

PM

**Smartly Water**  
Rede de águas inteligente

PROJETO DE MESTRADO

**Jorge Duarte Lomelino Calaça**  
MESTRADO EM ENGENHARIA INFORMÁTICA



UNIVERSIDADE da MADEIRA

*A Nossa Universidade*

[www.uma.pt](http://www.uma.pt)

maio | 2019

**Smartly Water**  
Rede de águas inteligente  
PROJETO DE MESTRADO

**Jorge Duarte Lomelino Calaça**  
MESTRADO EM ENGENHARIA INFORMÁTICA

ORIENTAÇÃO  
Karolina Baras

CO-ORIENTAÇÃO  
Leonel Domingos Telo Nóbrega



## **Smartly Water – Rede de águas inteligente**

**Jorge Duarte Lomelino Calaça**

Constituição do júri de provas públicas:

Filipe Magno de Gouveia Quintal, (Professor Auxiliar Convidado da Universidade da Madeira), Presidente

Lina Maria Pestana Leão de Brito, (Professora Auxiliar da Universidade da Madeira), Vogal

Karolina Baras, (Professora Auxiliar da Universidade da Madeira), Vogal

Maio 2019

Funchal – Portugal

# Resumo

A água é um recurso essencial para a nossa sobrevivência, mas é cada vez mais escassa. Estima-se que daqui a 32 anos não existirão reservas suficientes de água para a produção alimentar.

Este projeto tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema que permita consciencializar as pessoas para uma redução do consumo de água. Tendo esse objetivo em vista, desenvolveu-se um sistema que inclui sensores e atuadores dispersos pela rede de águas. Os sensores permitem a recolha de dados do consumo de água, da temperatura e da pressão. No que toca aos atuadores, estes permitem o controlo/corte de água. Toda a informação recolhida é armazenada numa base de dados.

O sistema tem ao seu dispor vários meios para a promoção da consciencialização do utilizador. Em primeiro lugar, possui uma aplicação móvel que permite ao utilizador estar ao corrente dos seus consumos. Em segundo lugar, conta com um website que tem como objetivo ilustrar os consumos do utilizador. Em terceiro lugar, usufrui de um assistente virtual que permite ao utilizador estar ao corrente dos seus consumos, controlar a rede de água por comandos de voz e auxiliá-lo nas tarefas diárias relacionadas com a água. O auxílio nas tarefas diárias permite a promoção de um comportamento responsável no consumo de água. Um exemplo desse auxílio é o ajudar na tarefa da lavagem dos dentes, em que o assistente ao longo da tarefa vai mantendo o utilizador ao corrente do tempo decorrido e controla a rotina de abertura e fecho da torneira.

Neste projeto implementou-se o sistema em 3 casas e um edifício. Estas implementações permitiram avaliar o funcionamento do sistema e a recolha de consumo de diversos utilizadores. Avaliando os dados recolhidos, estes permitiram a deteção de padrões de consumo nas rotinas de tomar duche, lavar os dentes e a recarga do autoclismo.

# Palavras-Chave

IoT

Contadores inteligentes

Assistente virtual Alexa

Rede de águas inteligente

Ionic

# Abstract

Water is an essential resource for our survival, but it is becoming increasingly scarce. It is estimated that in 32 years, there will not be enough water reserves for food production.

The objective of this project is the development of a system to increase people's awareness to water consumption reduction.

For that, a system comprised of sensors and actuators throughout the water network was developed.

The sensors gather information regarding water consumption, temperature and pressure. As for the actuators, these allow the control of water flow. Then, all the gathered information is stored in a database.

The system has at its disposal several means to promote water usage awareness to the user. Firstly, it has a mobile app which allows the user to keep track of the consumptions, as well as to monitor the goal of achieving ideal consumptions. Secondly, it also has a website, which illustrates the consumptions to the user. Finally, it has a virtual assistant, which allows the user to keep track of its consumptions, control the water network with voice activated commands and to aid in the daily chores related with water. This aid allows the promotion of a responsible behaviour with regards to water consumption. An example of this, is the aid in the task of brushing the teeth, wherein the virtual assistant keeps the user up to date on the elapsed time throughout the task and, at the end of it, controls the opening and closing of the tap.

In this project the system was implemented in 3 houses and in one building. These implementations allowed the evaluation of system's operations, as well as the gathering of the consumption data of several users. By analysing the gathered information, it was possible to detect consumption patterns, specific to the routines of showering, brushing the teeth and toilet flushing.

# Keywords

IoT

Smart Meter

Virtual assistant

Smart Water Network

Ionic

# Agradecimentos

Foram muitas as pessoas que, de uma forma ou de outra, contribuíram para a realização deste projeto, não se limitando apenas às que passo a referir.

Começaria por destacar o contributo inequívoco e a disponibilidade incondicional da minha orientadora, Professora Karolina Baras, e do meu co-orientador, Professor Leonel Nóbrega, cujo apoio fez toda a diferença.

A Start Up, com a sua equipa, permitiu-me ver este projeto de diferentes perspetivas, que só o veio enriquecer.

A todas as pessoas que contribuíram para a recolha de dados, que foi uma parte crucial deste trabalho.

À minha namorada, à família e aos amigos, por todo apoio e compreensão nesta caminhada.

A todos, a minha mais profunda e eterna gratidão!

# Índice

<b>1</b>	<b>Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1	Objetivos .....	1
1.2	Estrutura do relatório.....	2
<b>2</b>	<b>Estado da arte .....</b>	<b>3</b>
2.1	Contadores tradicionais .....	3
2.2	Contadores inteligentes .....	4
2.2.1	Dispositivos de medição na entrada da residência .....	4
2.2.2	Dispositivos de medição na saída .....	6
2.2.3	Sistemas distribuídos pela rede .....	7
2.3	Interação.....	8
2.4	Comunicação.....	9
2.4.1	Protocolos de comunicação MQTT e HTTP .....	10
2.5	Trabalhos relacionados .....	11
<b>3</b>	<b>Desenvolvimento .....</b>	<b>13</b>
3.1	Análise dos principais requisitos do sistema .....	13
3.2	Tecnologias utilizadas .....	13
3.2.1	Ionic.....	13
3.2.2	Ngrok.....	14
3.2.3	ESP8266.....	14
3.2.4	Sensores de fluxo e temperatura.....	14
3.2.5	Válvulas.....	14
3.3	Arquitetura do sistema .....	15
3.3.1	Servidor principal .....	16
3.3.2	Load Balancer .....	16
3.3.3	Servidor gestor de dados .....	17
3.3.4	Módulo de atuação e recolha de dados.....	17
3.3.5	Módulo de assistente virtual.....	19
3.3.6	Aplicação .....	23
3.3.7	Website .....	25
3.4	Base de dados .....	27
3.5	Comunicação.....	29
3.6	Arquitetura de referência.....	30
3.6.1	Módulo de atuação e recolha de dados.....	31
3.7	Casos de estudo .....	32
3.7.1	1º Caso de estudo .....	32
3.7.2	2º caso de estudo.....	35
3.7.3	3º caso de estudo.....	37
3.7.4	4º caso de estudo.....	39
<b>4</b>	<b>Testes e resultados .....</b>	<b>43</b>
4.1	Testes de Usabilidade.....	43
4.1.1	Teste de usabilidade da aplicação e web site .....	43
4.1.2	Teste de usabilidade da skill da Alexa .....	47

<b>4.2</b>	<b>Teste de consumo utilizando a Alexa</b> .....	<b>49</b>
<b>4.3</b>	<b>Deteção de anomalias</b> .....	<b>51</b>
4.3.1	Teste da rede sem fugas .....	52
4.3.2	Teste da abertura da torneira .....	53
4.3.3	Teste da abertura de uma torneira com baixo fluxo.....	57
4.3.4	Teste fuga no ligador.....	61
4.3.5	Teste fuga de um prego .....	65
4.3.6	Teste torneira a gotear .....	69
<b>4.4</b>	<b>Análise e deteção de padrões</b> .....	<b>73</b>
4.4.1	1º caso de estudo.....	74
4.4.2	2º caso de estudo.....	81
4.4.3	Resumo da análise dos casos de estudo .....	97
<b>5</b>	<b>Conclusões e Trabalho Futuro</b> .....	<b>99</b>
	<b>Referências</b> .....	<b>101</b>
<b>6</b>	<b>Anexos</b> .....	<b>105</b>
6.1	Anexo A – Requisitos do sistema .....	105
6.2	Anexo B – API Load Balancer e Servidor principal .....	106
6.1	Anexo C – API gestor de dados .....	109
6.1	Anexo D – Protótipos de baixa fidelidade .....	112
6.2	Anexo E – Protótipos de alta fidelidade .....	117
6.1	Anexo F – Diagrama ER.....	119
6.2	Anexo G – Artigo “Latência num sistema de IoT com Assistente Virtual” .....	120
6.1	Anexo H – Questionário de usabilidade da Aplicação Móvel.....	132
6.2	Anexo I – Questionário de usabilidade do Website.....	135
6.1	Anexo J – Questionário da Skill da Alexa .....	137

## Índice de Tabelas

Tabela 1: Comparação entre tecnologias de comunicação.....	10
Tabela 2: Respostas do SUI da aplicação móvel.....	44
Tabela 3: Respostas do SUI do web site.....	46
Tabela 4: Respostas do SUS da Skill Alexa.....	48
Tabela 5: Resultados do teste da pressão da rede sem fuga. ....	53
Tabela 6: Resultados do teste da pressão na abertura de uma torneira e pressão sem fuga. .....	57
Tabela 7: Resultados do teste da pressão na abertura de uma torneira com baixo fluxo e pressão sem fuga. ....	61
Tabela 8: Resultados do teste da fuga no ligador e pressão sem fuga. ....	65
Tabela 9: Resultados do teste da fuga de um prego e pressão sem fuga .....	69
Tabela 10: Resultados do teste da torneira a gotear e pressão sem fuga. ....	73
Tabela 11: Tabela comparativa de consumos na tarefa de tomar duche. ....	97

Tabela 12: Tabela comparativa de consumos na tarefa de lavar os dentes. ....	98
Tabela 13: Tabela dos resultados obtidos no teste de consumo utilizando a Alexa. ....	98
Tabela 14: Tabela comparativa de consumos na tarefa de enchimento do autoclismo. ....	98

## Índice de Figuras

Figura 1: Contador residencial. ....	3
Figura 2: FLUID [8]. ....	5
Figura 3: Contador WAVIoT Smart Water Meter AQUA 1 [9]. ....	5
Figura 4: Contador MULTICAL 21 / flowIQ 21xx [10]. ....	5
Figura 5: Sensus ally [12]. ....	6
Figura 6: MY SHOWER [13]. ....	7
Figura 7: Torneira SJ-F200N digital faucet [14]. ....	7
Figura 8: Torneira inteligente BNSTAR[15]. ....	8
Figura 9: Arquitetura da “Alexa” [20]. ....	9
Figura 10: Esquema ilustrativo do funcionamento do MQTT [37]. ....	11
Figura 11: Esquema da comunicação HTTP. ....	11
Figura 12: (A) Sensor YF-S403. (B) YF-B1 da Seeed Studio. (C) YF-B2 da Seeed Studio. ....	14
Figura 13: Válvula solenoidal [53]. ....	15
Figura 14: Válvula motorizada de bola [55]. ....	15
Figura 15: Arquitetura do sistema. ....	16
Figura 16: Esquema do formato do ficheiros do cartão sd. ....	18
Figura 17: Arquitetura do Módulo de atuação e recolha de dados. ....	19
Figura 18: Comandos suportados por a skill da Alexa. ....	20
Figura 19: Fluxo de execução do comando do cálculo do consumo. ....	21
Figura 20: Fluxo de execução do comando preparar um duche. ....	22
Figura 21: (A) Protótipos de baixa fidelidade da aplicação móvel. (B) Protótipos de alta fidelidade da aplicação móvel. ....	23
Figura 22: (A) vista de login da aplicação móvel. (B) vista de registo da aplicação móvel. ....	23
Figura 23: Vista Home da aplicação. ....	24
Figura 24: (A) Vista Goals da aplicação móvel. (B) Vista de Notifications da aplicação móvel. (C) Vista de Settings da aplicação móvel. ....	24
Figura 25: Protótipo de baixa fidelidade da vista principal do website ....	25
Figura 26: (A) Vista Login do website. (B) Vista registo do website ....	26
Figura 27: (A) Vista web do Home. (B) Vista web dos Home, funcionalidade de organizar... ..	26
Figura 28: Vista web dos Home, funcionalidade de alteração do tamanho dos elementos do Home. ....	27
Figura 29: (A) Vista Goals do website. (B) Vista Notifications do Website. ....	27
Figura 30: Modelo de dados do sistema. ....	28
Figura 31: Esquema da comunicação do sistema. ....	29
Figura 32: Esquema de rede da arquitetura de referência. ....	31
Figura 33: Circuito base do módulo de atuação e recolha de dados. ....	32
Figura 34: Esquema do 1º caso de estudo. ....	33
Figura 35: Primeiro caso de estudo, caixa de distribuição. ....	33
Figura 36: Circuito da caixa do 1º caso de estudo. ....	34
Figura 37: Implementação do circuito do 1º caso de estudo. ....	34

Figura 38: Esquema de rede do 1º caso de estudo.....	35
Figura 39: Esquema do 2º caso de estudo. ....	35
Figura 40: Segunda implementação, implementação após o tanque.....	36
Figura 41: Circuito do segundo caso de estudo. ....	36
Figura 42: Esquema de rede da segunda implementação. ....	37
Figura 43: Esquema da instalação no terceiro caso de estudo. ....	37
Figura 44: Implementação do terceiro caso de estudo.....	38
Figura 45: Circuito do terceiro caso de estudo. ....	38
Figura 46: Implementação do circuito do terceiro caso de estudo.....	39
Figura 47: Esquema de rede da terceira implementação. ....	39
Figura 48: Esquema da quarta implementação. ....	40
Figura 49: Implementação do 4º caso de estudo.....	40
Figura 50: Esquema do circuito do quarto caso de estudo. ....	41
Figura 51: Implementação do circuito do quarto caso de estudo. ....	41
Figura 52: Esquema de rede da quarta implementação. ....	42
Figura 53: Faixa etária dos utilizadores do teste de usabilidade da aplicação móvel.....	44
<i>Figura 54: (A) Anomalia dos consumos. (B) Anomalia detetada no menu. (C) Anomalia detetada nos goals.</i> .....	45
Figura 55: Faixa etária dos utilizadores do teste de usabilidade do web site.....	45
Figura 56: Falta de feedback no menu.....	46
Figura 57: Anomalia no botão "Done/Edit". ....	47
Figura 58: Faixa etária dos utilizadores do teste de usabilidade da Skill da Alexa.....	47
Figura 59: Gráfico dos assistentes utilizados pelos utilizadores. ....	48
Figura 60: (A) 1ª e (B) 2ª série do 1º utilizador no teste de consumo utilizando a Alexa. ....	50
Figura 61: 3ª série do 1º utilizador no teste de consumo utilizando a Alexa.....	50
Figura 62: (A) 1ª e (B) 2ª série do 2º utilizador no teste de consumo utilizando a Alexa. ....	50
Figura 63: 3ª série do 2º utilizador no teste de consumo utilizando a Alexa.....	51
Figura 64: Estrutura da rede de águas no teste de anomalias.....	51
Figura 65: Circuito de teste de fugas.....	52
Figura 66: Gráfico do teste da pressão da rede sem fuga.....	53
Figura 67: Exemplo do teste de abertura de torneira.....	53
Figura 68: 1ª série – Gráfico do teste da pressão e fluxo na abertura de uma torneira. ....	54
Figura 69: 1ª Série - Gráfico da pressão da abertura de uma torneira e pressão sem fuga... 55	55
Figura 70: 2ª série – Gráfico do teste da pressão e fluxo na abertura de uma torneira. ....	55
Figura 71: 2ª Série - Gráfico da pressão da abertura de uma torneira e pressão sem fuga... 56	56
Figura 72: 3ª série – Gráfico do teste da pressão e fluxo na abertura de uma torneira. ....	56
Figura 73: 3ª Série - Gráfico da pressão da abertura de uma torneira e pressão sem fuga... 57	57
Figura 74: Exemplo da torneira com baixo fluxo.....	58
Figura 75: 1ª série do teste da pressão e fluxo da rede com a torneira com baixa pressão.. 58	58
Figura 76: 1ª Série - Gráfico do teste da pressão da abertura de uma torneira com baixo fluxo e pressão sem fuga. ....	59
Figura 77: 2ª Série - Gráfico do teste da pressão da abertura de uma torneira com baixo fluxo. ....	59
Figura 78: 2ª Série - Gráfico do teste da pressão da abertura de uma torneira com baixo fluxo e pressão sem fuga. ....	60
Figura 79: 3ª Série - Gráfico do teste da pressão da abertura de uma torneira com baixo fluxo. ....	60

