("Connection is closed")

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

```

4.2 Implementação *Edge Device*

O *Edge Device* é um dispositivo acoplado nos separadores de gordura industriais para a monitorização do seu interior através de sensores de condutividade e turbidez. Este dispositivo recolhe toda a informação telemétrica dos sensores, verifica a percentagem de bateria, **RSSI** da ligação Wifi estabelecida e o tempo de operabilidade, enviando toda esta informação ao seu *Fog Device*.

Para comunicação interna entre o separador de gordura e o *Fog Device*, é utilizada uma ligação WiFi. O *Edge Device* envia um *Post Request*, com os dados, através da *API* desenvolvida e descrita na secção anterior. Esta está permanentemente à espera de receber

informação dos dispositivos no meio envolvente e ligados à rede WiFi.

O *Edge Device* a nível técnico de construção e em termos de Hardware utiliza uma *board* desenvolvida internamente na Hardlevel, com reserva da propriedade intelectual, que incorpora um microcontrolador ESP32 da Expressif, bem como, sensores de condutividade e de turbidez. Na Figura 4.2 apresenta-se o dispositivo que foi desenvolvido.



Figura 4.2: *Edge Device* - Separador de Gordura

Em (Gomes et al., 2020) apresenta-se uma solução **IoT** eficiente para a monitorização de barricas de óleo, tendo como foco principal a eficiência energética da solução, conseguindo-se alcançar mais de um ano de vida útil com a mesma bateria. Os autores disponibilizam uma biblioteca de código aberto, "*Esp Fast Connect*", que torna mais rápida a conexão WiFi e, portanto, otimiza o uso de energia durante o estado de ativação. As seguintes otimizações foram implementadas:

- Configuração de rede estática predefinida evitando assim o *DHCP*;
- Manter detalhes da conexão em cache, como, *BSSID*, *SSID* e canal em cache, permitindo conexão sem qualquer tipo de varredura de rede;
- Reduzir intervalo de verificação de conexão para 10ms ao invés de 500ms;
- Evitar a espera ocupada, ou seja, chamada `WiFi.begin` não bloqueia o **CPU**, e em vez de perder tempo a perguntar se a conexão foi estabelecida, a biblioteca executa outro trabalho útil, como a leituras de sensores.

O ESP32 tem um problema de leituras nas portas analógicas, principalmente nas portas **ADC2**, quando o dispositivo está a estabelecer ou está ligado a uma rede WiFi. Para ultrapassar esta lacuna, a solução encontrada foi o dispositivo quando é ligado a primeira

vez, através de bateria, guarde os registos de *SENS_SAR_READ_CTRL2_REG* responsáveis pelas portas *ADC* e imediatamente antes de ler as portas analógicas necessárias, os valores vão ser repostos através das funções *WRITE_PERI_REG()* e *SET_PERI_REG_MASK()* presentes nas bibliotecas deste microcontrolador.

Se estes passos não forem efetuados, as leituras analógicas vão ser totalmente incorretas. Para isso, uma outra solução seria ler todos os sensores nas portas analógicas *ADC2* antes de qualquer ligação *WiFi*.

Assim sendo, esta solução de monitorização de separadores de gordura, utiliza a biblioteca apresentada, para garantir uma melhor eficiência energética. Adicionalmente, para garantir uma maior otimização energética o *clock* do processador do *ESP32* foi reduzido para *80MHz*, não perdendo de todo a eficiência necessária para processamento nesta solução. De seguida apresenta-se um excerto do código desenvolvido (4.2), onde se podem ver as funções *setup()* e *read_AnalogPIN()*, utilizadas nos *Edge Device* acoplados aos separadores de gordura.

Edge Device - Funções *setup()* e *read_AnalogPIN()*

```
#include <EspFastConnect.h>

#leitura analogica de pinos e calcular a sua mediana.
int read_AnalogPIN(int pin)
{
    int analog = 0;
    int * values = (int *) malloc(sizeof(int) * N_READS_PIN);
    Median * mm = new Median();
    for (int i=0 ; i<N_READS_PIN ; i++) {
        #redefinir valores ADC2 para evitar leituras erradas com WiFi ligado
        WRITE_PERI_REG(SENS_SAR_READ_CTRL2_REG, reg_b);
        SET_PERI_REG_MASK(SENS_SAR_READ_CTRL2_REG, SENS_SAR2_DATA_INV);
        #leitura analogica de pino
        values[i] = analogRead(pin);
        delay(5);
    }
    analog = mm-> get_median (values, N_READS_PIN);
    return analog;
}
```

```
#funcao principal(setup) do dispositivo IoT
void setup() {
    setup_wdt(150);

    #inicializar input/output de pinos analogicos/digitais
    pinMode(potPin1, INPUT);
    pinMode(potPin2, INPUT);
    pinMode(potPin3, INPUT);
    pinMode(potPin4, INPUT);
    pinMode(potPin5, INPUT);
    pinMode(potPin6, INPUT);
    pinMode(potPin7, INPUT);
    pinMode(potPin8, INPUT);
    pinMode(potPin9, INPUT);
    pinMode(VBAT_EN, OUTPUT);
    pinMode(CONTROL3v3, OUTPUT);
    Serial.begin(115200);

    #obter a razao para o dispositivo estar a despertar
    esp_reset_reason_t reason = esp_reset_reason();

    #obter registo reg_b (ADC) se o motivo de reset nao for por deep sleep
    (caso da 1a ligacao)
    if ((reason != ESP_RST_DEEPSLEEP)) {
        reg_b = READ_PERI_REG(SENS_SAR_READ_CTRL2_REG);
    }

    #estabelecer ligacao wifi e chamar funcao para leitura de sensores
    if(efc.begin(ssid, password, 5000, get_readings, ip, gateway, subnet))
        #enviar dados para o Fog Device adicionando informacao de
        RSSI,mac_address,tempo
        efc.send(some_data_to_append(), send_request);
    delay(50);

    #deep sleep
    hibernate(sleep_interval);
}
```

4.3 Conclusão

Neste capítulo foram descritas as implementações dos dispositivos *Fog* e *Edge* utilizados na solução tecnológica **IoT** proposta. São apresentados excertos de código da implementação dos componentes da solução, enfatizando-se a gestão e eficiência energética. Foi, também por isso, apresentada uma biblioteca, que permite uma otimização energética dos dispositivos **IoT** utilizados. Esta biblioteca permite gerir o estabelecimento da ligação WiFi e a troca de dados entre os dispositivos *Edge* e *Fog*. Apresenta-se ainda uma solução para os problemas associados às leituras de portas analógicas, no microcontrolador ESP32, aquando do uso simultâneo da rede WiFi.

No próximo capítulo serão apresentados os resultados da avaliação dos dispositivos *Edge*, quer a nível energético, quer a nível da deteção dos níveis de gordura, nos separadores de gordura, obtida pelos sensores de condutividade e turbidez implementados nesta solução.

Capítulo 5

Avaliação do Sistema de Monitorização de Separadores de Gordura Industriais

Neste capítulo são apresentados os testes efetuados com os dispositivos *Edge*, uma vez que as contribuições deste trabalho se centram em particular neste componente da arquitetura. Em particular, procurou-se avaliar o desempenho na deteção do nível de gordura, recorrendo ao sensor de condutividade desenvolvido e ao sensor de turbidez, ambos incorporados na solução *IoT* final. São apresentados ainda os resultados da análise de consumo energético do *Edge Device*. Todos os dados recolhidos são apresentados em conjunto com a sua análise e respetivas conclusões.

5.1 Resultados do Sensor de Condutividade

Nos testes iniciais foram utilizados somente água e *OAU*, permitindo provar a existência de condutividade em zona de água e não condutividade na zona do óleo. Os resultados obtidos, a partir do sensor de condutividade durante a prova de água e óleo alimentar usado, foram bastante viáveis e confirmam a condutividade quando estes estão em contacto com a água. Já quando em contacto com o óleo alimentar usado não se verificou.