Figura 80:3ª Série - Gráfico do teste da pressão da abertura de uma torneira com baixo fluxo e pressão sem fuga. ....	61
Figura 81: Exemplo do teste da fuga no ligador.....	62
Figura 82: 1ª Série - Gráfico do teste da pressão na fuga no ligador.....	62
Figura 83: 1ª Série - Gráfico do teste da pressão na fuga no ligador e sem fuga.....	63
Figura 84: 2ª Série - Gráfico do teste da pressão na fuga no ligador.....	63
Figura 85: 2ª Série - Gráfico do teste da pressão na fuga no ligador e sem fuga.....	64
Figura 86: 3ª Série - Gráfico do teste da pressão na fuga no ligador.....	64
Figura 87: 3ª Série - Gráfico do teste da pressão na fuga no ligador e sem fuga.....	65
Figura 88: Exemplo da fuga de um prego. ....	66
Figura 89: 1ª Série - Gráfico do teste da pressão na fuga de um prego.....	66
Figura 90: 1ª Série - Gráfico do teste da pressão na fuga de um prego e sem fuga. ....	67
Figura 91: 2ª Série - Gráfico do teste da pressão na fuga de um prego.....	67
Figura 92: 3ª Série - Gráfico do teste da pressão na fuga de um prego e sem fuga. ....	68
Figura 93: 3ª Série - Gráfico do teste da pressão na fuga de um prego.....	68
Figura 94: 3ª Série - Gráfico do teste da pressão na fuga de um prego e sem fuga. ....	69
Figura 95: Exemplo do teste da torneira a gotejar.....	70
Figura 96: 1ª Série - Gráfico do teste da pressão na torneira a gotejar.....	70
Figura 97: 1ª Série - Gráfico do teste da pressão na torneira a gotejar e sem fuga. ....	71
Figura 98: 2ª Série - Gráfico do teste da pressão na torneira a gotejar.....	71
Figura 99: 2ª Série - Gráfico do teste da pressão na torneira a gotejar e sem fuga. ....	72
Figura 100: 3ª Série - Gráfico do teste da pressão na torneira a gotejar.....	72
Figura 101: 3ª Série - Gráfico do teste da pressão na torneira a gotejar e sem fuga. ....	73
Figura 102: Gráfico do consumo por dia do 1º caso de estudo. ....	74
Figura 103: Gráfico do fluxo de água do utilizador U1 no 1º duche. ....	75
Figura 104: Gráfico do fluxo de água do utilizador U1 no 2º duche. ....	75
Figura 105: Gráfico do fluxo de água do utilizador U1 no 3º duche. ....	76
Figura 106: Gráfico do fluxo de água do utilizador U1 na 1ª lavagem dos dentes. ....	76
Figura 107: Gráfico do fluxo de água do utilizador U1 na 2ª lavagem dos dentes. ....	77
Figura 108: Gráfico do fluxo de água do utilizador U1 na 3ª lavagem dos dentes. ....	77
Figura 109: Gráfico do fluxo de água do utilizador U2 no 1º duche. ....	78
Figura 110: Gráfico do fluxo de água do utilizador U2 no 2º duche. ....	78
Figura 111: Gráfico do fluxo de água do utilizador U2 no 3º duche. ....	79
Figura 112: Gráfico do fluxo de água do utilizador U2 na 1ª lavagem dos dentes. ....	79
Figura 113: Gráfico do fluxo de água do utilizador U2 na 2ª lavagem dos dentes. ....	80
Figura 114: Gráfico do fluxo de água do utilizador U2 na 3ª lavagem dos dentes. ....	80
Figura 115: (A) 1ª e (B) 2ª série da tarefa de puxar a água da sanita com a descarga grande. ....	81
Figura 116: 3ª série da tarefa de puxar a água da sanita com a descarga grande.....	81
Figura 117: Gráfico do consumo por dia do 2º caso de estudo. ....	82
Figura 118: Gráfico do fluxo de água do utilizador U3 no 1º duche. ....	83
Figura 119: Gráfico do fluxo de água do utilizador U3 no 2º duche. ....	83
Figura 120: Gráfico do fluxo de água do utilizador U3 no 3º duche. ....	84
Figura 121: Gráfico do fluxo de água do utilizador U3 na 1ª lavagem dos dentes. ....	84
Figura 122: Gráfico do fluxo de água do utilizador U3 na 2ª lavagem dos dentes. ....	85
Figura 123: Gráfico do fluxo de água do 1º utilizador na 3ª lavagem dos dentes. ....	85
Figura 124: Gráfico do fluxo de água do utilizador U4 no 1º duche. ....	86

Figura 125: Gráfico do fluxo de água do utilizador U4 no 2º duche. ....	87
Figura 126: Gráfico do fluxo de água do utilizador U4 no 3º duche. ....	87
Figura 127: Gráfico do fluxo de água do utilizador U4 na 1º lavagem dos dentes. ....	88
Figura 128: Gráfico do fluxo de água do utilizador U4 na 2º lavagem dos dentes. ....	88
Figura 129: Gráfico do fluxo de água do utilizador U4 na 3º lavagem dos dentes. ....	89
Figura 130: Gráfico do fluxo de água do utilizador U5 no 1º duche. ....	89
Figura 131: Gráfico do fluxo de água do 3º utilizador no 2º duche. ....	90
Figura 132: Gráfico do fluxo de água do utilizador U5 no 3º duche. ....	90
Figura 133: Gráfico do fluxo de água do utilizador U5 na 1º lavagem dos dentes. ....	91
Figura 134: Gráfico do fluxo de água do utilizador U5 na 2º lavagem dos dentes. ....	91
Figura 135: Gráfico do fluxo de água do utilizador U5 na 3º lavagem dos dentes. ....	92
Figura 136: Gráfico do consumo por dia do 3º caso de estudo. ....	92
Figura 137: Detecção de padrões de consume. ....	93
Figura 138: 1º Padrão de duche detetado. ....	93
Figura 139: 2º padrão detetado. ....	93
Figura 140: 3º Padrão de duche detetado. ....	94
Figura 141: 4º Padrão de duche detetado. ....	95
Figura 142: (A) 5º padrão de consumo. (B) 6º padrão de consumo.....	95
Figura 143: Gráfico do consumo por dia do 4º caso de estudo. ....	96
Figura 144: Padrão de consumo do 4ª caso de estudo. ....	96
Figura 145: Padrão de consumo do 4ª caso de estudo com maior detalhe.....	97
Figura 146: Protótipos de baixa fidelidade da vista login e signup da aplicação móvel .....	112
Figura 147: Protótipos de baixa fidelidade da vista Home e Goals da aplicação móvel .....	113
Figura 148: Protótipos de baixa fidelidade da vista Notifications e Settings da aplicação móvel .....	113
Figura 149: Protótipo de baixa fidelidade da vista de Login do website.....	114
Figura 150: Protótipo de baixa fidelidade da vista de Signup do website.....	114
Figura 151: Protótipo de baixa fidelidade da vista Home do website.....	115
Figura 152: Protótipo de baixa fidelidade da vista Goals do website .....	115
Figura 153: Protótipo de baixa fidelidade da vista Notifications do website.....	116
Figura 154: Protótipo de baixa fidelidade da vista Settings do website .....	116
Figura 155: Protótipo de alta fidelidade da vista Login e Signup da aplicação móvel .....	117
Figura 156: Protótipo de alta fidelidade da vista Home e Goals da aplicação móvel .....	118
Figura 157: Protótipo de alta fidelidade da vista Notifications e Settings do aplicação móvel .....	118
Figura 158: Diagrama ER .....	119

# Acrónimos

BD – Base de datos

BLE – Bluetooth Low Energy

IoT - Internet of Things

IP - Internet Protocol

IVA - Intelligent Virtual Assistants

SUS - System Usability Scale

HTTP - HyperText Transfer Protocol

MQTT - Message Queuing Telemetry Transport)

SD - Secure Digital

API - Application programming interface

JSON - JavaScript Object Notation

OTA - Over The Air

ER - Entity–relationship

# 1 Introdução

A água é um recurso essencial para a nossa sobrevivência, mas está a escassear. Estima-se que em 2050 não irão existir reservas hídricas suficientes para a produção alimentar [1].

As alterações climáticas e todos os seus efeitos nefastos reforçam a necessidade de procurar contrariar esta tendência, até porque a água é um bem imprescindível à nossa sobrevivência. A sua escassez tem vindo a agravar-se, não só devido à má gestão dos recursos como ao gasto exagerado por parte dos consumidores [2].

Por outro lado, estima-se também que o número de dispositivos conectados à Internet atingirá os 50 mil milhões até 2020 [3]. Estes dispositivos deixarão de ser unicamente computadores, smartphones e tablets, passando a ser objetos do nosso quotidiano que nos permitem comunicar e interagir através da internet.

A Internet das Coisas está a transformar o nosso dia-a-dia: as casas, trabalhos e cidades. Atualmente, dada a expansão, temos dispositivos IoT como fechaduras inteligentes, luzes inteligentes, semáforos inteligentes, entre outros.

Os sistemas de IoT no campo das redes de água domésticas são relativamente escassos comparativamente aos de eletricidade. Existem alguns sistemas que permitem o controlo de água, mas são dispendiosos e de difícil aquisição. A maioria dos dispositivos do mercado de sistema de IoT em redes de água estão orientados unicamente para cidades inteligentes ou para provedores de água e não para o consumidor comum. No campo das cidades inteligentes, estes sistemas permitem conhecer os consumos de grandes infraestruturas e, em alguns casos, detetar fugas. No campo dos sistemas orientados para os provedores de água, estes limitam-se a controlar o consumo total das habitações e, de forma remota, a enviar ao provedor um resumo do consumo. O envio remoto dos consumos permite uma redução de custos, visto que deixa de ser necessária a deslocação de um técnico para a sua verificação.

Dada esta lacuna no mercado e a tendência preocupante das reservas hídricas, este projeto visa o desenvolvimento de um sistema IoT que permita consciencializar os utilizadores para uma redução do consumo de água, não só ao tomarem conhecimento dos gastos, como ao promover hábitos de utilização moderada com vista à poupança, facilitado pela automação da rede residencial.

O desenvolvimento do sistema deverá passar pela adição de sensores para a recolha de consumos e de atuadores que permitam o controlo do fluxo da água.

## 1.1 Objetivos

Este projeto tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema que promova a consciencialização dos utilizadores para uma redução do consumo de água.

O sistema deverá albergar mecanismos de recolha de informação e atuação da rede de águas. Os utilizadores deverão dispor de ferramentas de visualização dos seus consumos e atividades. O sistema precisará de ser escalável e aplicável em diferentes localizações. Deverão existir mecanismos de segurança de forma a assegurar a integridade dos dados.

Carecerá de uma avaliação dos padrões de consumo dos utilizadores na execução de tarefas. O sistema deverá possuir diversos meios de interação, possivelmente uma assistente virtual.

## **1.2 Estrutura do relatório**

Este relatório é constituído por seis capítulos.

No primeiro capítulo, Introdução, é feita a contextualização da razão da escolha do tema, assim como os objetivos pretendidos.

No segundo capítulo, Estado da Arte, é feita uma análise das tecnologias disponíveis no mercado e das respetivas funcionalidades, assim como das interações, com especial enfoque na assistente virtual Alexa. Depois é feita uma comparação entre algumas tecnologias de comunicação. É apresentado também um estudo de trabalhos relacionados com o âmbito do projeto. Por fim, são abordadas algumas das tecnologias utilizadas neste projeto.

No terceiro capítulo, Desenvolvimento, foi elaborada uma descrição detalhada de todo o decorrer do projeto e a justificação das escolhas tomadas.

No quarto capítulo, Testes, são descritos os testes de usabilidade e de anomalias efetuados.

No quinto capítulo, Resultados, são analisados todos os resultados obtidos nos testes e são estudados os consumos para a deteção de padrões.

No sexto capítulo, Conclusões e Trabalho Futuro, são expostas as conclusões finais e dadas indicações de trabalho a desenvolver no futuro.

## 2 Estado da arte

Este capítulo tem como objetivo abordar as diversas tecnologias usadas nas redes de águas existentes no mercado. O mercado de medidores de consumo de água encontra-se dividido em duas áreas: os contadores tradicionais e os contadores inteligentes. Cada área alberga uma panóplia de dispositivos, sendo necessário analisá-los para apurar as principais características de cada produto. Neste capítulo será descrita cada área e alguns dos seus produtos disponíveis no mercado à data da escrita.

Serão abordadas diversas tecnologias utilizadas na comunicação de contadores inteligentes e os tipos de interação com este tipo de sistemas.

Por fim serão estudados os trabalhos relacionados âmbito deste projeto.

### 2.1 Contadores tradicionais

Um contador de água tradicional é um dispositivo que permite a medição contínua do volume da água que passa por ele [4]. O consumo poderá ser consultado unicamente através do mostrador do contador. Existem dois tipos de contadores: contadores residenciais e contadores industriais.

Os contadores residenciais são os típicos contadores que temos na nossa residência, que poderão ser mecânicos ou de velocidade. Na figura 1 é possível verificar um exemplo de um contador residencial.

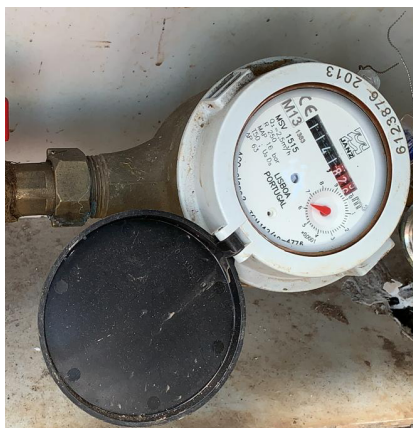


Figura 1: Contador residencial.

No que toca a contadores mecânicos ou “volumétricos”, estes são dispositivos que utilizam uma câmara com um êmbolo circular oscilante ou êmbolo rotativo embutido. O cálculo do volume de água é efetuado através do movimento do êmbolo provocado pela passagem da água. Estes dispositivos têm uma grande exatidão [4].

Os contadores de velocidade, ou “turbina”, tal como o nome indica, são contadores que medem a velocidade da água que percorre uma secção móvel. Através da velocidade, estes contadores obtêm o volume de água que os atravessa.

Já no campo dos contadores industriais, estes são contadores que permitem a contagem de grandes volumes de água. Neste tipo de utilização, são frequentemente

utilizados os contadores eletromagnéticos ou de ultrassons [5]. Os contadores eletromagnéticos seguem a lei de indução de Faraday, isto é, a utilização de uma bobina que gera um campo eletromagnético e elétrodos que obtêm a tensão. A tensão é proporcional à velocidade da água e, dessa forma, é possível obter o volume de água que atravessa o contador [6]. Já os contadores de ultrassons utilizam ondas sonoras que permitem determinar a velocidade do líquido. Através de um transmissor emitem ondas sonoras e captam o reflexo das mesmas no tubo, obtendo desse modo a velocidade e, por conseguinte, o volume de água.

## 2.2 Contadores inteligentes

Os contadores inteligentes, também denominados por *Smart Meters*, são dispositivos que permitem medir o consumo de água, eletricidade ou gás. Estes dispositivos permitem uma leitura contínua dos consumos e o envio ou consulta de forma remota, deixando assim de ser necessário ir ao contador verificar o consumo, como acontece com os contadores tradicionais [7]. Dependendo da solução, o *Smart Meter* pode conseguir detetar fugas, consumos por compartimento ou consumos por equipamento.

Existe uma grande variedade de *Smart Meters*. Estes podem seguir abordagens distintas, tais como efetuar a medição à entrada da residência, na saída de água ou ao longo da rede de água.

### 2.2.1 Dispositivos de medição na entrada da residência

Os dispositivos que efetuam a medição na entrada da residência, são dispositivos instalados após o contador de água tradicional ou instalados no lugar do contador tradicional. Estes sistemas permitem inúmeras funcionalidades, entre as quais a medição de consumos e de deteção de fugas. Nesta categoria podemos incluir produtos como o FLUID e o WAVIoT Smart Water Meter AQUA 1, MULTICAL 21 / flowIQ 21xx e Sensus ally. Estes são dispositivos com características necessárias para o âmbito do projeto. A seleção destes dispositivos foi feita com o intuito de diversificar as abordagens de monitorização e comunicação utilizadas nestes dispositivos.

De acordo com o fabricante, FLUID [8] é um contador de ultrassons inteligente que pode ser instalado por qualquer utilizador. Este contador dispõe das funcionalidades de deteção de fugas, monitorização de consumos por compartimento e equipamento. Este sistema necessita unicamente que se instale uma unidade após o contador. O FLUID dispõe de uma aplicação móvel e um site que permite a visualização dos consumos. Na Figura 2 encontra-se o contador FLUID.



Figura 2: FLUID [8].

**WAVIoT Smart Water Meter AQUA 1** [9] é um contador inteligente que permite a medição dos consumos de água e envio dessa informação para a *cloud*. O sistema inclui uma API que permite o desenvolvimento de funcionalidades por terceiros. O AQUA 1 utiliza o protocolo aberto NB-Fi (Narrowband Fidelity) para as comunicações. Esta solução é mais indicada para empresas de fornecimento de água do que para uma utilização doméstica. De acordo com o fabricante, a duração da bateria é de 10 anos. Na Figura 3 é possível verificar o contador WAVIoT Smart Water Meter AQUA 1.



Figura 3: Contador WAVIoT Smart Water Meter AQUA 1 [9].

**MULTICAL 21 / flowIQ 21xx** [10] é um contador inteligente de ultrassom concebido com uma duração de bateria superior a 16 anos. Este suporta a comunicação através dos protocolos Wireless M-Bus, Wired M-Bus e Sigfox. O contador inclui um sistema de alarmes que permitem alertar em caso de fuga, fluxo contrário e falta de fluxo. Este fornece dados de consumos, volume máximo, volume mínimo, temperatura da água e temperatura do ambiente. Os dados são transmitidos a cada 16 a 90 segundos numa leitura remota através do M-Bus para uma Gateway e ao fim de cada dia através do Sigfox. Na Figura 4 encontra-se representado o contador MULTICAL 21 / flowIQ 21xx.



Figura 4: Contador MULTICAL 21 / flowIQ 21xx [10].

**Sensus ally** [11] é um produto que permite controlar os consumos domésticos de água e cortar o seu fluxo. O contador alberga uma válvula de corte que permite o corte de água e a

redução de fluxo. O *sensus ally* dispõe de sensores de pressão e temperatura. Este permite uma monitorização remota e um sistema de alertas. Os alertas poderão ser de caudal alto, temperatura, pressão baixa, fugas, fluxo contrário e vandalismo. O contador encontra-se representado na Figura 5, este utiliza a rede FlexNet [12] que permite uma comunicação bidirecional.



Figura 5: *Sensus ally* [12].

### 2.2.2 Dispositivos de medição na saída

Em relação aos dispositivos de medição na saída, estes poderão ser somente de medição ou torneira inteligente. As torneiras inteligentes são produtos que dispõem das funções das torneiras tradicionais e ainda capacidades como a medição de consumos, controlo de caudal, distinção entre utilizadores, gestão da temperatura da água, entre outros. No mercado existem algumas soluções de torneiras e chuveiros inteligentes, entre elas o MY SHOWER e SJ-F200N digital faucet.

MY SHOWER [13] é um chuveiro inteligente que permite aquecer a água, monitorizar consumos e manusear o sistema através de um comando remoto. Este chuveiro tem a possibilidade de funcionar em conjunto com um sistema de aquecimento a gás, caldeiras ou solar. O sistema, quando combinado com outros sistemas de aquecimento, evita o desperdício de água provocado pelo deslocamento da água quente até à saída. O desperdício é evitado com o aquecimento automático da água fria que se desloca no tubo até à chegada da água quente. Este chuveiro dispõe da funcionalidade de armazenamento das preferências de cada utilizador e os seus consumos. O comando remoto permite ligar/desligar, regular o fluxo e a temperatura. O MY SHOWER tem ainda a funcionalidade de gestão de temperatura e *timer* de banho. A gestão de temperatura permite que o sistema ajuste a temperatura da água automaticamente, isto é, sempre que existe uma redução ou aumento da temperatura provocada pela alteração de fluxo, o sistema ajusta a temperatura automaticamente.



Figura 6: MY SHOWER [13].

**SJ-F200N digital faucet [14]** é uma torneira inteligente que permite o seu controlo mediante um ecrã. No ecrã é possível visualizar a temperatura da água quente e fria. A torneira permite ainda regular o fluxo e a temperatura através do ecrã tátil.



Figura 7: Torneira SJ-F200N digital faucet [14].

### 2.2.3 Sistemas distribuídos pela rede

Sistemas distribuídos pela rede são sistemas que ao longo da rede de água introduzem sensores e atuadores. Estes sistemas permitem uma maior pormenorização dos consumos e uma maior precisão das medições.

BNSTAR [15] é um sistema que combina a medição de consumos ao longo da rede e torneiras inteligentes. O sistema possui sensores ao longo da rede e atuadores nas saídas de água. Os sensores ao longo da rede vão medindo o fluxo e a temperatura da água, enquanto que os atuadores permitem regular o fluxo e a temperatura da água. Este sistema foi desenvolvido para ser instalado em edifícios. O BNSTAR tem como funcionalidades a gestão dos consumos, gestão da temperatura da água, controlo de caudal, distinção entre utilizadores, deteção de fugas e programação de tarefas, entre outras. Os consumos poderão ser analisados por compartimento ou equipamento. O controlo de caudal permite que o sistema ajude na poupança de água através da regulação do caudal da água e a poupar energia, isto devido à sua ligação aos equipamentos de bombeamento de água que providenciam o bombeamento necessário em tempo real. A distinção entre utilizadores

concede a possibilidade de o sistema associar determinados consumos a determinado utilizador. Para uma distinção entre utilizadores é necessário que o utilizador selecione o seu perfil ao iniciar uma interação com sistema. O sistema permite a programação de funcionalidades que poderão ser a definição da temperatura ou do fluxo de água. Este produto dispõe de uma funcionalidade de previsão de consumos que permite prever o fluxo necessário a dada hora e assim poupar energia no bombeamento. O sistema utiliza um ecrã tátil, como se vê na Figura 8, que permite a regulação da temperatura e do fluxo da água e possibilita a visualização da temperatura e do fluxo em tempo real. O BNSTAR dispõe de um site que proporciona a visualização dos consumos e a gestão da rede.



Figura 8: Torneira inteligente BNSTAR[15].

## 2.3 Interação

Existem diversos tipos de interação com sistemas de IoT, entre os quais estão as aplicações móveis, os websites e os assistentes virtuais. Nesta secção será abordado em detalhe o assistente virtual Alexa.

A “Alexa” é um assistente virtual inteligente desenvolvido pela Amazon. A interação com o assistente pode ser realizada mediante um dispositivo chamado Amazon Echo ou através da aplicação móvel disponível para os sistemas operativos Android e iOS. Nos últimos tempos têm surgido novos dispositivos com o suporte para a “Alexa”, nomeadamente *sound bars* e termostatos inteligentes [16][17]. O assistente suporta o desenvolvimento de *skills* ou habilidades por terceiros. As *skills* suportam a comunicação através do protocolo HTTPS e AWS (Amazon Web Services) Lambda ARN (Amazon Resource Name). O desenvolvimento de uma habilidade pode ser mediante o AWS Lambda ou API REST JSON. Na Figura 9 é possível verificar um esquema do funcionamento da “Alexa” e as suas abordagens de desenvolvimento. O AWS Lambda é um serviço alojado na cloud da Amazon baseado em Node.js e que suporta como linguagem de programação Node.js (JavaScript), Java (Java 8 compatible), Python, C# (.NET Core) ou Go. Já o desenvolvimento da API REST terá de ser através um *web service* e hospedado na *cloud*. Este serviço terá de suportar pedidos e respostas HTTP [18][19].

## Alexa Custom Skill - Reference Architecture



Figura 9: Arquitetura da "Alexa" [20].

## 2.4 Comunicação

No que diz respeito à comunicação entre dispositivos IoT, existe uma panóplia de alternativas. Nesta secção serão abordadas as tecnologias Bluetooth, ZigBee, Wi-Fi, Z-Wave.

O Bluetooth é uma tecnologia wireless de troca de dados de baixo alcance. O lançamento da sua versão 4.0 ou (BLE) Bluetooth Low Energy, permitiu uma redução de consumo energético o que impulsionou uma adoção na IoT [21]. O Bluetooth utiliza a frequência de 2,4GHz com uma taxa de transmissão de 1Mbps, suporta comunicações de muitos para muitos [22]. O Bluetooth utiliza a norma IEEE 802.15.1 e suporta comunicações encriptadas AES-128 [23][24]. Esta tecnologia está presente na maioria dos telemóveis do mercado, sendo uma alternativa ao ZigBee, Z-Wave.

O Zigbee é uma tecnologia de comunicação sem fio entre dispositivos eletrónicos com baixa potência de operação [25]. Esta tecnologia é comparável ao Bluetooth e ao Wi-Fi mas diferencia-se destes últimos pelo facto de ter um menor consumo num alcance reduzido (aproximadamente 100 metros). Uma malha (mesh) de unidades Zigbee pode ser implementada numa extensão industrial ou até doméstica, sem qualquer necessidade de ligações elétricas entre as mesmas [22]. O Zigbee utiliza uma frequência de 2.4GHz com uma taxa de transmissão de 250 kbps, 40 kbps ou 20 kbps [22]. Este protocolo utiliza a norma IEEE 802.15.4 [26]. As comunicações deste protocolo encontram-se encriptadas com uma chave simétrica de 128 bits [27] [28].

O Wi-Fi é uma rede local sem fio que usa ondas de rádio para conectar computadores e outros dispositivos à Internet. O Wi-Fi é definido pelo o standard IEEE 802.11.x nas versões b, g, n, e ac [29].

O Z-Wave é uma tecnologia desenvolvida principalmente para a automação residencial que se encontra em inúmeros dispositivos no mercado. Esta é uma tecnologia de comunicação sem fios que utiliza um meio simples, exato, de pequeno consumo, de ondas rádio que naturalmente conseguem atravessar pisos e paredes [30]. Porém, esta tecnologia não tem largura da banda suficiente para ser possível a transmissão de grande volume de dados suportando apenas as taxas de transmissão de 9.6/40/100kbps. Esta tecnologia utiliza na comunicação o protocolo de encriptação AES128 e IPV6. O Z-Wave adota as normas IEEE 802.11, 802.15, e 802.16 [31].

Analisando a Tabela 1 baseada nos estudos [32][33][34] é possível verificar que, em termos de autonomia de uma bateria, o ZigBee e Z-Wave têm o melhor desempenho. Em termos de largura de banda, o Wi-Fi é o que tem maior desempenho comparativamente ao BLE, ZigBee e Z-Wave. Em termos de disponibilidade o Wi-Fi e o Bluetooth são as tecnologias mais disponíveis em edifícios e habitações.

Tabela 1: Comparação entre tecnologias de comunicação.

	Bluetooth BLE	ZigBee	Wi-Fi	Z-Wave
<b>Normas</b>	IEEE 802.15.1	IEEE 802.15.4	802.11a / b / g / n / ac	IEEE 802.11, 802.15, 802.16
<b>Alcance</b>	50-150m	10- 100m	100m	100m
<b>Frequência</b>	2.4GHz (ISM)	2.4GHz	2.4GHz e 5GHz	900MHz (ISM)
<b>Taxa de Transmissão</b>	1Mbps (Smart/BLE)	250 kbp, 40 kbps, 20 kbps	Max 1Gbps	9.6/40/100kbps
<b>Autonomia com bateria</b>	Dias	Anos	Horas	Anos

### 2.4.1 Protocolos de comunicação MQTT e HTTP

Um protocolo de comunicação é uma convenção que permite que duas ou mais entidades de um sistema de comunicações transmitam informações. O protocolo define a sintaxe das regras, semântica e sincronização de comunicação e possíveis métodos de recuperação de erros. Nesta secção serão abordados os protocolos MQTT e HTTP.

O MQTT é um protocolo TCP/IP de transporte de mensagens desenvolvido pela IBM, baseado no padrão arquitetural produtor/consumidor. O seu desenvolvimento foi pensado para dispositivos remotos com largura de banda de rede limitada. Este suporta 3 níveis de Quality of Service (QoS). O nível 0 é utilizado para sistemas que necessitem de enviar as mensagens uma única vez, sem a garantia da sua entrega. A implementação do nível 1 é indicada para sistemas em que a duplicação de mensagens não tenha importância, mas garantia de entrega sim. Já o nível 2 permite a garantia de receção de uma única mensagem. O protocolo é constituído por consumidores, produtores e um broker [35][36]. Na Figura 10 é possível verificar um esquema do funcionamento do MQTT, neste esquema é possível verificar que os consumidores subscrevem o tópico “temperature”, e os produtores publicam no mesmo. Quando os produtores publicam no tópico “temperature” o broker enviar a informação da temperatura para os consumidores que o subscreveram o tópico.

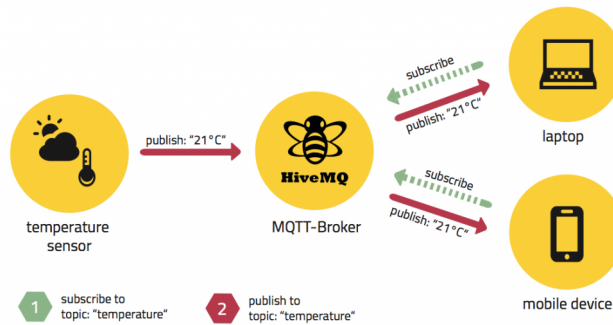


Figura 10: Esquema ilustrativo do funcionamento do MQTT [37].

O Hyper Text Transfer Protocol (HTTP) é um protocolo de transferência de dados muito conhecido e utilizado. Este protocolo utiliza o padrão arquitetural cliente/servidor, em que os clientes e servidores utilizam o método request-response para comunicarem entre si, isto é, os clientes enviam pedidos HTTP e servidores respondem com respostas HTTP [38]. Na Figura 11 possível verificar um esquema do seu funcionamento. Os clientes geralmente efetuam pedidos do tipo GET ou POST.

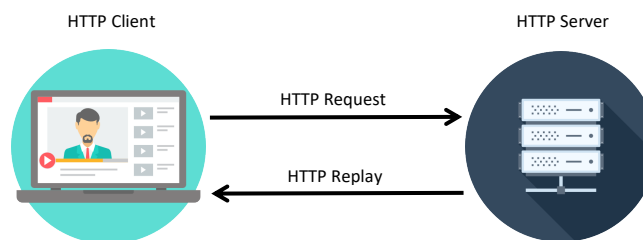


Figura 11: Esquema da comunicação HTTP.

## 2.5 Trabalhos relacionados

Nesta secção serão abordados os trabalhos relacionados com este projeto. A seleção destes trabalhos foi baseada nas semelhanças na missão dos projetos e nas tecnologias adotadas.

Diversos estudos foram analisados, cada um com características diferentes, mas o foco das características analisadas foram a deteção de padrões de consumo, deteção de fugas, alimentação elétrica, sensores utilizados e mudanças de comportamento.

No que toca aos estudos de deteção de padrões de consumos, verificou-se diversas abordagens. No estudo [39] foi utilizada uma rede neuronal e técnicas de previsão probabilística para a deteção de padrões de consumo, tais como tomar um duche, a máquina de lavar roupa, descarga da sanita entre outros. Um outro estudo [40] utilizou o algoritmo Bayesian Clustering para a distinção de padrões de consumo e sensores de movimento para deteção da localização do consumo. Este estudo permitiu a deteção do tipo de consumo com uma precisão de 86%, mas por outro lado foi encontrada a limitação da impossibilidade de distinguir padrões idênticos com ocorrência na mesma localização. Isto é, se caso uma casa de banho tenha mais do que um lavatório, neste estudo é impossível saber qual dos lavatórios está a consumir.

Quanto aos padrões de fuga, no estudo [39] foi utilizada uma rede neuronal e técnicas de previsão probabilística para a deteção de fugas. Essa rede permitia ainda a deteção de ineficiência de equipamentos que consomem água tal como uma máquina de lavar roupa.

No campo da alimentação dos sistemas, a maioria são alimentados através da rede elétrica. Em alguns casos são utilizadas outras abordagens, tal como uma bobina geradora para a produção de eletricidade através do fluxo de água [41]. Noutro estudo [42] foram utilizadas baterias carregadas a energia solar para alimentar os sensores e transmissores.

No que toca aos sensores utilizados existem várias abordagens e leituras. Um exemplo seria através de uma sonda no contador tradicional, tal como descrito nos estudos [43] e [44]. Em alguns estudos [45][46] verificou-se a adoção de contadores inteligentes, ou seja, contadores que permitem a leitura e envio remoto. É de salientar que no estudo [46] foram ainda utilizadas válvulas senoidais para o corte de água. Uma outra abordagem poderá ser a utilização de sensores de movimento e medidores de fluxo. Esta abordagem poderá ser encontrada no estudo [40], em que foram instalados sensores de fluxo na tubagem de forma a calcular o consumo de água, e sensores de movimento para detetar a localização do consumo. Uma outra alternativa é a utilização de um sensor de pressão [47]. Neste estudo, utilizando um sensor de pressão, foi possível calcular o consumo de água por equipamento ou utilização, isto é, um único sensor de pressão permitiu saber se é uma torneira ou uma máquina de lavar roupa que está a consumir. Neste estudo foram também detetados eventos compostos mas a sua separação ficou agendada para trabalho futuro. Um outro estudo [48] utilizou microfones na rede de forma a detetar atividades na rede, isto é, detetar que eventos estão a consumir água. O trabalho demonstrou a deteção de descargas da sanita, máquinas de lavar loiça e duches, entre outros.

No campo de mudanças de comportamento, no trabalho [49], que tinha o intuito de prever o consumo de água numa cidade, concluiu-se que ao dar acesso aos dados de consumo da casa aos utilizadores, houve uma redução de consumo de 6,6%. O trabalho verificou ainda que um dos dados mais consultados pelos utilizadores foi o consumo por hora. Um outro trabalho [50], com o objetivo de reduzir o consumo de água, adotou uma espécie de jogo. Este jogo permitia que as pessoas que mais reduzissem o seu consumo, ganhassem uma dada pontuação no “jogo”. Esta informação era partilhada entre utilizadores formando uma espécie de rede social dos consumos, em que os membros poderiam consultar os consumos e comunicar entre si através de um chat. No estudo verificou-se uma boa adesão e foi possível reduzir os consumos em cerca de 6,6%. O estudo [51] utilizou um dispositivo de medição do consumo na saída do chuveiro. O dispositivo possui um ecrã que mostra o consumo de água em tempo real. Utilizando esse dispositivo para consciencializar as pessoas, foi possível reduzir o consumo em 27% por duche.

## 3 Desenvolvimento

Neste capítulo serão analisados os principais requisitos do sistema. Serão descritas as tecnologias utilizadas para o desenvolvimento do sistema, abordadas as decisões efetuadas no desenvolvimento do sistema, a sua arquitetura e as suas componentes. Por fim serão abordadas as diversas implementações do sistema nos casos de estudo.

### 3.1 Análise dos principais requisitos do sistema

Em qualquer projeto de desenvolvimento de software é necessário definir os requisitos do sistema. No Anexo A – Requisitos do sistema é possível verificar a lista completa dos requisitos do sistema. Nesta secção serão unicamente abordados os requisitos principais, estes são:

1. Permitir o controlo do consumo de uma casa.  
O sistema terá de dispor da possibilidade de recolha de todo o consumo de água de uma casa, bem como todas as alterações sofridas na rede.
2. Armazenar a informação localmente como também numa base de dados.  
A informação recolhida do estado da rede terá de ser armazenada localmente, e para o efeito poderá ser utilizado um cartão SD.
3. Controlo da temperatura da água.  
Permitir a regulação do fluxo de água quente e fria de forma a ajustar a temperatura da saída de água.
4. Corte de água remoto.  
Permitir o corte de água de forma remota.
5. Interação por voz.  
Possibilidade de o utilizador interagir através da voz com o sistema. A interação poderá ser o pedido de abertura de uma torneira, uma consulta dos consumos, a execução de uma tarefa, entre outros.