Como possível observar na Figura 5.1, existem três pontos de prova e mais um quarto pino para valor de referência em contacto com a água, enquanto os restantes três pontos estes estão em contacto com o óleo alimentar usado. O pino mais próximo do pino de referência é o pino um e estes estão ordenados de forma crescente, na vertical, sendo o mais afastado o pino seis. Referir, ainda, que todos os pinos estão distanciados entre si por 1.5cm de forma homogénea.

Quanto maior for o número de pinos para leitura de condutividade, menor são os valores obtidos. Entenda-se, a água tem resistividade elétrica e cada um dos pinos de leitura está conectado com o microcontrolador, que através de resistências, por forma a criar um *pull down* para as situações de não condução elétrica (contacto com *OAU*),

evitando, assim, pequenos ruídos. Desta forma, a junção destas resistências elétricas provocam alguma queda de tensão elétrica no circuito.

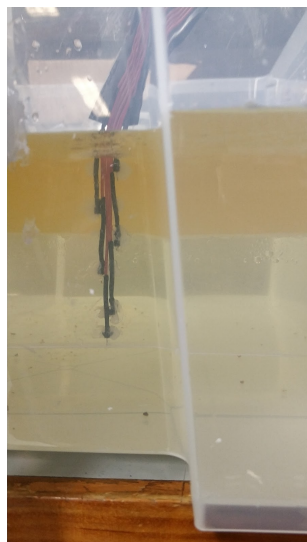


Figura 5.1: Testes Reais de Condutividade em Água e OAU

Na tabela 5.1 analisamos três amostras dos valores obtidos (leituras analógicas) perante o momento da Figura 5.1 descrita anteriormente. Estes resultados provam que os pinos em contacto com a água têm condutividade elétrica e os restantes não têm por estar em contacto com OAU.

	Pino 1	Pino 2	Pino 3	Pino 4	Pino 5	Pino 6
Amostra 1	4096	4096	4089	0	0	0
Amostra 2	4096	4096	3989	0	0	0
Amostra 3	4096	4096	3993	0	0	0

Tabela 5.1: Resultados Obtidos da Condutividade em Água e OAU

Numa outra experiência, com água e óleo alimentar usado, registou-se todo o processo - leituras do sensor de condutividade - até ao enchimento total de água. De seguida foi adicionado óleo alimentar usado de forma irregular e em diferentes quantidades até que todos os sensores de condutividade ficassem cobertos de OAU.

Através dos dados obtidos foi possível construir um gráfico visível na Figura 5.2, em que os primeiros valores coincidem com o enchimento de água no separador de gorduras (amostras inferiores à amostra 97) e as restantes amostras demonstram o adicionar de óleo alimentar usado.

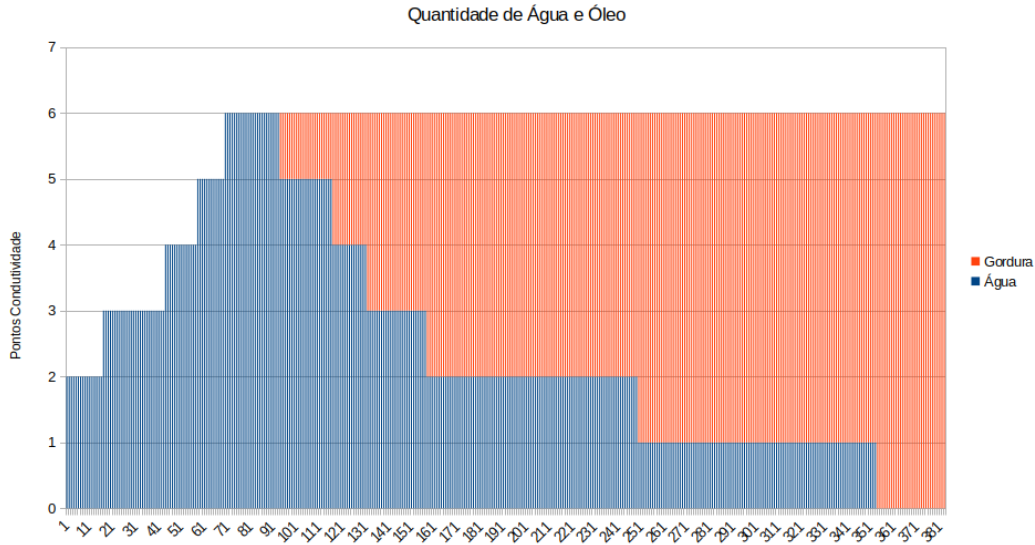


Figura 5.2: Gráfico da quantidade de água e de gordura medidos

Com o recurso a sensores de condutividade, para este caso de estudo, surge uma dificuldade: a acumulação de gorduras nas barras de metal, que provoca instabilidade nas leituras efetuadas e, ainda, inviabilizar todo o processo.

Para isso, foi proposto o desenvolvimento de uma PCB como demonstra a Figura 5.3 e a Figura 5.4, com vários pontos de prova, distanciados entre si, tanto na vertical como na horizontal, para evitar possíveis contactos entre pinos através de bolhas de água, mas, também, revestidos a estanho e a proteção de humidades para que esta não sofra de corrosão provocada pela água no interior do separador de gordura.

A acumulação de óleo e gorduras são, assim, reduzidos consideravelmente visto ser uma superfície totalmente lisa e deixando de ter expostas barras de metal para leitura de condutividade.

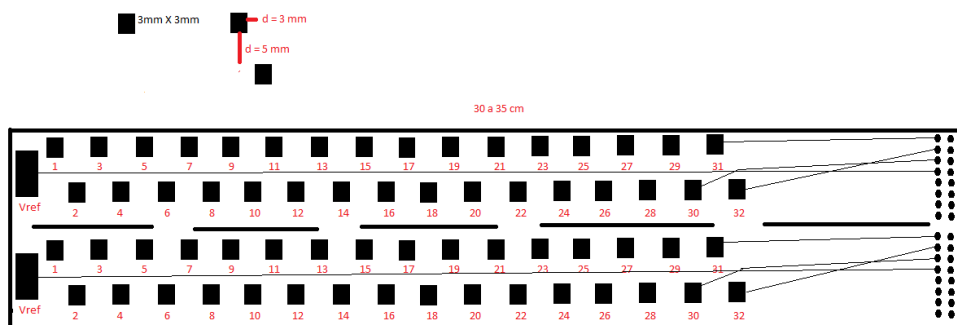


Figura 5.3: Esquema de Construção do Sensor de Condutividade

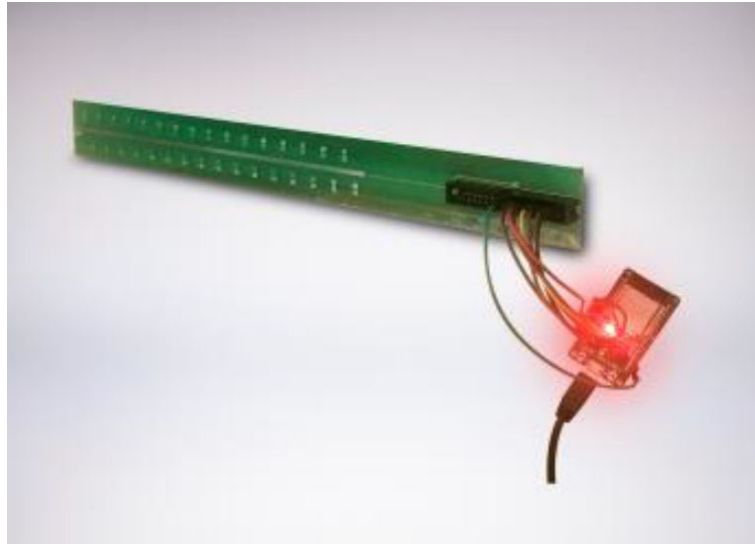


Figura 5.4: Protótipo Sensor Condutividade

Os testes efetuados com o protótipo do sensor de condutividade, impresso, não demonstraram resultados promissores. Isto é, com os ciclos consequentes e repetitivos de testes (amostras consecutivas no tempo), a **PCB** começou a sofrer alguma corrosão provocada pela constante passagem de energia e por estar em contacto com água. Outra desvantagem encontrada foi o facto desta não ter sido impressa de maneira a corresponder aos requisitos necessários e propostos para que tal oferecesse resistência e isolamento a água e humidade (e.g *Conformal Coating*).