### 3.2 Tecnologias utilizadas

#### 3.2.1 Ionic

A Ionic é uma Framework que permite o desenvolvimento de aplicações Web e aplicações híbridas através de um único código fonte. O desenvolvimento nesta Framework permite a conversão de uma aplicação híbrida para o sistema operacional iOS, Android e Windows Phone. A Framework utiliza a linguagem de programação Angular JS e HTML.

### 3.2.2 Ngrok

O Ngrok é uma ferramenta que permite a criação de um *tunnel* da rede local para a Internet. Esta ferramenta permite colocar online aplicações ou servidores instanciados numa rede local e, dessa forma, é possível efetuar testes sem a necessidade de estar todas as componentes na mesma rede. Um exemplo desta funcionalidade, é a utilização do tunnel para o acesso a uma API num servidor local a partir da Internet.

### 3.2.3 ESP8266

O esp8266 é um chip que contém uma unidade de microcontrolador Tensilica L106 de 32 bits (MCU) e uma unidade Wi-Fi. Este tem 11 portas GPIO e uma porta analógica. O chip pode ser programado como um Arduino e a sua funcionalidade Wi-Fi permite a criação de páginas web e servidores. A sua utilização na IoT tornou-se comum, existem diversas placas de prototipagem que utilizam o ESP8266 entre as quais estão NodeMCU DevKit e o WeMos D1.

### 3.2.4 Sensores de fluxo e temperatura

Existe uma panóplia de sensores de fluxo e de temperatura. Neste trabalho foram adotados os sensores YF-S403[52], YF-B2 da Seeed Studio e os YF-B1 Seeed Studio devido à sua versatilidade e baixo custo. Estes sensores utilizam um rotor que gira com a passagem da água e calculam o fluxo da água com base na velocidade do rotor. Estes sensores medem consumos de 1L/min até 25L/min com uma pressão até 1,75Mpa. No caso do sensor YF-S403 foi utilizada uma versão com um sensor de temperatura incutido. O sensor YF-S403 tem um diâmetro de  $\frac{3}{4}$ , como pode ser encontrado na Figura 12 (A). Os sensores YF-B2 e YF-B1 utilizam o mesmo mecanismo do YF-S403, mas a única diferença face ao YF-S403 é o facto de não incluírem um sensor de temperatura. Relativamente ao diâmetro, o sensor YF-B2 é igual ao YF-S403 mas no caso do YF-B1 o seu diâmetro é de  $\frac{1}{2}$ . Estes sensores podem ser encontrados na Figura 12 (A) e (C).



(A)



(B)



(C)

Figura 12: (A) Sensor YF-S403. (B) YF-B1 da Seeed Studio. (C) YF-B2 da Seeed Studio.

### 3.2.5 Válvulas

No campo de válvulas existem dois tipos principais, as válvulas solenoides e elétricas de bola. As válvulas solenoides são válvulas que utilizam um pistão para fechar o fluxo de água. Esse pistão utiliza uma mola no seu topo de forma a manter o corte do fluxo, como é

possível verificar na Figura 13. A abertura da válvula é controlada por uma bobine, representada pelo número 5 na Figura 13, quando acionada a corrente na bobine o pistão é erguido, por sua vez quando não existe corrente o pistão é acionado pela pressão da mola. Este tipo de válvula obriga a um gasto de energia para manter a torneira aberta [53].

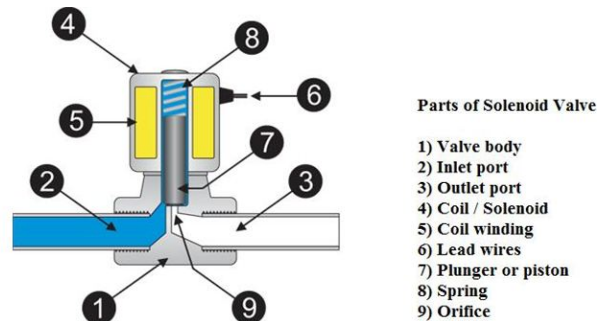


Figura 13: Válvula solenoidal [53].

No caso da válvula elétricas de bola, é utilizado um atuador para comandar um mecanismo que regula o fluxo de água, como é possível verificar na Figura 14. Este tipo de válvula é composto por uma espécie de bola/esfera com um orifício no centro. Quando o orifício fica para o lado contrário do fluxo a válvula fica fechada, quando está no mesmo sentido permite a passagem da água pelo orifício, ou seja, válvula fica aberta. O mecanismo de bola deste tipo de válvula é controlado através da rotação, permitindo fechar ou abrir o fluxo de água [54].



Figura 14: Válvula motorizada de bola [55].

Este tipo de válvulas, ao contrário da valvular solenoide, consomem unicamente energia aquando uma alteração de estado, ou seja, a mudança de aberto para fechado ou vice-versa. Numa rede de águas as válvulas encontram-se maioritariamente abertas e, devido a esse fator, neste projeto optou-se pela adoção de válvulas motorizadas de bola CWX-15N [56] de forma a promover uma redução de consumo energético.

### 3.3 Arquitetura do sistema

Com vista a um sistema flexível e escalável, desenvolveu-se uma arquitetura que permitisse adicionar facilmente novas componentes. A arquitetura encontra-se representada na Figura 15. Esta é constituída por um **servidor principal**, **load balancer**, **servidor gestor de dados**, **módulo de atuação e recolha de dados**, **sensores**, **atuadores**, **módulo de assistente virtual**, **aplicação** e um **web site**.

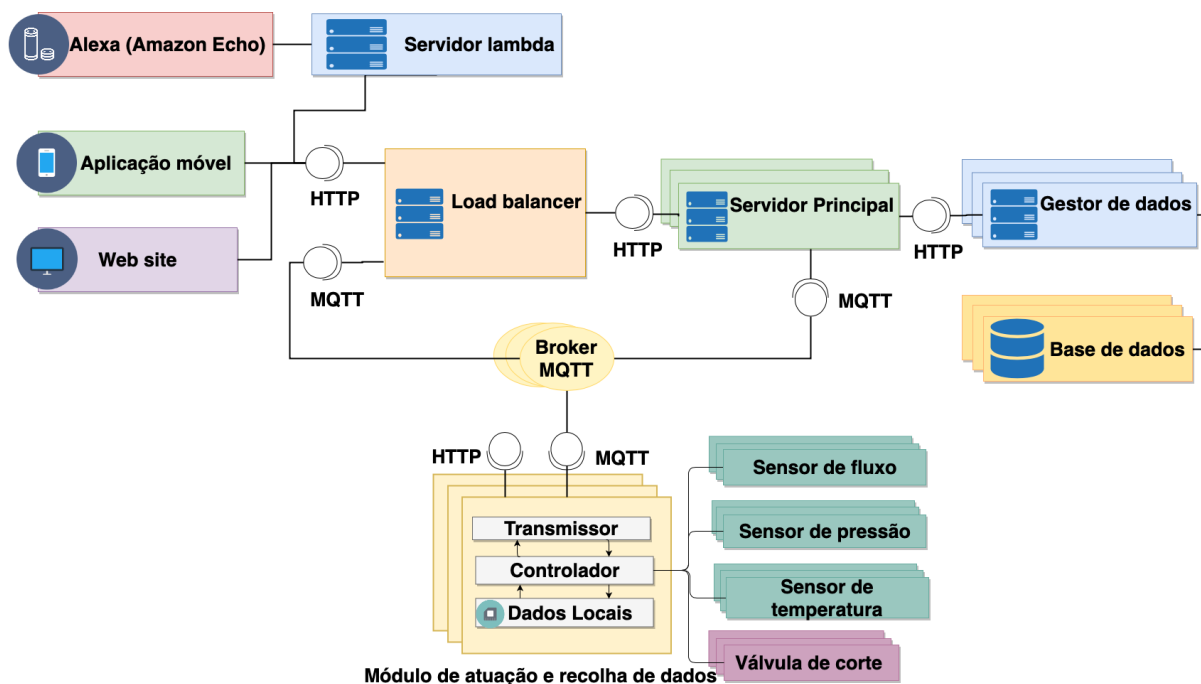


Figura 15: Arquitetura do sistema.

### 3.3.1 Servidor principal

O servidor principal é a entidade responsável pela receção dos pedidos do Load Balancer e pelo seu tratamento. Este servidor está encarregue de efetuar os cálculos do Sistema e por validar as autenticações. No caso de necessitar de informação este recorre ao gestor de dados. O servidor principal efetua o tratamento do pedido provindo do Load Balancer e opera nas dadas alterações. Por exemplo, quando este recebe um pedido de preparação do duche, este terá de tratar o pedido e enviá-lo para os dispositivos responsáveis pelos atuadores do duche. Este servidor utiliza a API do Anexo B – API Load Balancer e Servidor principal, que permite a receção do pedido e sua resposta. O servidor suporta também respostas MQTT para a comunicação com o módulo de atuação e recolha de dados. Esta componente foi desenvolvida utilizando a linguagem de programação Python.

### 3.3.2 Load Balancer

De modo a permitir a escalabilidade do sistema, o Load Balancer recebe todos os pedidos do sistema e distribui a carga de trabalho pelos servidores principais disponíveis (load balancing). A escolha do servidor que vai atender a chamada é feita com base no número de processos que cada instância do servidor principal está a executar, isto é, quando o Load Balancer recebe um pedido este encaminha-o para o servidor com menos pedidos em espera. Cada vez que uma instância do servidor principal recebe um pedido é incrementado uma unidade ao número de pedidos em espera, assim como quando uma chamada é atendida é decrementado uma unidade. Ao utilizar esta política de filas, o Load Balancer mantém-se ao corrente do número de processos em espera em cada instância do servidor principal. No caso

de existir a necessidade de uma instância do servidor principal cessar ou reiniciar a sua atividade, o Load Balancer transmite a informação para o da instância e deixa de encaminhar pedidos para a mesma, sendo reiniciada ou encerrada assim que sejam atendidos todos os pedidos em espera.

O servidor suporta dois protocolos de comunicação, o HTTP e o MQTT. Os pedidos HTTP foram implementados através de uma API REST. A API foi desenvolvida utilizando a plataforma de criação de APIs, Swagger 2.0, que suporta pedidos do tipo GET, POST e DELETE, esta API pode ser encontrada no Anexo B – API Load Balancer e Servidor principal.

No que diz respeito ao protocolo MQTT, o Load Balancer contém subscritores para os tópicos “/01/insert/observation” e “/01/insert/action”. Estes tópicos são utilizados para enviar leituras dos sensores e ações efetuadas.

Esta componente foi desenvolvida utilizando a linguagem de programação Python.

### **3.3.3 Servidor gestor de dados**

O servidor gestor de dados foi desenvolvido em Python e é responsável pelos acessos à BD e encarrega-se da escrita e da leitura da mesma. Os pedidos deste servidor advêm do Servidor principal. São utilizados pedidos HTTP para a comunicação entre o Servidor principal e o servidor gestor de dados.

### **3.3.4 Módulo de atuação e recolha de dados**

O módulo de atuação e recolha de dados cria a ligação entre os sensores, atuadores e o servidor principal. Este módulo foi desenvolvido utilizando os microcontroladores *Wemos d1 mini* e *Node MCU* na linguagem de programação C++ através da plataforma Arduino. Estes microcontroladores albergam um chip ESP8266 como referido na secção 3.2.3. O microcontrolador conecta-se através de cabos aos sensores e atuadores. Esta ligação permite a recolha dos dados provenientes dos sensores e atuação dos atuadores. Foram utilizados sensores de fluxo, de temperatura e de pressão da água como referido na 3.2.4. No caso dos atuadores utilizou-se uma válvula elétrica de bola, esta poderá ser vista na secção 3.2.5.

Este módulo é responsável pelos cálculos necessários para a conversão das leituras dos sensores para informação consumível, isto é, no caso das leituras do sensor de fluxo, estas são traduzidas para consumo em cada instante, velocidade e consumo total. O módulo utiliza um sensor de temperatura que permite calcular a temperatura da água em cada instante. Foram utilizados sensores de pressão de forma a detetar as alterações de pressão da rede e assim detetar eventos ou fugas. O controlo dos atuadores permite que seja possível a regulação do fluxo da água.

O microcontrolador utilizado tem suporte a ligações Wi-Fi, o que permitiu a criação de uma API REST para interação local com o módulo. Esta API está disponível tanto por HTTP e como por MQTT, permite saber o estado do equipamento, alterar a rede Wi-Fi a que está conectado, alterar o estado dos atuadores, alterar a ligação MQTT e reiniciar. A API utiliza um modelo de *basic authentication* de modo a validar a permissão para dada ação. É de salientar que os pedidos de atuação foram implementados de forma assíncrona utilizando um timer para agendar a tarefa, dessa forma a componente de que efetuou o pedido não necessita de aguardar a sua execução. Cada microcontrolador utiliza um NodeID único que permite ao servidor saber quem está a fazer pedidos ou a quem enviar pedidos. Cada sensor possui um ID único que permite ao sistema identificar onde armazenar a informação proveniente de

cada sensor. A ligação entre os servidores e o microcontrolador realizou-se utilizando o protocolo MQTT. Os microcontroladores subscrevem o tópic “smartly/node/{NodeID}”, o que permite aos servidores enviarem informação a cada dispositivo.

Os dados recolhidos pelos sensores são enviados para o Load Balancer através da publicação no tópic “/01/insert/observation” utilizando um documento JSON com os dados NodeID, sensorID, value, unit e date. Quando o microcontrolador deteta consumo de água este envia, em tempo real, o consumo em cada instante, a velocidade da água e a temperatura da água para o servidor principal. No fim de cada ciclo de consumo (por exemplo, o tempo entre abrir e fechar uma torneira), o módulo envia o consumo total de cada interação para Load Balancer.

No caso de existir um pedido de atuação, o microcontrolador executa-o e, seguidamente, envia para o Load Balancer um ficheiro JSON com os dados, NodeID, actuatorID, value, unit e date através da publicação no tópic “/01/insert/action”.

Esta componente envia ao Load Balancer o seu estado através da publicação no tópic “/01/insert/status”.

De modo a assegurar que não haja perda de dados, utilizou-se um módulo de cartão SD que permitisse armazenar toda a informação que é enviada para o servidor principal. Esta informação é armazenada em ficheiros no cartão SD, sendo criado um novo ficheiro a cada hora. O nome do ficheiro utiliza o formato hora (primeiro dois dígitos), dia (terceiro e quarto dígito), mês (quinto e sexto dígito) e ano (sétimo e oitavo dígito). Na Figura 16 é possível verificar um exemplo de um nome de ficheiro. Cada conjunto de dados é armazenado no respetivo ficheiro que corresponde à hora de criação.

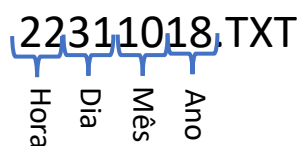


Figura 16: Esquema do formato do ficheiros do cartão sd.

Desenvolveu-se um mecanismo de proteção contra falhas de comunicação que permite que, em caso de falha no envio de informação para o servidor, a informação seja armazenada num ficheiro do cartão SD. Assim que a ligação é reposta, a informação presente no ficheiro é enviada para o servidor e eliminada do ficheiro. Este mecanismo assegura que mesmo em caso de falha não sejam perdidos dados.

Utilizou-se um ficheiro de configuração que permitisse guardar as credenciais da rede, as credenciais do MQTT, o NodeID, os ID’s dos sensores e os ID’s dos atuadores. Este ficheiro é armazenado no cartão SD e, sempre que o microcontrolador iniciar ou reiniciar, este lê o ficheiro e aplica suas configurações. No caso de existir uma alteração de configuração via API REST, é atualizada a informação no cartão SD.

Foi desenvolvida uma componente de update via OTA para possibilitar a atualização via Wi-Fi do microcontrolador.

Desenvolveu-se um módulo de gestão da data e hora, que é responsável por manter a data atualizada utilizando o servidor da Cloud para sincronizar a data do microcontrolador com a do servidor.

## Sensores

De modo a efetuar medições do consumo, temperatura e pressão da rede de águas, utilizou-se sensores conectados ao microcontrolador. Estes sensores são instalados na rede de águas.

## Atuadores

Os atuadores são dispositivos que permitem a regulação do fluxo de água e, dessa forma, possibilitam a abertura ou o corte de água e o ajustamento da temperatura na saída.