Posto isto, os resultados obtidos mostraram oscilações e incoerências nas leituras de condutividade, como valores muito díspares em leituras consecutivas, ou, ainda, valores de não condutividade mesmo em pontos que estavam em contacto com água.

Após os resultados obtidos pelo *Edge Device*, em laboratório, na medição do nível de água e de óleo alimentar usado, com vista a provar a condutividade elétrica nesse cenário, passou-se à fase seguinte, na qual foi possível testar o protótipo em ambiente mais real com óleos e gorduras provenientes de separadores de gorduras recolhidos pela empresa em restaurantes.

Neste cenário, que é mais próximo da realidade encontrada num separador de gorduras de um restaurante, são esperados alguns efeitos químicos como a emulsão e a fermentação.

A emulsão é formada quando existe mistura de dois líquidos imiscíveis, ou seja, líquidos que não se misturam. Neste caso, um dos líquidos encontra-se no interior do outro líquido, também chamado de dispersão coloidal, já que algumas partículas ou gotículas de um líquido estão dispersos em outro líquido.

A zona de emulsão no separador de gordura é uma zona crítica para leitura de condutividade porque é esperado que este leia valores positivos de condução elétrica pois está perante uma situação de contacto com gordura e água (Figura 5.5).

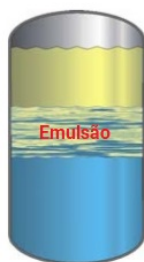


Figura 5.5: Emulsão num Separador Gorduras

Numa banca de lavagem de uma cozinha de restaurante é comum que restos alimentares sejam despejados e que se acumulem nos separadores de gorduras. Estes vão-se depositar no fundo do separador de gordura, mas, com o passar do tempo, sofrem um processo de fermentação. Este é o processo no qual a matéria orgânica é parcialmente degradada e existe libertação de energia química armazenada (Qi et al., 2020; Wrieger-Bechtold et al., 2011).

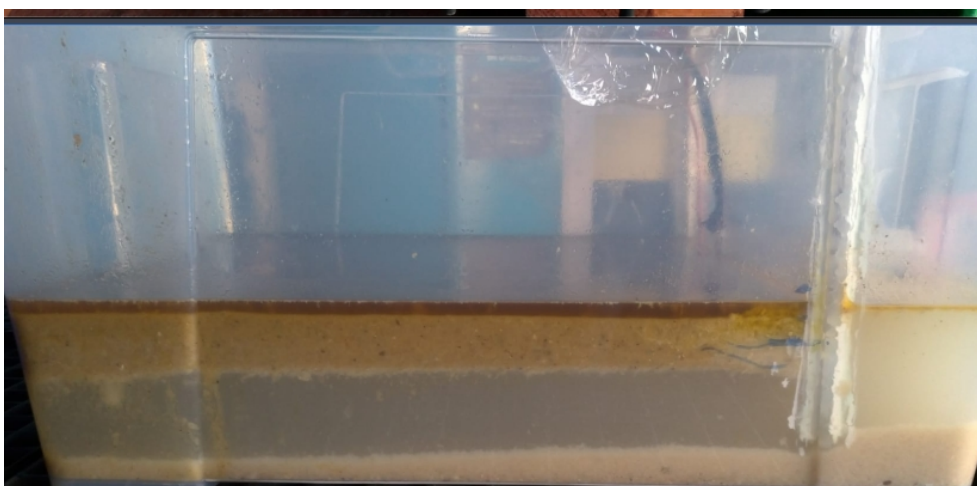


Figura 5.6: Protótipo do Separador de Gordura em Ambiente Real

Na Figura 5.6 podemos observar cinco zonas de conteúdo diferentes. No topo dos líquidos, uma zona mais escura que corresponde a óleos alimentares usados, a baixo desta, uma zona de gorduras, e inferior a esta última, a chamada zona de emulsão (a cor mais clara, com pouca espessura). Esta zona, com o tempo tende a diminuir, pois as partículas de líquidos diferentes vão-se separando.

A zona mais transparente é água propriamente dita e no fundo do separador encontramos restos alimentares, que podem entrar em fermentação.

Neste cenário, os resultados obtidos permitiram observar alguns pontos chave importantes. De facto, as zonas de emulsão são um ponto crítico nas leituras de condutividade. Assim, retiraram-se várias amostras espaçadas no tempo - com uma hora de diferença - obtidas com o sensor de condutividade (valores apresentados 0 ou 1) e também com um

voltímetro (valores de tensão elétrica). Note-se que o conteúdo no interior do separador de gordura não foi alterado durante este processo de análise e os resultados obtidos estão descritos na tabela 5.2.

Em modo de leitura binária nos pinos do microcontrolador, todas as leituras inferiores a 1.67V são consideradas como valor 0, já as superiores são devolvidas como 1. De salientar, ainda, que nesta experiência foi adicionado mais um pino de leitura superior, sendo um total de sete pinos de análise.

	Amostras(1h)							
	1		2		3		4	
Pino 1	2.66V	1	2.72V	1	2.86V	1	2.91V	1
Pino 2	2.60V	1	2.66V	1	2.84V	1	2.88V	1
Pino 3	2.62V	1	2.66V	1	2.83V	1	2.90V	1
Pino 4	2.58V	1	2.58V	1	2.25V	1	2.0V	1
Pino 5	2.34V	1	2.30V	1	1.66V	0	0.8V	0
Pino 6	1.85V	1	1.74V	1	0.47V	0	0.21V	0
Pino 7	0.26V	0	0.24V	0	0.06V	0	0V	0

Tabela 5.2: Resultados das Medições Obtidas com Sensor de Condutividade em Gorduras

Analisando a tabela 5.2, constatamos que os pinos 5 e 6, estavam inicialmente numa zona de emulsão, que com o passar do tempo e com a separação das partículas. Esta zona foi se degradando e diminuindo. Na última amostra, amostra 4, estes pinos estavam só em contacto com gorduras e começaram a ter leituras de 0 na condutividade.

Durante este processo, da análise dos dados, foi possível observar um outro aspeto importante, a de que os pinos mais próximos do pino de referência apresentavam uma tensão elétrica mais perto do seu valor - 5V. Ou seja, os pinos 1, 2 e 3, aumentaram o seu valor de tensão elétrica. Isto deve-se ao facto de que com o passar do tempo, menos pinos de leitura de condutividade estavam em circuito com o pino de referência. Assim sendo, a energia elétrica passou a ser conduzida por menos três zonas de passagem.

Este aspeto é bastante importante, pois é outro indicador de que no separador de gorduras a camada de água está a diminuir e existe uma acumulação de restos alimentares, óleos e gorduras.

A acumulação de restos alimentares no fundo do separador de gordura é outro problema que necessita de ser detetado através de sensorização. Através da condutividade esta zona não é possível de detetar, uma vez que os restos alimentares estão misturados com água que é condutora elétrica.

Numa outra experiência, para validação do sensor de condutividade, utilizando o conteúdo de um separador de gordura recolhido num hotel, verificamos tal problemática. Como podemos observar na Figura 5.7, a quantidade de restos alimentares é muito supe-

rior em comparação com a quantidade de óleos e gorduras.