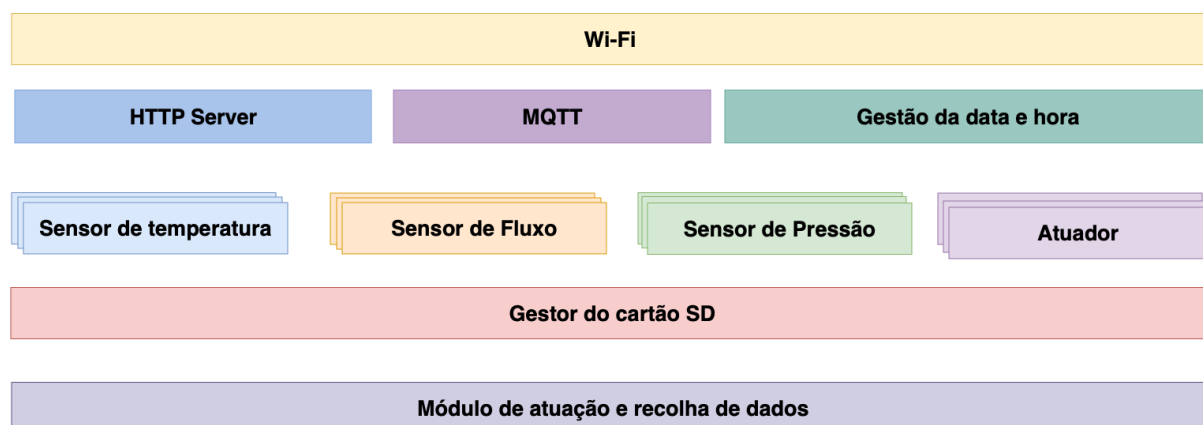


Figura 17: Arquitetura do Módulo de atuação e recolha de dados.

De forma a preservar a expansibilidade e flexibilidade do módulo de atuação e recolha de dados, o seu desenvolvimento implicou a implementação dos componentes em módulos, como é possível verificar na Figura 17. Cada sensor tem a sua classe responsável pela sua gestão, que permitem recolher os dados do sensor e respostas em JSON. Nos casos de atuação, o módulo de atuação permite o controlo dos atuadores. Foi desenvolvida uma classe responsável pelo Wi-Fi e outra pelo MQTT, em que esta implementação permite a independência do tipo de comunicação, isto é, torna-se fácil a alteração de Wi-Fi para outro tipo de comunicação, como por exemplo o ZigBee. Existe ainda uma classe responsável pela atualização da data e outra para a gestão do armazenamento do cartão SD. Todas estas classes são controladas pelo módulo principal “Módulo de atuação e recolha de dados”.

### 3.3.5 Módulo de assistente virtual

Este módulo é constituído por uma *Alexa Skill* que permite a criação de uma interface de comunicação através de voz e, dessa forma, transforma comandos vocais em pedidos ao servidor principal. No desenvolvimento da *skill* foi utilizado o NodeJS na elaboração do servidor *aws lambda*. Na Figura 18 estão representadas as diversas ações suportadas pela *skill*.



Figura 18: Comandos suportados por a skill da Alexa.

A interface tem suporte a pedidos de informação e pedidos de atuação. No que concerne aos pedidos de informação, temos os seguintes:

- “tell smartlyWater give me a tip” – Este pedido permite pedir dicas de poupança de água.
- “ask smartlywater what my kitchen consumption in April” – Permite pedir o consumo da cozinha em Abril. É possível pedir o consumo de toda a casa utilizando a mesma chamada, mas sem definir a localização.

Os pedidos de informação têm um funcionamento semelhante, sendo que a única diferença é a informação retornada. O pedido “ask smartlywater what’s my kitchen consumption in April”, representa o pedido do utilizador do consumo de água na cozinha em Abril. Estes pedidos têm um fluxo de execução no sistema que é possível verificar na Figura 19. O fluxo inicia-se pela pronúncia da frase e, assim que a Alexa recebe o pedido, transmite ao Load Balancer através de um pedido assíncrono HTTP. Este, através de um pedido assíncrono HTTP, encaminha para um servidor principal que, por sua vez, efetua um pedido assíncrono HTTP ao gestor de dados. Seguidamente, este efetua uma consulta do consumo à BD através de um pedido TCP/IP socket e, assim que recebe a informação, este retorna ao servidor principal através de uma resposta assíncrona HTTP. Quando a informação chega ao servidor principal, a mesma é encaminhada para a Alexa através de uma resposta assíncrona HTTP e, por fim, a Alexa responde ao utilizador qual foi o consumo.

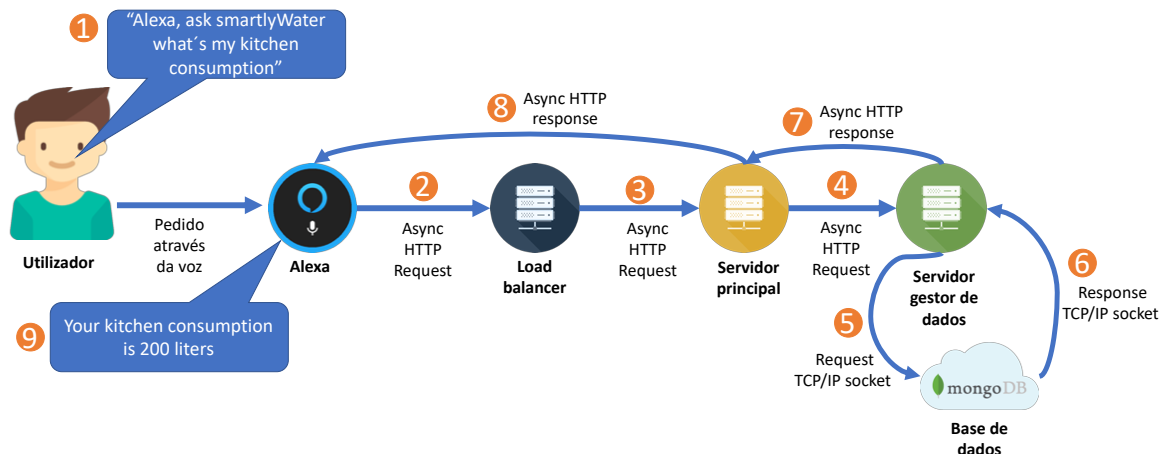


Figura 19: Fluxo de execução do comando do cálculo do consumo.

No caso de um pedido de atuação podemos considerar as seguintes instruções:

- “ask smartlywater to start brushing my teeth” – Esta chamada permite que a Alexa auxilie na tarefa da lavagem dos dentes. A tarefa começa com o utilizador a fazer a chamada. Após a chamada, o sistema começa pela a abertura da torneira, seguindo-se 2s para o utilizador molhar a pasta de dentes. Posteriormente, a torneira é fechada automaticamente, seguindo-se 1 minuto de espera. Após esse minuto, a Alexa avisa que vai a meio da lavagem e, após os 2min, a Alexa pergunta ao utilizador se pretende que ela abra a torneira. Caso o utilizador responda que sim, a torneira é aberta, caso contrário a Alexa pergunta se o utilizador necessita de algo mais. Se a resposta for negativa, a tarefa é concluída, caso contrário é executada a ação requerida. Esta chamada tem um tempo de 2min devido ao recomendado pelos dentistas. Os utilizadores têm a possibilidade de definir um tempo para lavagem dos dentes, para isso basta dizer “ask smartlywater to start brushing my teeth (1 min)”.
- “ask smartlywater to prepare my bath” – Este pedido permite que a Alexa prepare um banho. Esta tarefa inicia-se com o utilizador a fazer o pedido. Posteriormente, a Alexa pergunta se o utilizador pretende uma banheira cheia, meia ou com pouca água e, de acordo com a resposta do utilizador, o sistema prepara o banho consoante a definição escolhida pelo utilizador. É de salientar que o tipo de banho terá de ser configurado em litros na aplicação, de forma a que o sistema reconheça a quantidade necessária para cada tipo de banho.
- “ask smartlywater to prepare my shower” – Este pedido consiste na preparação de um duche. A tarefa de preparação do duche inicia-se com o pedido do utilizador. Seguidamente, a Alexa pergunta se o utilizador pretende um duche “speedy”, “relaxing” ou “special”, em cada tipo de duche varia a duração do mesmo. O “special” permite que o utilizador defina o tempo. Quando escolhido o tipo de duche, a Alexa começa a preparação. Caso esta não tenha a temperatura memorizada, a mesma é requerida. Após todos os parâmetros definidos, a Alexa inicia o procedimento de preparação e avisa ao utilizador sobre o seu início. A preparação do duche consiste na regulação dos atuadores até atingir a temperatura desejada pelo utilizador. Quando

terminada a preparação, o utilizador inicia o duche e após 1min a Alexa pergunta se o utilizador pretende fechar a torneira. Após a resposta, a Alexa fica a aguardar novas instruções e ao esgotar-se a primeira metade do tempo do duche, o utilizador é alertado que o seu duche vai a meio. Quando apenas restam 30s, o utilizador é novamente alertado e, no fim do banho, a Alexa pergunta se deseja fechar a torneira.

- “ask smartlywater open bathroom tap” – Esta instrução permite que o utilizador peça para abrir uma dada torneira.
- “ask smartlywater wash my hands” – Este pedido permite que o utilizador peça para a Alexa auxiliar na lavagem de mãos. Esta assistência consiste na abertura da torneira, seguindo-se 10s para a lavagem das mãos e, por fim, a Alexa pergunta se o utilizador pretende fechar a torneira.

Todos estes pedidos de atuação têm um fluxo de execução semelhante. Como base consideremos o exemplo “tell smartlywater to prepare my speedy shower”. Na Figura 20 encontra-se representado o fluxo de execução da tarefa e da preparação de um duche. A preparação de um duche começa com o utilizador a efetuar o pedido através da voz. Seguidamente, a Alexa transmite o pedido ao Load Balancer através de um pedido assíncrono HTTP. O Load Balancer, após receber o pedido, encaminha para um servidor principal utilizando um pedido assíncrono HTTP. O servidor principal, por sua vez, encaminha o pedido ao microcontrolador através de uma publicação MQTT. O microcontrolador, ao receber a informação de preparação do duche, regula os atuadores de forma a ajustar a temperatura do duche com a temperatura desejada pelo utilizador. Assim que ajustada a temperatura da água, o microcontrolador notifica através de uma publicação MQTT o servidor principal que o duche se encontra preparado. O servidor principal, quando notificado, encaminha a informação para a Alexa que avisa o utilizador que o duche está pronto.

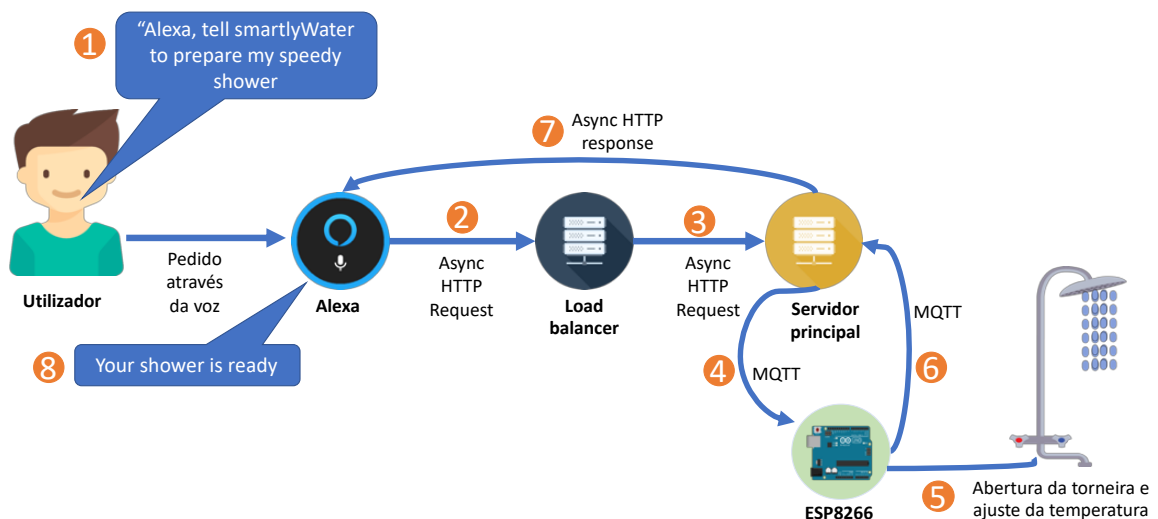


Figura 20: Fluxo de execução do comando preparar um duche.

### 3.3.6 Aplicação

Como projeto de software que é, começou-se o desenvolvimento da aplicação elaborando protótipos de baixa fidelidade, podendo ser encontrados no Anexo D – Protótipos de baixa fidelidade. Numa segunda fase, elaboraram-se protótipos de alta fidelidade, que podem ser vistos no Anexo E – Protótipos de alta fidelidade. Um exemplo destes poderá ser encontrado na Figura 21, que mostra a vista principal, sendo Figura (A) o protótipo de baixa fidelidade e a Figura (B) de alta fidelidade.

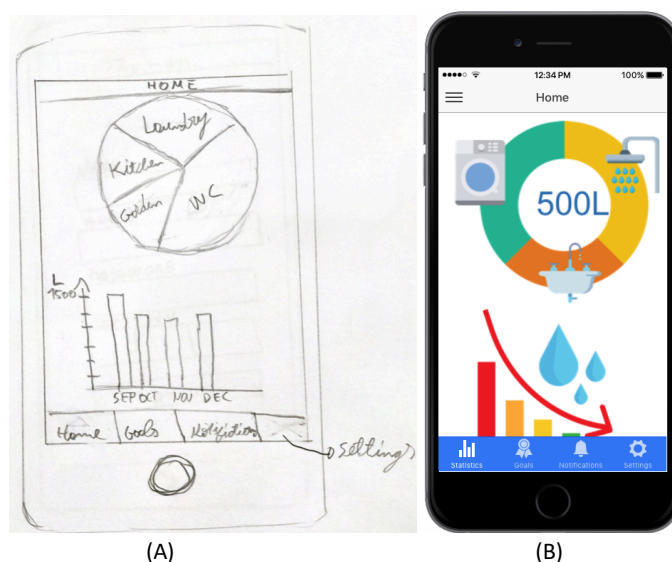


Figura 21: (A) Protótipos de baixa fidelidade da aplicação móvel. (B) Protótipos de alta fidelidade da aplicação móvel.

O sistema oferece uma aplicação que permite aceder aos consumos, definir objetivos, controlar a rede de águas e receber sugestões ou alertas. O desenvolvimento da aplicação foi atingido através da utilização da Framework Ionic 3. Esta permitiu, com um único código fonte, o desenvolvimento de uma aplicação móvel que suportasse os sistemas operativos iOS, Android e Windows Phone.



Figura 22: (A) vista de login da aplicação móvel. (B) vista de registo da aplicação móvel.

Na Figura 22 é possível verificar as vistas login na Figura (A) e registo da aplicação na Figura (B). A vista de registo permite ao utilizador registar-se no sistema. A vista de login concede a possibilidade de o utilizador autenticar-se no sistema.



Figura 23: Vista Home da aplicação.

A aplicação possui uma vista Home, que se encontra na Figura 23. A vista Home é uma vista que inclui uma secção com o consumo total da casa/casas, uma secção de gráficos com os consumos por secção da casa e consumos ao longo dos últimos meses. O Home dispõe também de uma secção com uma tabela com os últimos consumos. Esta vista possibilita que o utilizador personalize a ordem dos elementos, isto é, um utilizador se achar mais conveniente poderá escolher qual o gráfico ou tabela que aparece primeiro na vista.



(A)

(B)

(C)

Figura 24: (A) Vista Goals da aplicação móvel. (B) Vista de Notifications da aplicação móvel. (C) Vista de Settings da aplicação móvel.

Na Figura 24 (A), é possível verificar a vista Goals, que permite ao utilizador definir objetivos ou metas que a atingir, e ainda o estado dos mesmos. Na Figura 24 (B), está a vista Notifications, que permite ao utilizador a visualização das notificações do sistema. Essas poderão ser de problemas, no caso de um derrame, avisos em caso de excesso de consumo, ou recomendações para a redução do consumo. Por último Figura 24 (C), é possível ver a vista Settings, que permite ao utilizador alterar as suas definições. Poderá modificar a unidade de consumo de água, desativar as notificações e o corte automático da água em caso de fuga.

### 3.3.7 Website

O primeiro passo para o desenvolvimento do website foi a elaboração dos protótipos de baixa fidelidade, que podem ser vistos no Anexo D – Protótipos de baixa fidelidade. Na Figura 25, podemos visualizar um exemplo da vista principal do protótipo de baixa fidelidade.

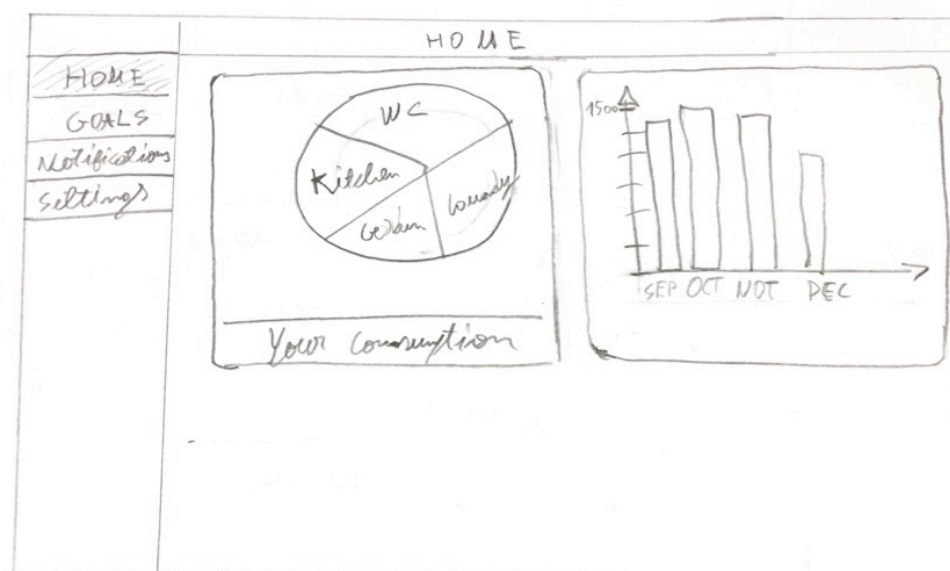


Figura 25: Protótipo de baixa fidelidade da vista principal do website

Utilizando o código fonte da aplicação, efetuou-se algumas alterações de forma a ajustar a interface para uma visualização web. O website que dispõe das mesmas funcionalidades da aplicação foi também desenvolvido utilizando a Framework Ionic 3. Na Figura 26 encontra-se a vista web do login e registo.



Figura 26: (A) Vista Login do website. (B) Vista registo do website

O website inclui uma vista Home que dispõe da mesma informação que a aplicação, sendo que a única funcionalidade exclusiva do website é a alteração do tamanho dos elementos da interface. Isto quer dizer que o utilizador poderá alterar a organização dos elementos da interface e o seu tamanho. Na Figura 27 (B) está representada a funcionalidade que permite o utilizador organizar a interface e, dessa forma, poderá alterar a localização do gráfico dos consumos. A alteração do tamanho dos elementos do Home permite ajustar o tamanho dos mesmos consoante a necessidade de cada utilizador. Esta funcionalidade pode ser encontrada na Figura 28.

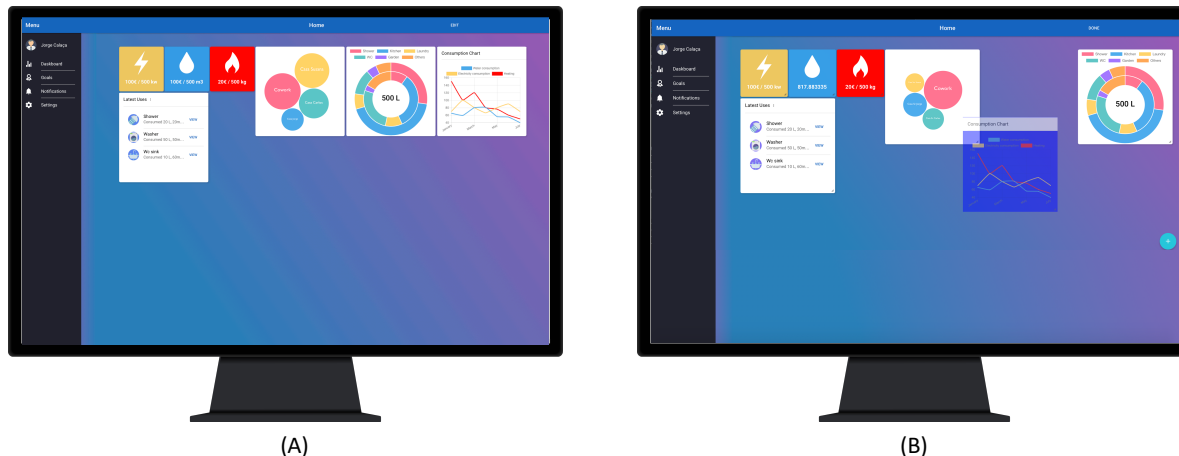
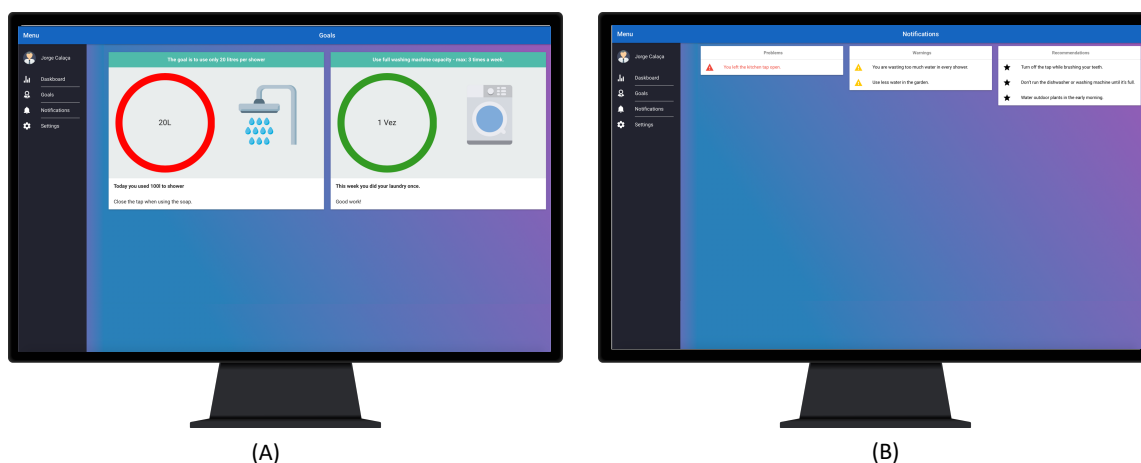


Figura 27: (A) Vista web do Home. (B) Vista web dos Home, funcionalidade de organizar



Figura 28: Vista web dos Home, funcionalidade de alteração do tamanho dos elementos do Home.

A vista dos Goals e Notifications segue o mesmo design e funcionalidades que a aplicação, estas encontram-se representadas na Figura 29.



(A)

(B)

Figura 29: (A) Vista Goals do website. (B) Vista Notifications do Website.

### 3.4 Base de dados

Desenvolveu-se uma base de dados em MongoDB que permite armazenar a informação sobre os utilizadores, sobre as suas casas e sobre as alterações sofridas na rede de água. A base de dados é acessada através de um servidor gestor de dados, responsável pelas leituras e escritas na base de dados. É possível verificar na Figura 30 o modelo de dados do sistema e o modelo ER no Anexo F – Diagrama ER.

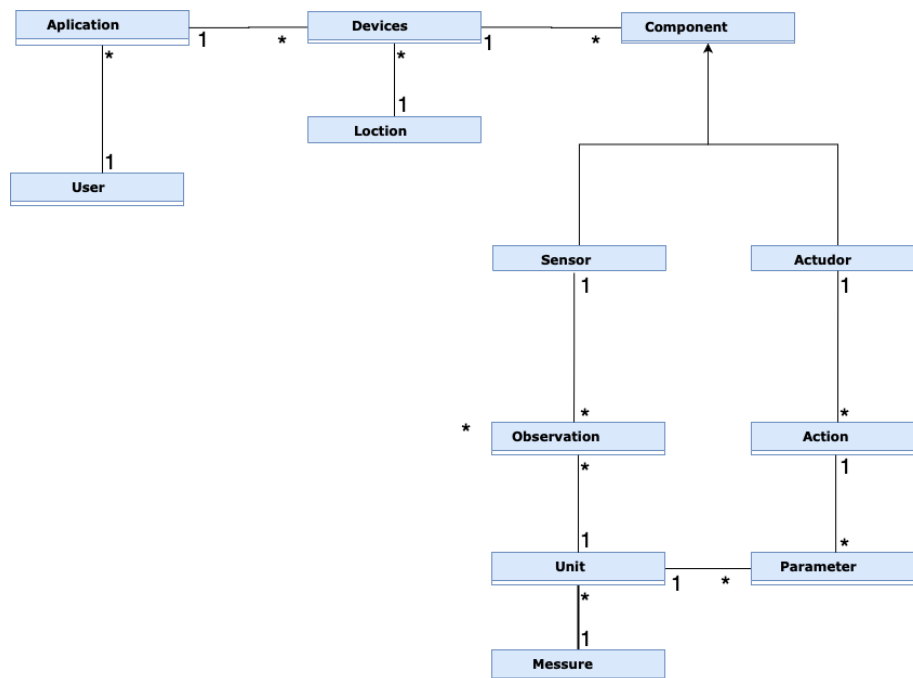


Figura 30: Modelo de dados do sistema.

O modelo de dados é constituído por tabelas/collections, que armazenam a informação dos elementos do sistema. Os documentos (inserts em base de dados relacionais) *User* são utilizados para guardar a informação pertencente ao utilizador. No que toca ao documento *Application*, estes são utilizados para armazenar a informação da aplicação, ou seja, o tipo de sistema, neste caso a aplicação será o smart water network. O *Device* é responsável pelo armazenamento da informação dos dispositivos. Os dispositivos são elementos responsáveis pela leitura dos sensores e por acionar os atuadores. No que toca aos documentos *Location*, estes são utilizados para representar a localização do dispositivo. Os dispositivos dispõem de componentes que são elementos que armazenam a informação das funcionalidades que um dispositivo suporta. As componentes contêm sensores e/ou atuadores. Os sensores são dispositivos que medem determinados elementos ou alterações. Os documentos atuadores armazenam a informação dos atuadores, isto é, o tipo de atuador e as suas funcionalidades. Na base de dados existem documentos *Observation* que acomodam as leituras dos sensores, já no caso dos documentos *Action*, estes armazenam as ações efetuadas pelos atuadores. Um parâmetro é um elemento de uma ação e cada ação poderá ter mais do que um parâmetro. Um parâmetro tem uma unidade tal como metro cúbico ou litro. Uma unidade pertence a uma *Measure* que representa o tipo de medida, podendo ser volume ou distância, entre outras.

No decorrer do projeto, foi detetada alguma latência aquando das pesquisas à base de dados provocada pelo elevado volume de dados. Como solução, utilizou-se a indexação de alguns atributos de forma a melhorar o desempenho das queries.

A utilização da tecnologia Cloud Mongo permitiu a replicação da base de dados em três cópias.

### 3.5 Comunicação

Sendo este um Sistema de IoT, a comunicação constitui um elo crucial para o bom funcionamento do sistema. Na tomada de decisão do tipo de comunicação adotado foram tidos em conta os tipos de rede normalmente disponíveis nas casas. Das opções Bluetooth BLE, ZigBee, Wi-Fi e Z-Wave, avaliadas na secção 2.4, o Wi-Fi representa a tecnologia com maior consumo energético dos avaliados mas, por sua vez, tem a maior taxa de transferência de dados e maior adoção nas casas. Dadas essas características, a escolha passou pela a utilização do Wi-Fi.

Escolhido o tipo de rede a adotar, criou-se a necessidade de seleccionar um protocolo de comunicação entre componentes. Na Figura 34 encontra-se representado o esquema das comunicações do sistema.

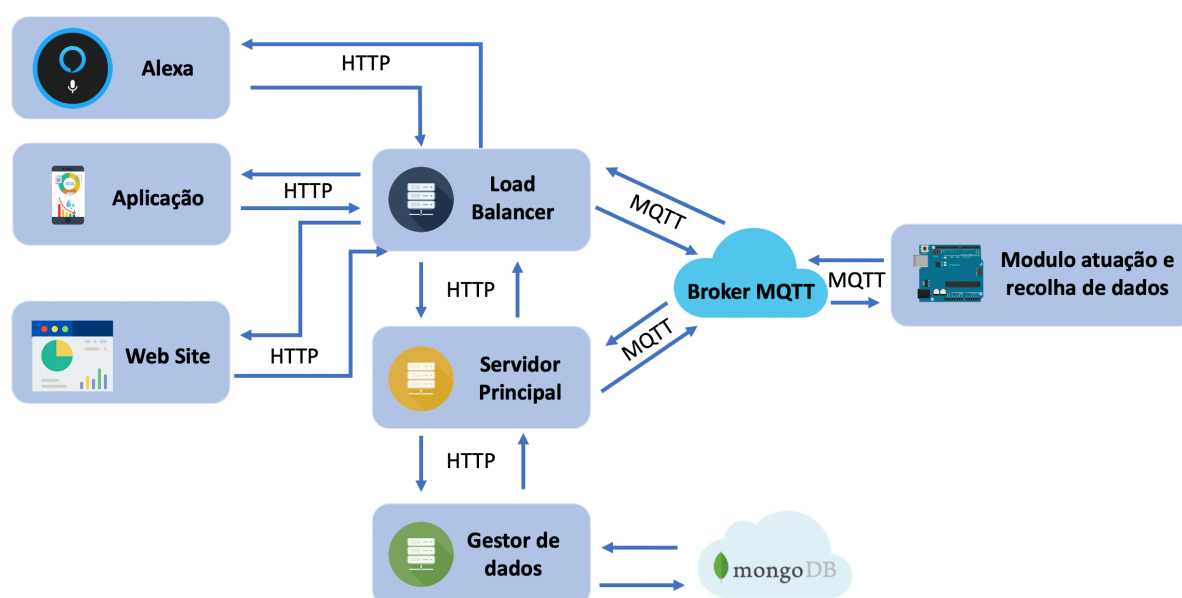


Figura 31: Esquema da comunicação do sistema.

Na comunicação entre o **Servidor Principal** e o **Módulo de atuação e recolha de dados**, efetuou-se um estudo que permitiu averiguar qual a melhor opção entre o HTTP e o MQTT na utilização do microcontrolador Wemos D1 Mini. Este estudo encontra-se no Anexo G – Artigo “Latência num sistema de IoT com Assistente Virtual, concluiu-se que o HTTP tem melhor resposta, quando efetuado um único pedido, face ao MQTT. No caso de pedidos simultâneos, concluiu-se que o MQTT seria a melhor opção. Concluiu-se também que na utilização do HTTP, com mais de 4 pedidos consecutivos, o microcontrolador deixava de conseguir dar resposta. Desse modo, optou-se pela adoção do protocolo MQTT. É de salientar que, embora tenha sido escolhido o WI-FI e o protocolo MQTT, a implementação do **Módulo de atuação e recolha de dados**, permite a utilização de múltiplas opções ou a alteração do modo de comunicação. O **Módulo de atuação e recolha de dados** utiliza o tópico “/01/insert/observation”, “/01/insert/action”, “/01/insert/status” para enviar observações, atuações e o estado ao **Load Balancer**. No que toca ao Servidor principal, este envia a

informação para o **Módulo de atuação e recolha de dados** através de publicações no tópico “smartly/node/{NodeID}”, e o NodeID é o indentificador único de cada node.

Relativamente à ligação entre o **Load balancer**, o **Servidor principal** e o **Gestor de dados** definiu-se a utilização de HTTP. A escolha do HTTP como protocolo de eleição para esta ligação deveu-se à sua grande popularidade e flexibilidade. O Load Balancer e o Servidor principal implementam a API no Anexo B – API Load Balancer e Servidor principal. O **gestor de dados** por sua vez utiliza a API do Anexo C – API gestor de dados. A Alexa, a aplicação e o website comunicam com o **Load balancer** através de HTTP.

Neste projeto foram implementadas várias medidas de segurança, em que a primeira medida é a utilização de autenticação na aplicação e no website. As comunicações entre todas as componentes do sistema são encriptadas utilizando o protocolo AES-128. No **Módulo de atuação e recolha de dados**, devido ao seu baixo processamento, utilizou-se uma autenticação básica na sua API Rest. Nas APIs HTTP do **Load Balancer**, **Servidor principal** e **Gestor de dados** utilizou-se uma autenticação por tokens. Foi utilizada uma autenticação básica para as conexões ao broker MQTT. Foram ainda aplicados brokers separados para cada caso de estudo de forma a isolar as comunicações. Desta forma não é possível escutar os dados de outras implementações. No que toca à base de dados, protegeu-se os acessos definindo os IPs que podem efetuar consultas à mesma. Foi ainda utilizada uma tecnologia de replicação da base de dados permitindo efetuar três cópias.

### 3.6 Arquitetura de referência

Nesta secção será descrita uma arquitetura de referência utilizada como base para os casos de estudo.

A arquitetura é composta pelo Load balancer, Servidor principal, Gestor de dados, Módulo de atuação e recolha de dados, sensores e atuadores. Os módulos Load balancer, Servidor principal e Gestor de dados poderão estar instanciados na mesma máquina ou em máquinas distintas e a sua comunicação é feita através do protocolo HTTP. Nesta arquitetura é necessário um Broker MQTT que poderá estar na rede local ou na Cloud. As componentes Load balancer, Servidor principal e Módulo de atuação e recolha de dados terão de utilizar o mesmo broker para efetuar a comunicação entre componentes.

Na Figura 32 encontra-se representado um esquema de rede de uma possível implementação da arquitetura de referência. Neste esquema é possível verificar que os módulos Load balancer, Servidor principal e Gestor de dados estão instanciados na mesma máquina. A base de dados encontra-se na Cloud e o módulo de atuação e recolha de dados terá de conectar-se, através do Wi-Fi, à internet. Neste exemplo é utilizado um broker MQTT Cloud que se encontra na Cloud, o que permite a comunicação entre o módulo de atuação e recolha de dados com o Load balancer e Servidor principal que se encontram noutra rede.

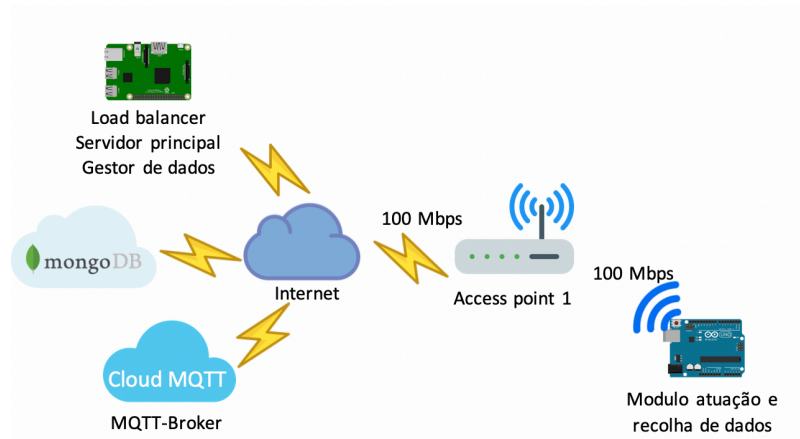


Figura 32: Esquema de rede da arquitetura de referência.

### 3.6.1 Módulo de atuação e recolha de dados

O módulo de atuação e recolha de dados é responsável pela recolha de informação dos sensores e atuadores.