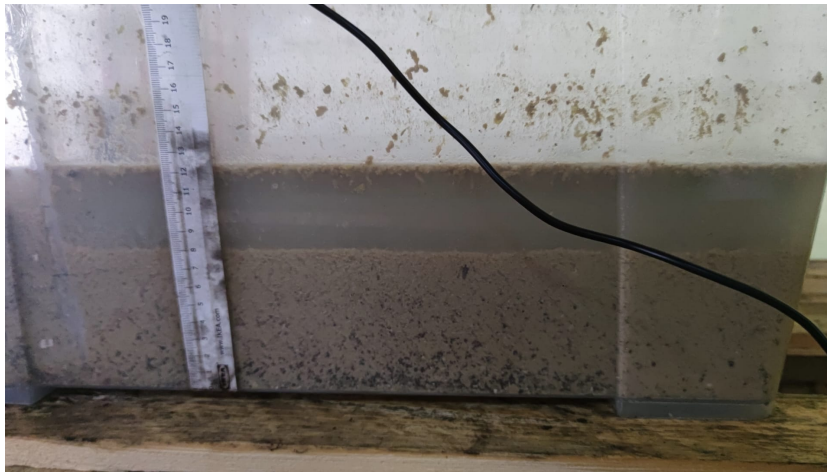


Figura 5.7: Protótipo do Separador de Gordura em Ambiente Real

Para colmatar esta falha é necessário a utilização de outro tipo de sensorização - um sensor de turbidez, que mede a quantidade de partículas suspensas num líquido através de fecho de luz. Este sensor para além de servir para detetar esta zona, também é uma boa solução para detetar o estado do separador de gordura noutros pontos críticos.

5.2 Resultados com Sensor de Turbidez

O sensor de turbidez mede a quantidade de partículas suspensas num dado líquido e quanto maior for o número dessas mesmas partículas, maior será a turbidez medida. Existem vários pontos críticos num separador de gordura, que podem ser monitorizados através de sensores de turbidez, tais como:

- (i) acumulação de restos alimentares no fundo do separador que aumentam com o tempo;
- (ii) zona de saída de líquidos para a canalização. Se for detetada uma quantidade alta de partículas, pode indicar que o separador já não está a funcionar corretamente por conter grandes quantidades de gorduras, óleos ou restos alimentares e que estão a fluir para a canalização.
- (iii) zona de passagem da contenção e da acumulação de gorduras para a zona de saída do separador de gordura.

Para a análise foi utilizado um sensor turbidez *SKU SEN0189* da *DfRobot* (DfRobot, 2017). Quanto menor for a tensão elétrica detetada, maior é a turbidez em **NTUs**. A documentação indica que a temperatura no meio envolvente, afeta os dados recolhidos de

tensão elétrica com um erro de $\pm 0.3V$, e a relação entre a turbidez (NTUs) e a tensão elétrica é calculada através da função matemática:

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

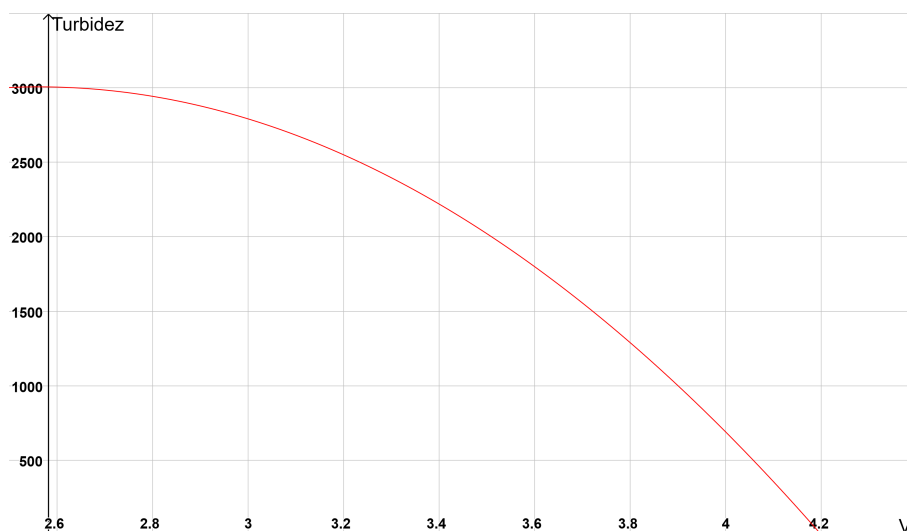


Figura 5.8: Relação entre Turbidez e Tensão Elétrica

Para o estudo da turbidez foram analisados diferentes tipos de meios. Nomeadamente em meios como: o ar, o papel, a água da torneira, o OAU, o FOG e a zona de saída no separador de gordura.

Esta análise teve como intuito verificar o seu comportamento nos diferentes meios referidos anteriormente de forma a aprovar se é ou não uma hipótese de utilização neste caso de estudo de monitorização de separadores de gordura industriais.

Na Figura 5.9 verificamos todos os dados recolhidos nos meios descritos anteriormente. A água da torneira tem menor quantidade de NTUs (maior tensão elétrica) do que meios como FOG e a zona de saída do separador de gordura, mostrando assim ser uma hipótese de utilização neste caso.

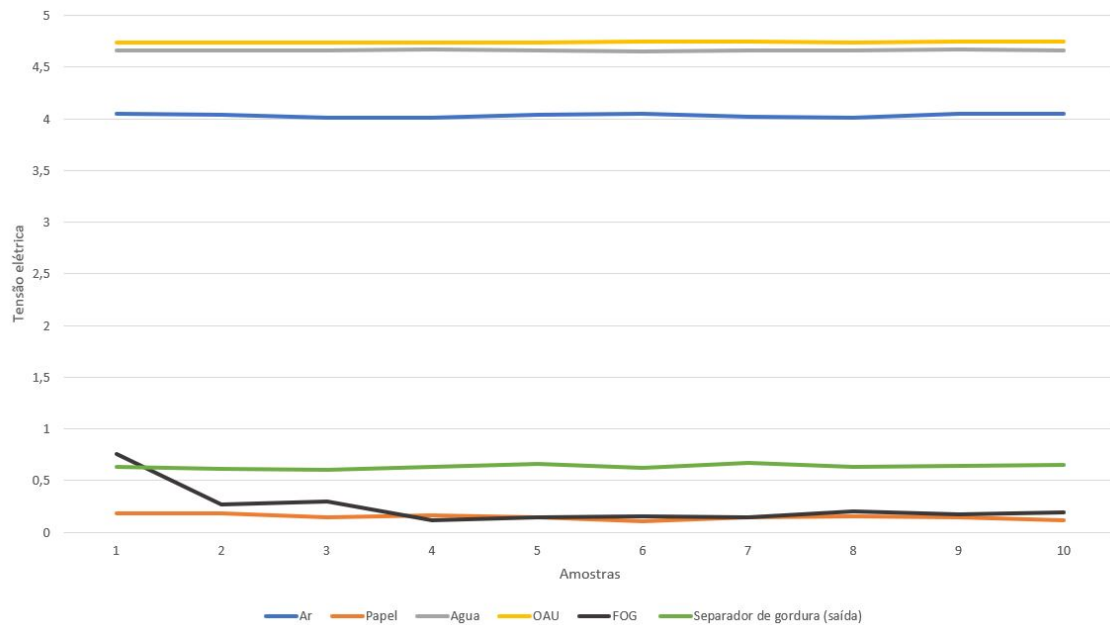


Figura 5.9: Resultados Sensor de Turbidez

5.3 Análise do Consumo Energético do *Edge Device*

Para analisar a viabilidade desta solução, na monitorização de separadores de gordura industriais, para além da sensorização, foi necessário efetuar um estudo do consumo energético. Um dos requisitos principais nestes dispositivos **IoT** é o seu período de autonomia, com uma carga de bateria.

O consumo energético (corrente elétrica) do *Edge Device*, em modo *Deep Sleep* e em *Work Mode*, é apresentado na tabela 5.3. Podemos ver que o consumo de energia em modo *Deep Sleep* é substancialmente inferior ao consumo em modo de trabalho. Neste último é efetuada a leitura de sensores e posterior envio de informação para o *Fog Device*. O dispositivo *Edge* só necessita de efetuar algumas leituras de sensores durante o dia (e.g. 3 ou 4 amostras diárias) e o resto do tempo estará em modo *Deep Sleep*, para consumir a menor quantidade de energia possível.

	Gasto Energético
<i>DeepSleep</i>	75 μ A
<i>Work Mode</i>	96.1 mA

Tabela 5.3: Consumo Energético *Edge Device*

Para este estudo de consumo energético, o dispositivo acoplado nos separadores de gordura, foi programado para se manter em modo *Deep Sleep* por períodos de 1h. O objetivo foi perceber o gasto energético de bateria, em percentagem entre o tempo ativo

e o tempo total de funcionamento desta solução. Para isso foram estudados dois dispositivos instalados em separadores de gordura. Na Figura 5.10 verificamos que ambos os dispositivos tiveram um gasto energético de 1% em 92 horas de utilização.

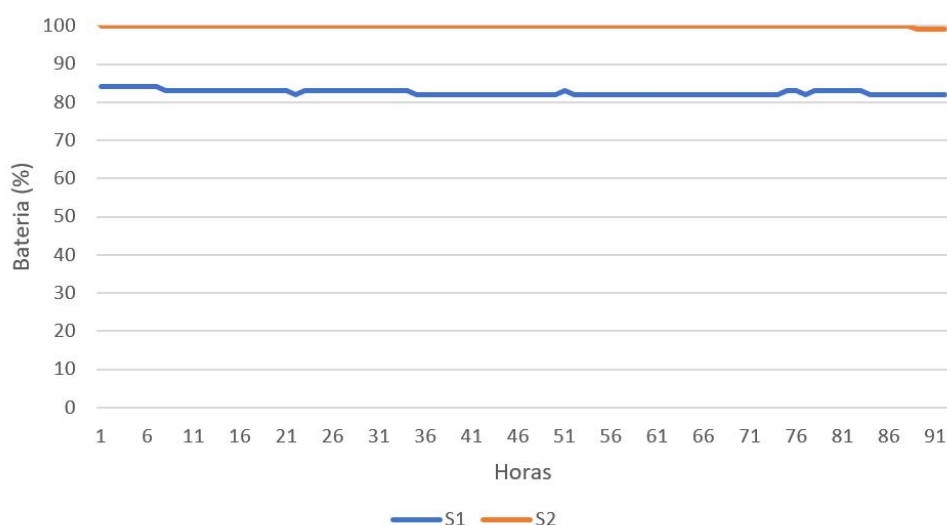


Figura 5.10: Percentagem de Bateria dos Separadores de Gordura s1 e s2

Outra análise deste estudo foi o tempo que cada um dos dois separadores de gordura demora a efetuar todo o trabalho de leitura de sensorização, conexão ao *Fog Device* e envio da informação recolhida.

Num primeiro momento, quando estes dispositivos conectam-se ao *Fog Device* pela primeira vez, o tempo é superior a todas as conexões seguintes. Isto porque, após a primeira ligação o dispositivo guarda o estado e parâmetros da ligação WiFi estabelecida e nas próximas conexões, o dispositivo consegue diminuir esse tempo de conexão.

Na Figura 5.11 são apresentados os dados recolhidos, verificando-se que o tempo conseguido para o dispositivo operar foi na ordem dos 2.9s, em comparação com 5.3s necessário na primeira ligação e operação.

Salientamos ainda, que em modo de operação o dispositivo efetua leituras dos sensores (pinos do sensor de condutividade e do sensor de turbidez), bem como da bateria. São efetuadas 10 leituras em cada um destes pinos e calculada a mediana para reduzir possíveis ruídos nas leituras analógicas recolhidas. Esta técnica aumenta o tempo de operação do *Edge Device*, podendo no entanto ser ajustados o número de leituras e tempo de *delay* entre leituras.

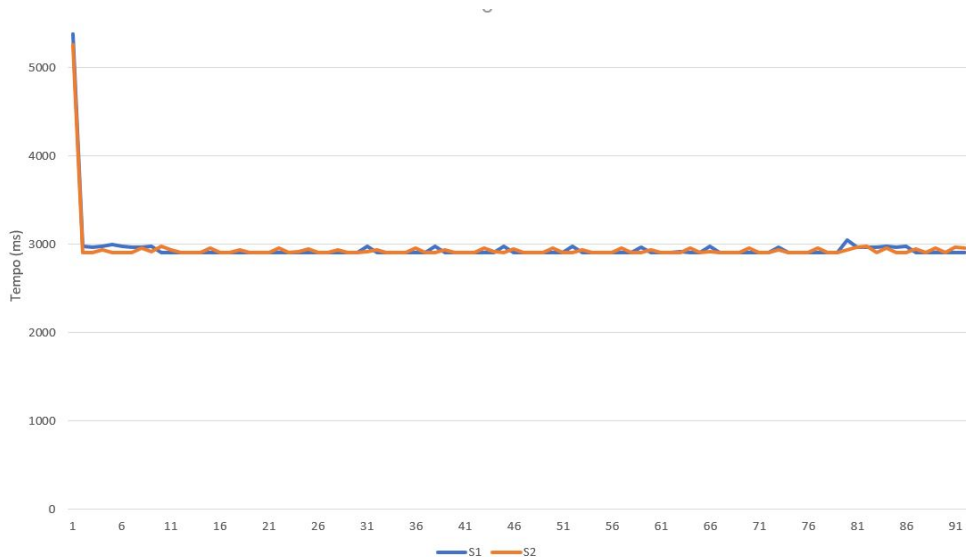


Figura 5.11: Tempo(ms) *Working Mode* dos Separadores de Gordura s1 e s2

5.4 Conclusão

Foram realizados vários testes para verificar a eficiência da solução tecnológica desenvolvida. Numa primeira fase os testes do sensor de condutividade desenvolvido neste trabalho, foram realizados em ambiente de laboratório com água e OAU. Posteriormente, foram conduzidos mais testes em ambiente real, com separadores de gordura contendo FOG. Nestes testes foi possível observar que os sensores de condutividade podem ser utilizados neste tipo de soluções, mas é necessário utilizar concomitantemente outras sensorizações complementares para que a solução possa cobrir todos as hipóteses de misturas encontradas neste tipo de meios. Assim, foi possível incorporar nesta análise, os dados recolhidos através de sensores de turbidez, que permitem detetar FOG e restos alimentares. Este sensor permite analisar a qualidade da água num separador de gordura, tendo-se mostrado um sensor complementar aos sensores de condutividade desenvolvidos e incorporados no *Edge Device*.

A nível da análise do consumo energético e dos tempos de operação e comunicação versus tempos de *sleep*, obtiveram-se também resultados bastante satisfatórios e promissores, no funcionamento do *Edge Device*. Com base nestas análises foi possível estimar e gerir o tempo de autonomia destes dispositivos que foram incorporado na solução IoT de monitorização remota dos separadores de gordura industriais.

Capítulo 6

Conclusão

O óleo alimentar usado e as gorduras provenientes das cozinhas dos restaurantes e dos hotéis, representam um fator significativo na poluição da água. Assim, os separadores de gordura industriais utilizados nestas empresas desempenham um papel importante na diminuição da poluição. Neste trabalho desenhou-se, implementou-se e avaliou-se uma solução **IoT** para monitorizar remotamente a quantidade de água e de resíduos acumuladas nos separadores de gordura. Ou seja, através do sensor de condutividade é medida a quantidade de água, para perceber a quantidade de óleo existente; e o sensor de turbidez mede a quantidade de partículas suspensas no meio líquido.

Desta feita, esta solução permite automatizar o escalonamento atempado dos processos de limpeza e manutenção, evitando assim entupimentos e extravasamentos para os esgotos públicos.

Os separadores de gordura permitem reduzir significativamente a contaminação das águas, bem como melhorar a reciclagem e aproveitamento destas gorduras residuais. A arquitetura de *Fog Computing* desenvolvida recorreu a vários sensores - sensor de condutividade e sensor de turbidez - que foram incorporados em dispositivos *Edge* acoplados aos separadores de gordura industriais. O principal objetivo desta solução tecnológica passou pela deteção remota da quantidade de água e de detritos existentes nos separadores de gordura e, conseqüentemente, alertar para a necessidade de limpeza e de manutenção dos mesmos.