Este módulo utiliza um circuito baseado na

Figura 33, que contém uma componente de comunicação identificada com o número (1), um módulo de cartão SD (2), uma fonte de alimentação de DC 12V (3), um redutor para 5V (5), um relé duplo (4), um microcontrolador (1), sensores (6) e atuadores (7).

Os atuadores (7) utilizam uma potência de DC 12V e as componentes microcontrolador (1), módulo de comunicação (1), módulo de cartão SD (2), relé (4) e sensores (6) utilizam DC 5V, desse modo existe a necessidade de utilizar um redutor para 5V.

O relé (4) permite ao microcontrolador (1) controlar o atuador (7) que, por sua vez, utiliza 3 condutores, um GND, um para abertura da válvula e outro para o fecho. A abertura ou fecho do atuador (7) é controlada através da ativação dos 12V para o pin correspondente da funcionalidade desejada. A utilização de um relé duplo (4) com um relé a controlar a alimentação e outro a controlar a funcionalidade do atuador (7), promove uma proteção de segurança, dessa forma nunca poderá ser ativada a abertura e o fecho do atuador de forma simultânea.

O sensor de fluxo (6) e de temperatura são conectados através de um conector de 4 pins, um pin para GND, um VCC, um para leitura do sensor de fluxo e outro para o de temperatura. O pin da temperatura necessita de amplificação do sinal analógico e para isso utilizou-se uma resistência de 3,5kΩ (8) ligada numa extremidade aos 3,3V do microcontrolador (1) e a noutra extremidade à porta analógica do microcontrolador (1).

O módulo de comunicação (1) permite ao microcontrolador comunicar com as restantes componentes do sistema.

O módulo do cartão SD (2) possibilita que o microcontrolador armazene informação no cartão SD ou leia a informação armazenada.

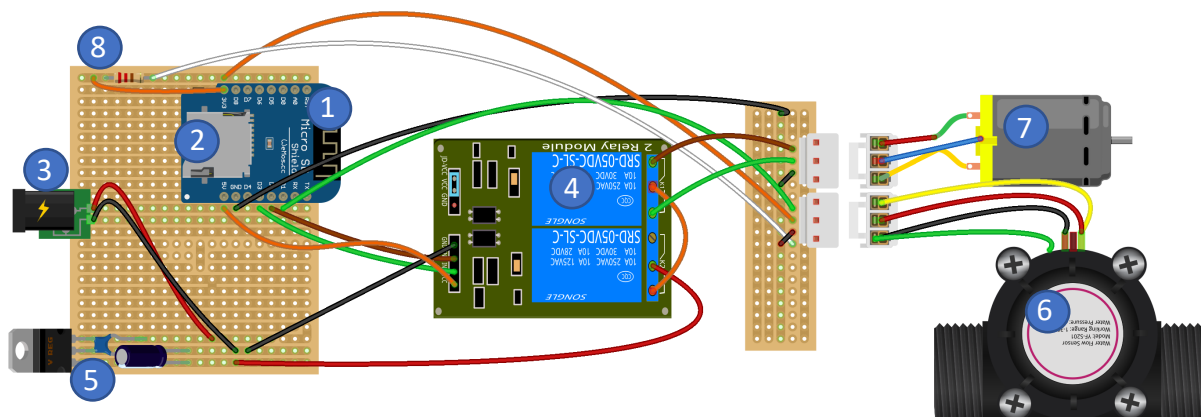


Figura 33: Circuito base do módulo de atuação e recolha de dados.

### 3.7 Casos de estudo

De modo a avaliar a solução proposta anteriormente, implementou-se o sistema em várias localizações.

A implementação do sistema passou pela instanciação do Load balancer, Servidor principal e do Gestor de dados num Raspberry Pi 3 Model B e pela instalação dos módulos de atuação e recolha de dados em cada uma das 4 localizações. Em caso de indisponibilidade do Raspberry Pi, os Módulos de atuação e recolha de dados armazenam os dados no respetivo cartão SD e quando o Raspberry Pi volta à sua operacionalidade são enviados os dados em falta. Foi utilizada a ferramenta ngrok, referida na secção 3.2.2, que permitiu a criação de um túnel que proporcionou o envio de informação remota para o servidor principal.

O alojamento da base de dados foi feito utilizando o serviço MongoDB Cloud. A base de dados foi partilhada entre os casos de estudo.

#### 3.7.1 1º Caso de estudo

O primeiro caso de estudo passou por uma implementação distribuída, isto é, foram utilizados vários sensores distribuídos pela rede. Esta implementação focou-se no consumo e no controlo de uma casa de banho. A casa de banho é constituída por uma sanita, um duche, uma banheira e um lavatório. Instalou-se sensores de fluxo e de temperatura no lavatório, no duche e no tubo principal que leva a água para toda a casa de banho. A instalação foi feita tanto na tubagem de água fria como na de água quente. Na Figura 34 é possível verificar um esquema da tubagem da primeira implementação e a distribuição dos vários sensores e atuadores. De forma a conseguir controlar a torneira do lavatório e do duche, foram instaladas válvulas nos tubos que levam água quente e água fria para o lavatório e para o duche. Foram implementados atuadores no tubo mãe que leva água para a casa de banho. Esta implementação contém um Echo dot, dessa forma, através da Alexa, é possível abrir e fechar as torneiras do duche, do lavatório e cortar a água na casa de banho. Esta implementação suporta também as funcionalidades de pedir para preparar um duche, lavar as mãos e lavar os dentes. Visto que a implementação foi distribuída, é possível saber os consumos dos vários equipamentos e o consumo total.

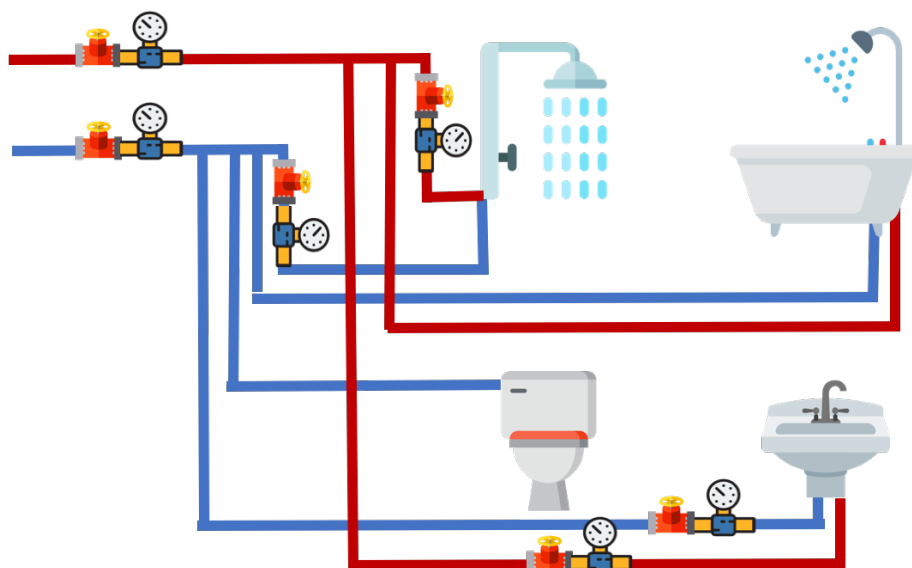


Figura 34: Esquema do 1º caso de estudo.

A instalação do módulo de recolha de dados e atuação foi efetuada numa caixa mãe que distribui água para toda a casa, o que é possível verificar na Figura 35.

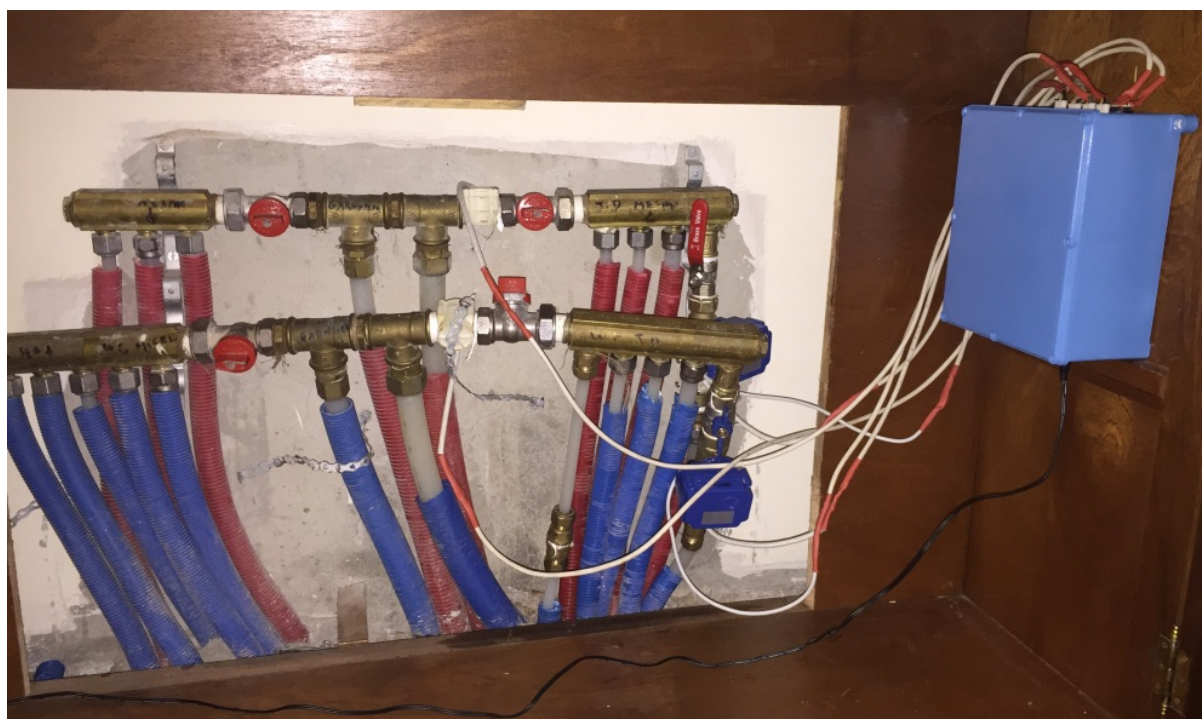


Figura 35: Primeiro caso de estudo, caixa de distribuição.

### 3.7.1.1 Módulo de atuação e recolha de dados

Para este caso de estudo desenvolveu-se uma caixa que alberga os equipamentos necessários e seu respetivo circuito para a recolha de dados e atuação. Na Figura 36 é possível

encontrar o circuito do caso de estudo que é constituído por quatro microcontroladores NodeMCU que se ligam aos relés e aos sensores. Os relés ligam-se aos atuadores e, desse modo, os microcontroladores conseguem controlar os atuadores.

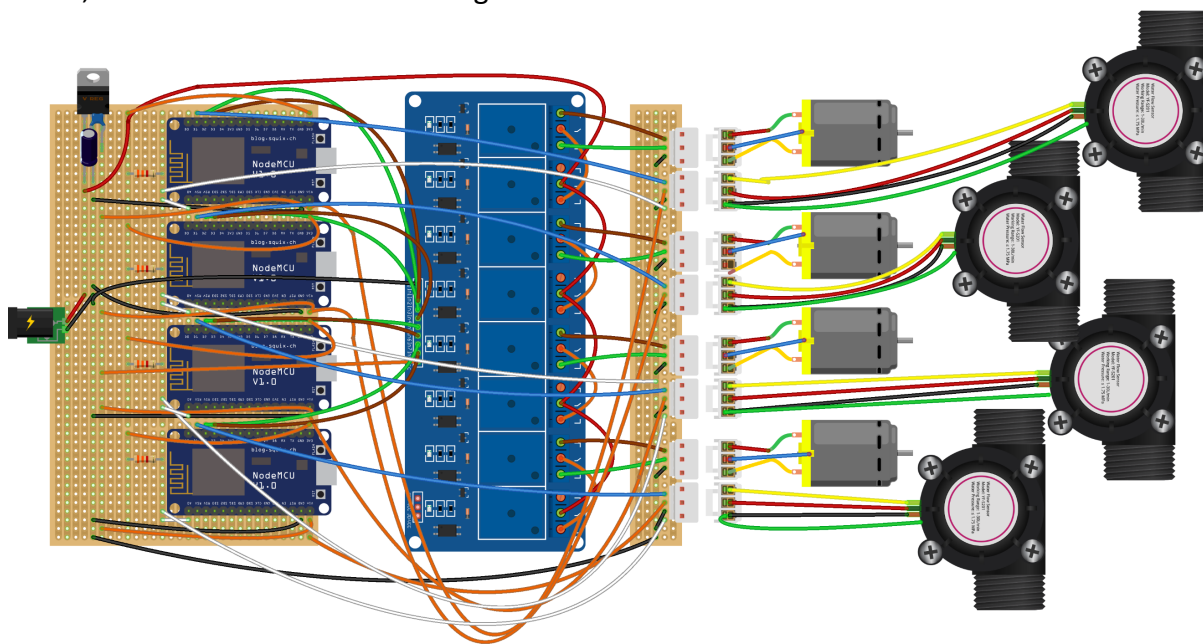


Figura 36: Circuito da caixa do 1º caso de estudo.

O resultado da implementação do circuito da Figura 36 pode ser visto na Figura 37.

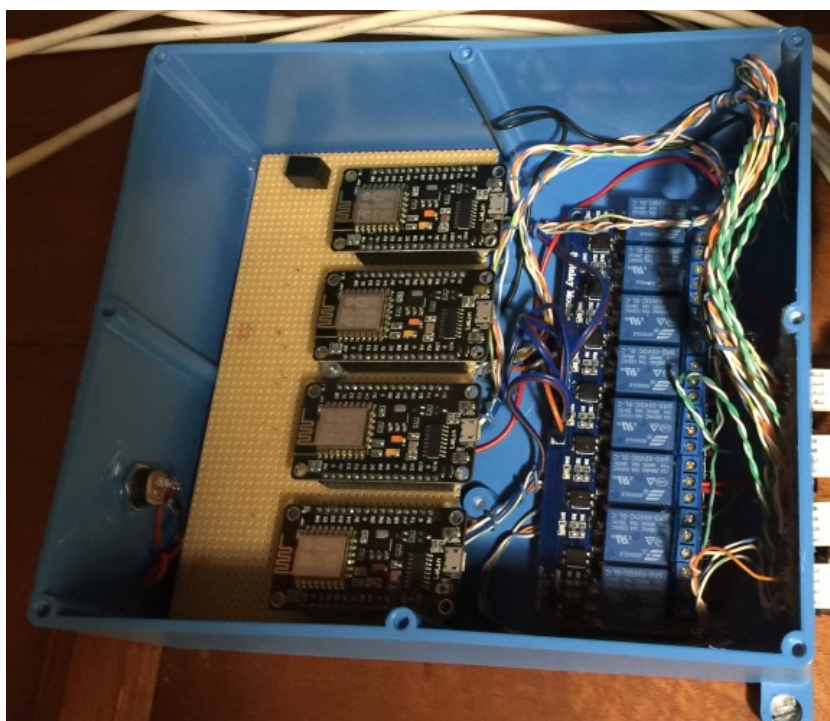


Figura 37: Implementação do circuito do 1º caso de estudo.

### 3.7.1.2 Rede

O sistema foi implementado com a estrutura descrita na Figura 38, em que os microcontroladores se conectam através de Wi-Fi com a frequência 2,4GHz e protocolo 802.11n. O Raspberry Pi que inclui o Load balancer, Servidor principal e Broker MQTT, encontra-se localmente ligado através de Wi-Fi com a frequência 2,4GHz e protocolo 802.11n. A base de dados utilizada foi alojada na MongoDB Cloud.

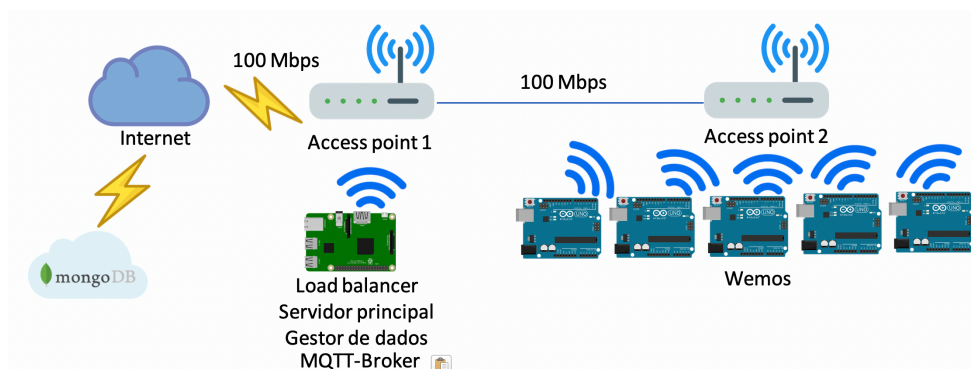


Figura 38: Esquema de rede do 1º caso de estudo.

### 3.7.2 2º caso de estudo

O segundo caso de estudo passou pela implementação do sistema numa segunda casa. A implementação foi efetuada na saída do tanque de água da casa. Na Figura 39 é possível verificar o esquema da rede de água da casa, apurar a implementação após o reservatório de água, e verificar que a casa possui duas casas de banho, uma lavandaria, uma cozinha e um jardim. Esta implementação permite a recolha do consumo de toda a casa e dispõe da possibilidade do utilizador consultar os seus consumos no telemóvel ou no site. A Figura 40 representa a implementação do segundo caso de estudo e é possível verificar a localização do sensor fluxo após o motor de água, ou seja, após o tanque.