Este tema tem uma grande importância para a Hardlevel, uma vez que é uma área de negócio na qual a empresa pretende investir de modo a torná-la, cada vez mais, economicamente rentável. Assim sendo, para a implementação desta solução tecnológica a Hardlevel forneceu todo o material necessário para o seu desenvolvimento, bem como a aberturas de portas das suas instalações e funcionou como ponte junto dos seus clientes, a fim de realizar os todos os testes necessários. Impôs, também, algumas restrições já enumeradas e detalhadas, nomeadamente a necessidade de utilizar uma tecnologia económica, articulada com uma automatização do processo de monitorização que fosse funcional e economicamente viável, uma vez que os postos de monitorização são em nú-

mero considerável e espalhados por todo o país. A solução permitiria simultaneamente o reaproveitamento do material existente a fim de produzir biodiesel.

Após um estudo do problema decidiu-se pela utilização de uma arquitetura *Fog Computing*, uma vez que é um paradigma distribuído baseado numa camada intermédia capaz de processar e agregar os dados recebidos dos dispositivos IoT. Esta solução permite conectar vários dispositivos locais, diminuindo consideravelmente o *delay* na transmissão dos dados de monitorização, aumentar a segurança na informação processada localmente e permitir que os dispositivos *Edge* realizem uma gestão energética muito mais eficiente, prolongando a sua autonomia com uma única carga de bateria.

Esta arquitetura modular oferece uma diversidade considerável ao nível das tecnologias sem fios que podem ser utilizadas entre as suas várias camadas. Depois de selecionada a arquitetura a utilizar, o foco passou para os sensores a utilizar na monitorização das caixas de gordura. A solução proposta passou pelo desenvolvimento de um sensor de condutividade desenhado especificamente para detetar o nível de água nas caixas de gordura existentes. Adicionalmente, estudaram-se outros tipos de sensores que complementassem a solução. Foi possível selecionar um sensor de turbidez para a deteção de FOG nos separadores de gordura. O sensor de turbidez permite detetar a presença de restos alimentares e detritos, através da identificação de partículas suspensas nos líquidos. Os sensores em conjunto, possibilitam rastrear a qualidade da água, no interior de um separador de gordura, que se vai degradando com o tempo. Para além do baixo custo exigido para a solução, foi possível verificar que permitiam automatizar a monitorização remota dos separadores de gordura.

Foram realizados vários testes com amostras de água e gordura, simulando condições operacionais o mais próximo da realidade. Para a realização dos testes foi desenvolvido um protótipo de separador de gordura industrial automatizado com o *Edge Device*. Os primeiros testes foram efetuados em ambiente de laboratório, recorrendo a uma arquitetura *Fog Computing* e aos sensores selecionados - sensor de condutividade e sensor de turbidez. Inicialmente, foram realizados testes com água e óleo alimentar usado. Posteriormente, utilizou-se água e FOG, provenientes de separadores de gordura de restaurantes, clientes da HardLevel, para tornar os testes mais próximos do ambiente real.

No decorrer dos testes surgiram alguns problemas, nomeadamente com a régua de condutividade em circuito impresso que se deteriorou com a quantidade de testes exaustivos efetuados. Um segundo problema foram as leituras obtidas pelo sensor de condutividade, uma vez que este sensor apresentava resultados satisfatórios em várias situações, mas apresentava alguns problemas nas zonas de emulsão ou com grande presença de restos alimentares e pouca quantidade de óleo e gorduras. Foi possível verificar que esta situação se devia à existência de partículas de água em volta da detritos alimentares. As zonas de emulsão apesar de apresentarem um problema às medições de condutividade, com o passar do tempo vão diminuindo, porque as partículas de água e gordura se vão

separando. Assim, o *Edge Device* poderia recolher vários dados de forma recorrente, de modo a ajustar as leituras ao longo do dia. Para ajudar a ultrapassar os problemas identificados, os dados obtidos pelo sensor de condutividade foram ainda complementados com os dados do sensor de turbidez. Foi possível verificar que este sensor permite rastrear a qualidade da água nos separadores de gordura e também detetar com elevada fiabilidade a presença de partículas suspensas na água.

Ao nível da gestão energética, foram também alcançados resultados muito bons, decorrentes do uso da arquitetura *Fog Computing*. Esta solução reduziu consideravelmente os tempos de comunicação e *delay* entre os dispositivos *Edge* e *Fog*. Permitiu ainda que os *Edge Devices* tivessem ciclos de *sleep* maiores, com vantagens significativas na sua autonomia. Os testes efetuados permitiram identificar um gasto de 1% de bateria em 92h de utilização. Com base nestes dados é possível depreender que a bateria deste dispositivo acoplado no separador de gordura - o *Edge Device*, tem um período de funcionamento, aproximadamente, de um ano com apenas uma carga de bateria e sem qualquer tipo de carregamento, mantendo, portanto, a sua autonomia energética durante este período. Este cenário não seria possível com uma arquitetura puramente *Cloud*.

Como em todos os trabalhos, é possível haver, ainda, espaço para melhorias futuras. Partindo desta solução e dos dados obtidos dos sensores instalados, consideramos ser pertinente estudar a aplicação de técnicas de inteligência artificial para identificar padrões - *machine learning*, através de algoritmos de classificação de duas classes (binários), regressão linear, regressão logística, séries temporais ou *Naïve Bayes*, na utilização dos separadores de gordura. Pensamos num futuro próximo conseguir estudar e treinar vários tipos de classificadores de modo a identificar os mais adequados na previsão dos ciclos de intervenção e manutenção dos separadores de gordura. Mais uma vez o objetivo prende-se com a necessidade de atempadamente evitar entupimentos e extravasamentos nocivos para o ambiente.

A nível de manutenção e de intervenção nos separadores de gordura, através desta solução é possível ajustar os tempos das intervenções junto dos clientes uma vez que anteriormente eram marcadas periodicamente conforme o tipo de cliente e/ou de estabelecimento. Isto é, anteriormente existiam intervenções que ainda não eram necessárias de ocorrer por existir poucas quantidades de óleo e de gorduras retidas nos separadores, e outras que ocorriam tardiamente por estarem a ultrapassar o máximo possível de retenção.

Daí a necessidade premente, por parte da Hardlevel, em encontrar uma solução tecnológica que facilitasse todo este processo. Devido à pandemia do COVID-19 infelizmente os testes em ambiente real não foram concluídos atempadamente, sendo assim, estabelecer uma relação entre os níveis de manutenção e de intervenção e a solução desenvolvida pode ser, também, uma sugestão para trabalhos futuros.

Finalizando, consideramos que a solução tecnológica proposta permitirá monitorizar remotamente e à escala nacional toda a rede de separadores de gordura da Hardlevel.

Desta forma será possível automatizar a recolha e manutenção destes equipamentos de forma mais eficiente e sustentável. Conseguiu-se portanto obter uma solução economicamente viável que permitirá rentabilizar a atividade operacional da HardLevel. Importa também realçar os ganhos ambientais, uma vez que a solução proposta evitará a ocorrência frequente de entupimentos e extravasamentos nos separadores de gordura, para a rede de esgotos.

Referências

- Ackroyd. Fog's place is in the kitchen: Serious problems can result when grease enters the municipal/sanitary system. 2007. [5](#), [6](#)
- Firas Al-Doghman, Zenon Chaczko, Alina Rakhi Ajayan, and Ryszard Klempons. A review on fog computing technology. *2016 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, SMC 2016 - Conference Proceedings*, 2017. doi: 10.1109/SMC.2016.7844455. [11](#), [12](#), [16](#)
- Ala Al-Fuqaha, Mohsen Guizani, Mehdi Mohammadi, Mohammed Aledhari, and Moussa Ayyash. Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 17, 2015. ISSN 1553877X. doi: 10.1109/COMST.2015.2444095. [14](#)
- Arwa Alrawais, Abdulrahman Alhothaily, Chunqiang Hu, and Xiuzhen Cheng. Fog computing for the internet of things: Security and privacy issues. *IEEE Internet Computing*, 21, 2017. ISSN 10897801. doi: 10.1109/MIC.2017.37. [8](#)
- Recep Altın, Selim Çetinkaya, and Hüseyin Serdar Yücesu. The potential of using vegetable oil fuels as fuel for diesel engines. *Energy Conversion and Management*, 42(5): 529–538, 2001. [2](#), [5](#), [6](#)
- Michael Armbrust, Armando Fox, Rean Griffith, Anthony Joseph, Randy Katz, Andy Konwinski, Gunho Lee, David Patterson, Ariel Rabkin, Ion Stoica, and Matei Zaharia. A view of cloud computing. *Commun. ACM*, 53:50–58, 04 2010. doi: 10.1145/1721654.1721672. [8](#)
- K. Ashton. That internet of things thing. *RFID Journal*, 4986, 2009. [7](#)
- Luigi Atzori, Antonio Iera, and Giacomo Morabito. The internet of things: A survey. 54 (15):2787–2805, 2010. ISSN 1389-1286. doi: 10.1016/j.comnet.2010.05.010. URL <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010>. [8](#)
- Izad Behnia, Anand Prakash, and Gregory Williams. Ultrasonic Based Device to Monitor Oil Separation from Oily Water Discharges. *Canadian Journal of Chemical Engineering*, 97(1):115–122, 2019. ISSN 1939019X. doi: 10.1002/cjce.23243. [18](#)

-
- Flavio Bonomi, Rodolfo Milito, Jiang Zhu, and Sateesh Addepalli. Fog computing and its role in the internet of things. *MCC'12 - Proceedings of the 1st ACM Mobile Cloud Computing Workshop*, 2012a. doi: 10.1145/2342509.2342513. 10, 11
- Flavio Bonomi, Rodolfo Milito, Jiang Zhu, and Sateesh Addepalli. Fog computing and its role in the internet of things. In *Proceedings of the First Edition of the MCC Workshop on Mobile Cloud Computing*, MCC '12, page 13–16, New York, NY, USA, 2012b. Association for Computing Machinery. ISBN 9781450315197. doi: 10.1145/2342509.2342513. URL <https://doi.org/10.1145/2342509.2342513>. 8, 10
- Flavio Bonomi, Rodolfo Milito, Preethi Natarajan, and Jiang Zhu. Fog computing: A platform for internet of things and analytics. *Studies in Computational Intelligence*, 546, 2014. ISSN 1860949X. doi: 10.1007/978-3-319-05029-4_7. 11
- Alessio Botta, Walter De Donato, Valerio Persico, and Antonio Pescapé. Integration of cloud computing and internet of things: A survey. *Future Generation Computer Systems*, 56, 2016. ISSN 0167739X. doi: 10.1016/j.future.2015.09.021. 9
- Gustavo Cardoso. *A Sociedade em Rede. Do Conhecimento à Acção Política*. 01 2006. 8
- M. Castells. *A Galáxia Internet: reflexões sobre a Internet, negócios e a sociedade*. Jorge Zahar, 2003. ISBN 9788571107403. URL <https://books.google.pt/books?id=nCKFFmWOnNYC>. 8
- Hyunseok Chang, Adishesu Hari, Sarit Mukherjee, and T. V. Lakshman. Bringing the cloud to the edge. *Proceedings - IEEE INFOCOM*, 2014. ISSN 0743166X. doi: 10.1109/INFCOMW.2014.6849256. 13
- Mung Chiang and Tao Zhang. Fog and iot: An overview of research opportunities. *IEEE Internet of Things Journal*, 3, 2016. ISSN 23274662. doi: 10.1109/JIOT.2016.2584538. 15
- Mung Chiang, Sangtae Ha, I. Chih-Lin, Fulvio Rizzo, and Tao Zhang. Clarifying fog computing and networking: 10 questions and answers. *IEEE Communications Magazine*, 55, 2017. ISSN 01636804. doi: 10.1109/MCOM.2017.7901470. 11
- Pedro Costa, Bruno Gomes, Nilsa Melo, Rafael Rodrigues, Célio Carvalho, Karim Karmali, Salim Karmali, Christophe Soares, José Torres, Pedro Sobral, and Rui Silva Moreira. Fog computing in real time resource limited iot environments. pages 102–112, 06 2020. doi: 10.1007/978-3-030-45691-7_10. 18
- Soumya Kanti Datta, Christian Bonnet, and Jerome Haerri. Fog computing architecture to enable consumer centric internet of things services. *Proceedings of the International*

-
- Symposium on Consumer Electronics, ISCE*, 2015-August, 2015. doi: 10.1109/ISCE.2015.7177778. 14
- D. M. Delatorre Jr, I.; Morita. *Avaliação da eficiência dos critérios de recebimento de efluentes não domésticos em sistemas de coleta e transporte de esgotos sanitários em São Paulo*. 2007. 6
- DfRobot. Turbidity sensor SKU SEN0189. https://wiki.dfrobot.com/Turbidity_sensor_SKU__SEN0189, 2017. [Online; consultado 19-Abril-2020]. 31, 47
- Michele De Donno, Koen Tange, and Nicola Dragoni. Foundations and evolution of modern computing paradigms: Cloud, iot, edge, and fog. *IEEE Access*, 7, 2019. ISSN 21693536. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2947652. 7, 8
- José dos Santos Machado, Edward David Moreno, and Admilson de Ribamar Lima Ribeiro. A survey on fog computing and its research challenges. *International Journal of Grid and Utility Computing*, 11, 2020. ISSN 17418488. doi: 10.1504/IJGUC.2020.108446. 11
- G. Elert. Index of refraction of vegetable oil. In *The Physics Factbook*, 2006. 30
- H. D. Young F. W. Sears, M. W. Zemansky. *Física i*. 1984. 30
- José Faria, André Sousa, Arsénio Reis, Vitor Filipe, and João Barroso. Probe and sensors development for level measurement of fats, oils and grease in grease boxes. *Sensors (Switzerland)*, 16(9), 2016. ISSN 14248220. doi: 10.3390/s16091517. 18
- J. M. M. Freitas. *Sensor de nível por micro-ondas e tecnologia RADAR-FMCW*. PhD thesis, 2013. URL https://repositorio.unifei.edu.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/922/dissertacao_freitas_2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y. 28, 32
- Bruno Gomes, Nilsa Melo, Rafael Rodrigues, Pedro Costa, Célio Carvalho, Karim Karmali, Salim Karmali, Christophe Soares, José Torres, Pedro Sobral, and Rui Silva Moreira. *A Power Efficient IoT Edge Computing Solution for Cooking Oil Recycling*, pages 113–124. 06 2020. ISBN 978-3-030-45690-0. doi: 10.1007/978-3-030-45691-7_11. 18, 37
- V. Gurevich. *Electric relays: Principles and applications*. 2005. 29
- Majid Hajibaba and Saeid Gorgin. A review on modern distributed computing paradigms: Cloud computing, jungle computing and fog computing. *Journal of Computing and Information Technology*, 22, 2014. ISSN 13301136. doi: 10.2498/cit.1002381. 11

-
- Mohammad Hamdaqa and Ladan Tahvildari. *Cloud Computing Uncovered: A Research Landscape*, volume 86. 2012. doi: 10.1016/B978-0-12-396535-6.00002-8. 9
- Pengfei Hu, Sahraoui Dhelim, Huansheng Ning, and Tie Qiu. Survey on fog computing: architecture, key technologies, applications and open issues. *Journal of Network and Computer Applications*, 98, 2017. ISSN 10958592. doi: 10.1016/j.jnca.2017.09.002. 15
- Michaela Iorga, Larry Feldman, Robert Barton, Michael J. Martin, Nedim Goren, and Charif Mahmoudi. Fog computing conceptual model. *NIST Special Publication*, 500-325, 2018. 17
- Katsuharu Iwamoto and Isao Kamata. Liquid-level sensor with optical fibers. *Applied Optics*, 31, 1992. ISSN 0003-6935. doi: 10.1364/ao.31.000051. 29
- Akshay Jain and Priyank Singhal. Fog computing: Driving force behind the emergence of edge computing. *Proceedings of the 5th International Conference on System Modeling and Advancement in Research Trends, SMART 2016*, 2017. doi: 10.1109/SYSMART.2016.7894538. 10
- Irineu Junior and Dione Morita. Avaliação da eficácia dos critérios de recebimento de efluentes não domésticos em sistemas de coleta e transporte de esgotos sanitários em são paulo. 12, 2007. 1
- Jechan Lee, Jong-Min Jung, Chanhyuk Park, Byong-Hun Jeon, Chi-Hwa Wang, Sang-Ryong Lee, and Eilhann E. Kwon. Rapid conversion of fat, oil and grease (fog) into biodiesel without pre-treatment of fog. *Journal of Cleaner Production*, 168:1211 – 1216, 2017. ISSN 0959-6526. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.096>. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617320863>. 2
- Grace Lewis, Sebastián Echeverría, Soumya Simanta, Ben Bradshaw, and James Root. Tactical cloudlets: Moving cloud computing to the edge. *Proceedings - IEEE Military Communications Conference MILCOM*, 2014. doi: 10.1109/MILCOM.2014.238. 13
- Songze Li, Mohammad Ali Maddah-Ali, and A. Salman Avestimehr. Coding for distributed fog computing. *IEEE Communications Magazine*, 55, 2017. ISSN 01636804. doi: 10.1109/MCOM.2017.1600894. 11
- Evandro Preuss Marco Anotni, Gláucio Ricardo Vivian. Implementação de uma nuvem de armazenamento privada usando owncloud e raspberry pi. 2015. 9
- Masotti and Verlicchi. *Depurazione delle acque di piccole comunità*. Hoepli, 2005. 1, 5

-
- Everton Matos, L. Amaral, Ramão Tiago Tiburski, Matheus Crespi Schenfeld, D. Azevedo, and F. Hessel. A sensing-as-a-service context-aware system for internet of things environments. *14th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)*, pages 724–727, 2017. [7](#)
- Peter Mell and Tim Grance. *The NIST definition of cloud computing*. 2011. doi: 10.1016/b978-0-12-804018-8.15003-x. [8](#)
- F. V. Mendes. Modelagem e controle de nível de um tanque de área variável. 2017. [32](#)
- Nelson Mimura Gonzalez, Walter Goya, Rosangela Pereira, Karen Langona, Erico Silva, Tereza Carvalho, Charles Miers, Jan-Erik Mangs, and Azimeh Sefidcon. Fog computing: Data analytics and cloud distributed processing on the network edges. pages 1–9, 10 2016. doi: 10.1109/SCCC.2016.7836028. [8](#)
- Soares C. Torres J.M. Moreira, R.S. and P. Sobral. Combining iot architectures in next generation healthcare computing systems. In A.K. Sangaiah and S.C. Mukhopadhyay, editors, *Intelligent IoT Systems in Personalized Health Care*, chapter 1, pages 1–29. Elsevier Science, Academic Press, Amsterdam, 2020. ISBN 9780128211878. [8](#)
- Arslan Munir, Prasanna Kansakar, and Samee U. Khan. Ifciot: Integrated fog cloud iot: A novel architectural paradigm for the future internet of things. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 6, 2017. ISSN 21622256. doi: 10.1109/MCE.2017.2684981. [15](#)
- Opeyemi Osanaiye. From cloud to fog computing: A review and a conceptual live vm migration framework. *IEEE Access*, 5, 2017. ISSN 21693536. doi: 10.1109/ACCESS.2017.2692960. [10](#), [12](#)
- P. Hédé I. B. M. J. Joubert C. Thornton B. Naughton I. Julian R. Ramos C. Chan V. Young S. J. Tan D. Lynch Patel, Y. Hu. Mobile-edge computing. 2014. [13](#)
- Charith Perera, Arkady Zaslavsky, Peter Christen, and Dimitrios Georgakopoulos. Context aware computing for the internet of things: A survey. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 16, 2014. ISSN 1553877X. doi: 10.1109/SURV.2013.042313.00197. [7](#)
- Shasha Qi, Shoujun Yuan, Wei Wang, Liwen Xiao, Xinmin Zhan, and Zhenhu Hu. Effect of solid-liquid separation on food waste fermentation products as external carbon source for denitrification. *Journal of Cleaner Production*, page 124687, 2020. ISSN 0959-6526. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124687>. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620347314>. [45](#)

-
- Partha Pratim Ray. An introduction to dew computing: Definition, concept and implications. *IEEE Access*, 6, 2017. ISSN 21693536. doi: 10.1109/ACCESS.2017.2775042. 9, 10, 11, 13
- Wilfried Steiner and Stefan Poledna. Fog computing as enabler for the industrial internet of things. *Elektrotechnik und Informationstechnik*, 133, 2016. ISSN 1613-7620. doi: 10.1007/s00502-016-0438-2. 12
- Tan and Wang. Future internet: The internet of things. 5:V5–376–V5–380, Aug 2010. ISSN 2154-7505. doi: 10.1109/ICACTE.2010.5579543. 7
- Ramão Tiago Tiburski, Leonardo Albernaz Amaral, Everton De Matos, and Fabiano Hessel. The importance of a standard security architecture for soa-based iot middleware. *IEEE Communications Magazine*, 53, 2015. ISSN 01636804. doi: 10.1109/MCOM.2015.7355580. 7
- Josep M. Torrents. Low-cost conductivity cells for water measurement purposes. *Conference Record - IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference*, 3, 2004. ISSN 10915281. doi: 10.1109/imtc.2004.1351459. 29
- Nghiep Nam Tran, Marina Tišma, Sandra Budžaki, Edward J. McMurchie, Olivia Maria Morales Gonzalez, Volker Hessel, and Yung Ngothai. Scale-up and economic analysis of biodiesel production from recycled grease trap waste. *Applied Energy*, 229:142 – 150, 2018. ISSN 0306-2619. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.07.106>. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261918311371>. 2
- G. W. Tregay. Optical liquid level sensor using a polytetrafluoroethylene perfluoroalkoxy material. 1991. 30
- M. Weiss and R. Knochel. A sub-millimeter accurate microwave multilevel gauging system for liquids in tanks. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 49 (2):381–384, Feb 2001. ISSN 1557-9670. doi: 10.1109/22.903101. 32
- Zongguo Wen, Shuhan Hu, Djavan De Clercq, M. Bruce Beck, Hua Zhang, Huanan Zhang, Fan Fei, and Jianguo Liu. Design, implementation, and evaluation of an internet of things (iot) network system for restaurant food waste management. *Waste Management*, 73:26 – 38, 2018. ISSN 0956-053X. doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.11.054>. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X17309376>. 18
- A. Wriege-Bechtold, M. Barjenbruch, C. Sieker, A. Peter-Fröhlich, B. Heinzmann, and B. Lengemann. Production of energy by co-fermentation with contents from fat separa-

tors. *Journal of Water and Climate Change*, 1(4):251–257, 02 2011. ISSN 2040-2244. doi: 10.2166/wcc.2010.105. URL <https://doi.org/10.2166/wcc.2010.105>. 45

Shanhe Yi, Cheng Li, and Qun Li. A survey of fog computing. 2015. doi: 10.1145/2757384.2757397. 10

Qi Zhang, Lu Cheng, and Raouf Boutaba. Cloud computing: State-of-the-art and research challenges. *Journal of Internet Services and Applications*, 1, 2010. ISSN 18674828. doi: 10.1007/s13174-010-0007-6. 9

Minqi Zhou, Rong Zhang, Dadan Zeng, and Weining Qian. Services in the cloud computing era: A survey. *2010 4th International Universal Communication Symposium, IUCS 2010 - Proceedings*, 2010. doi: 10.1109/IUCS.2010.5666772. 8

Jiang Zhu, Douglas S. Chan, Mythili Suryanarayana Prabhu, Preethi Natarajan, Hao Hu, and Flavio Bonomi. Improving web sites performance using edge servers in fog computing architecture. *Proceedings - 2013 IEEE 7th International Symposium on Service-Oriented System Engineering, SOSE 2013*, 2013. doi: 10.1109/SOSE.2013.73. 10