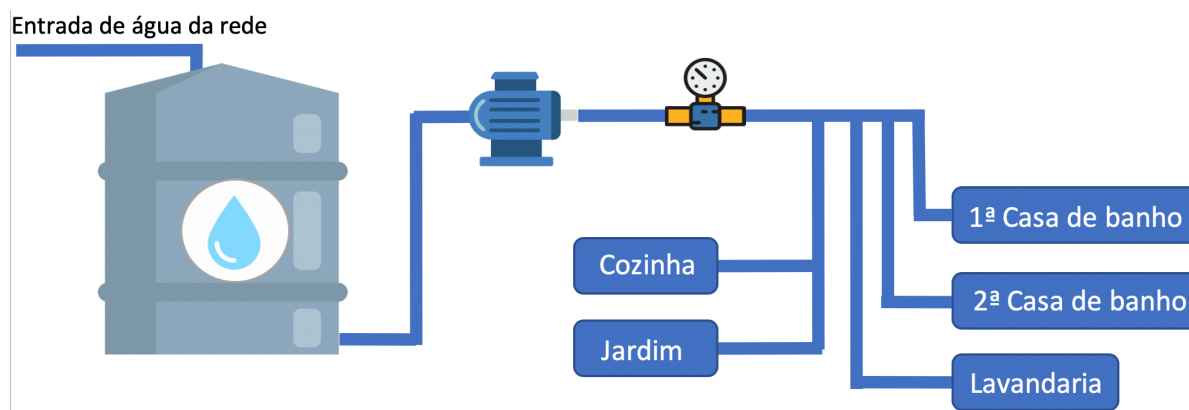


Figura 39: Esquema do 2º caso de estudo.



Figura 40: Segunda implementação, implementação após o tanque.

### 3.7.2.1 Módulo de atuação e recolha de dados

No segundo caso de estudo utilizou-se um circuito como representado na Figura 41. Este circuito inclui um microcontrolador Wemos d1 Mini. Nesta implementação utilizou-se um módulo de cartão SD que se conecta diretamente sobre o microcontrolador e foi utilizado um relé de forma a providenciar o controlo da válvula.

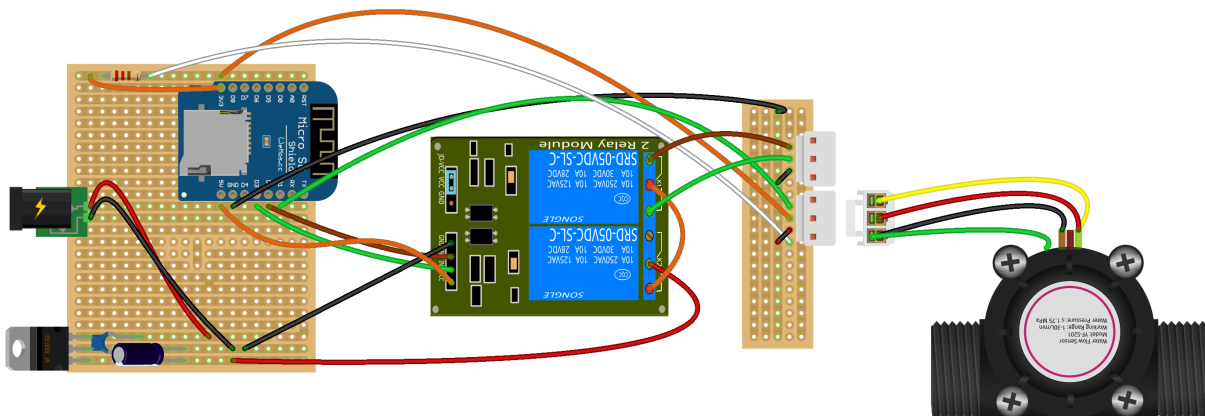


Figura 41: Circuito do segundo caso de estudo.

### 3.7.2.2 Rede

Nesta implementação utilizou-se um esquema de rede como é possível encontrar na Figura 42. Esta implementação contou com um microcontrolador localmente ligado por Wi-Fi com a frequência 2,4GHz e protocolo 802.11n. Foi utilizado um Load balancer, um Servidor

principal e um Gestor de dados instanciados no Raspberry Pi da primeira instalação, mas com a particularidade de se comunicarem remotamente. Foi utilizada uma base de dados Cloud e um broker MQTT Cloud que permitiu que os equipamentos comunicassem não estando na mesma rede.

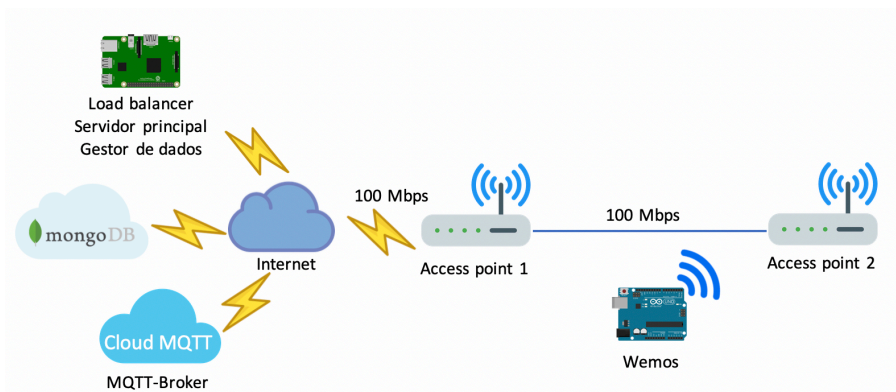


Figura 42: Esquema de rede da segunda implementação.

### 3.7.3 3º caso de estudo

O terceiro caso de estudo passou pela instalação do sistema numa terceira casa e essa instalação foi efetuada de forma idêntica ao segundo caso de estudo, ou seja, após o reservatório de água. A instalação na terceira casa foi realizada como representado na Figura 43, sendo instalado unicamente um sensor de fluxo no tubo mãe que distribui água para toda a casa. A casa possui três casas de banho, uma lavandaria, um jardim e uma cozinha. Esta instalação utilizou unicamente um sensor de fluxo de água. O resultado da instalação poderá ser encontrado na Figura 44.

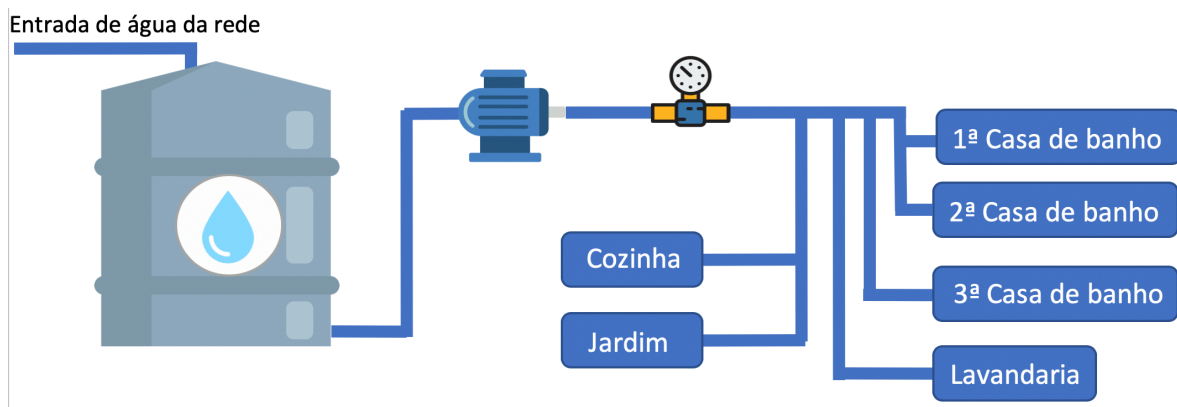


Figura 43: Esquema da instalação no terceiro caso de estudo.



Figura 44: Implementação do terceiro caso de estudo.

### 3.7.3.1 Módulo de atuação e recolha de dados

O terceiro caso de estudo utilizou um circuito semelhante ao do segundo caso, embora o aspeto diferenciador deste circuito seja a utilização do microcontrolador NodeMCU ao invés do Wemos e a utilização de um módulo de cartão SD distinto. O circuito pode ser encontrado na Figura 45. Nesta implementação utilizou-se unicamente um sensor de fluxo. A implementação do circuito poderá ser encontrada na Figura 46.

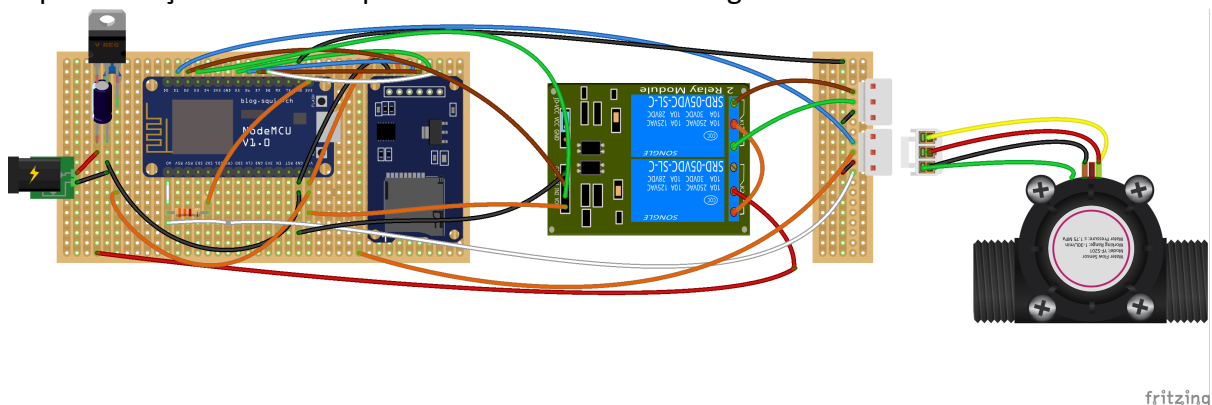


Figura 45: Circuito do terceiro caso de estudo.

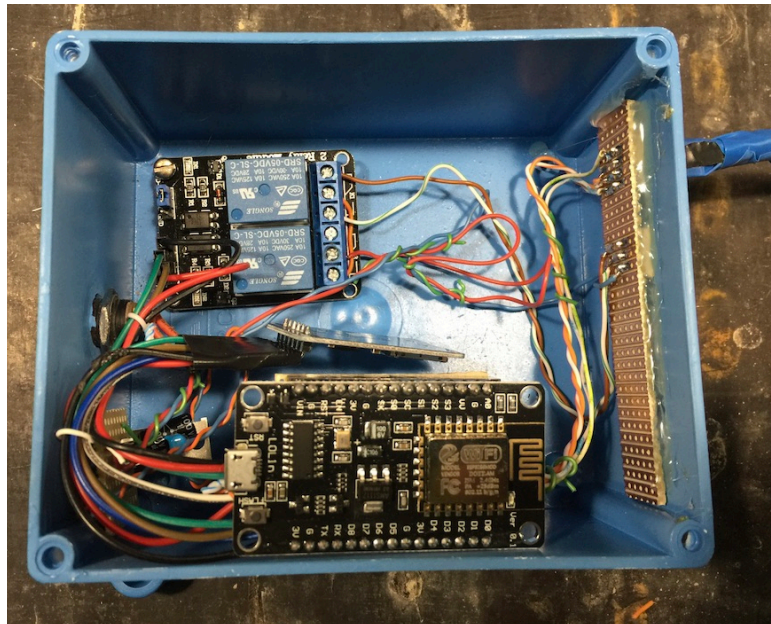


Figura 46: Implementação do circuito do terceiro caso de estudo.

### 3.7.3.2 Rede

A rede utilizada na terceira implementação tem uma estrutura idêntica à da segunda implementação. A estrutura ilustrada na Figura 47 contém um microcontrolador conectado através de Wi-Fi utilizando a frequência 2,4GHz e protocolo 802.11n. O Raspberry Pi que se encontra noutra área geográfica, conecta-se através da Internet aos restantes equipamentos. Este alberga o Servidor principal, o Servidor principal e o gestor de dados. A comunicação foi estabelecida através de um broker Cloud MQTT. A base de dados, tal como nas outras implementações, encontra-se na Cloud.

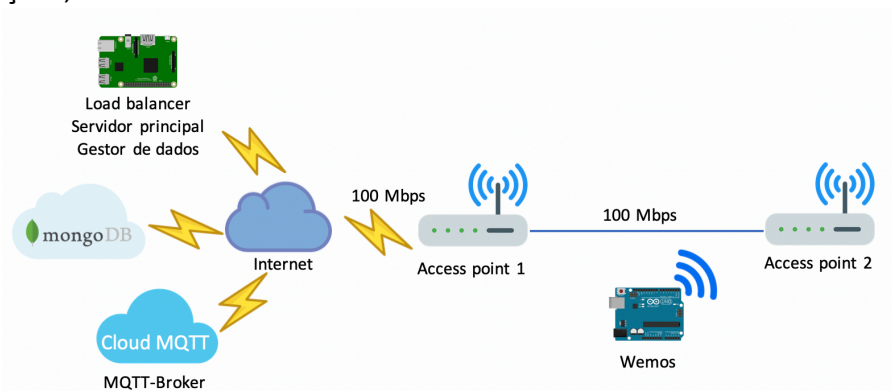


Figura 47: Esquema de rede da terceira implementação.

### 3.7.4 4º caso de estudo

No 4º caso de estudo a instalação foi feita num edifício que alberga várias empresas. Neste edifício existem por 3 casas de banho e uma cozinha. A instalação foi feita após o contador de água. É de salientar que o edifício não possui reservatório de água. Este caso utilizou uma estrutura de instalação como ilustrado na Figura 48, em que o sensor de fluxo

foi instalado no tubo mãe que leva água para as diversas divisões do edifício. A instalação do sensor e atuador poderá ser vista na Figura 49.

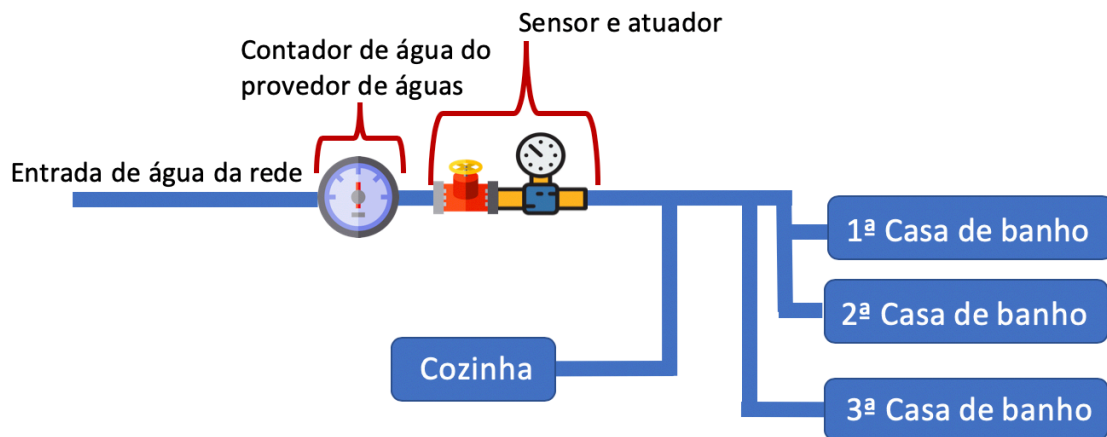


Figura 48: Esquema da quarta implementação.



Figura 49: Implementação do 4º caso de estudo.

#### 3.7.4.1 Módulo de atuação e recolha de dados

Nesta implementação foi utilizado um circuito idêntico ao do segundo caso de estudo, a única diferença é que esta instalação utiliza um sensor de fluxo e um atuador ao invés de usar somente o sensor. O esquema do circuito poderá ser encontrado na Figura 50, este utiliza

um microcontrolador Wemos d1 mini, um relé duplo, sensor de fluxo e atuador. A implementação deste circuito poderá ser vista na Figura 51.

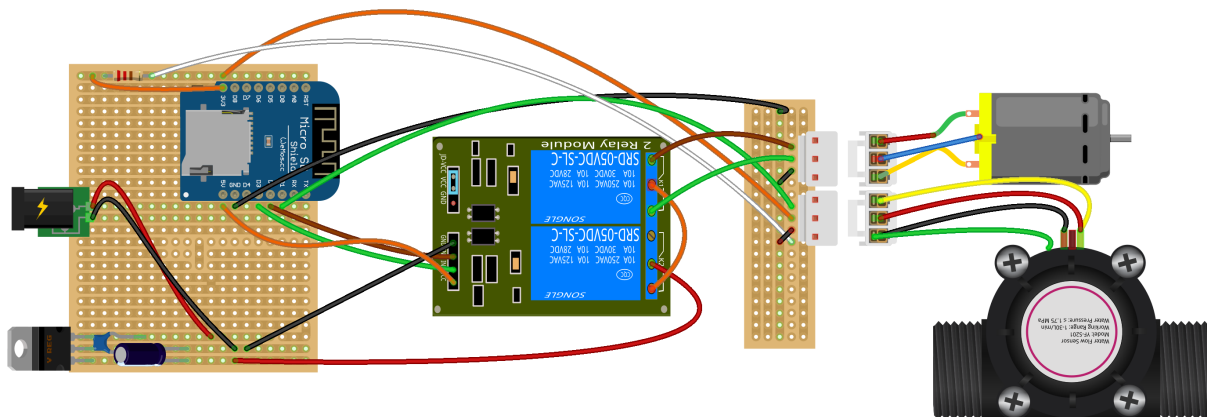


Figura 50: Esquema do circuito do quarto caso de estudo.

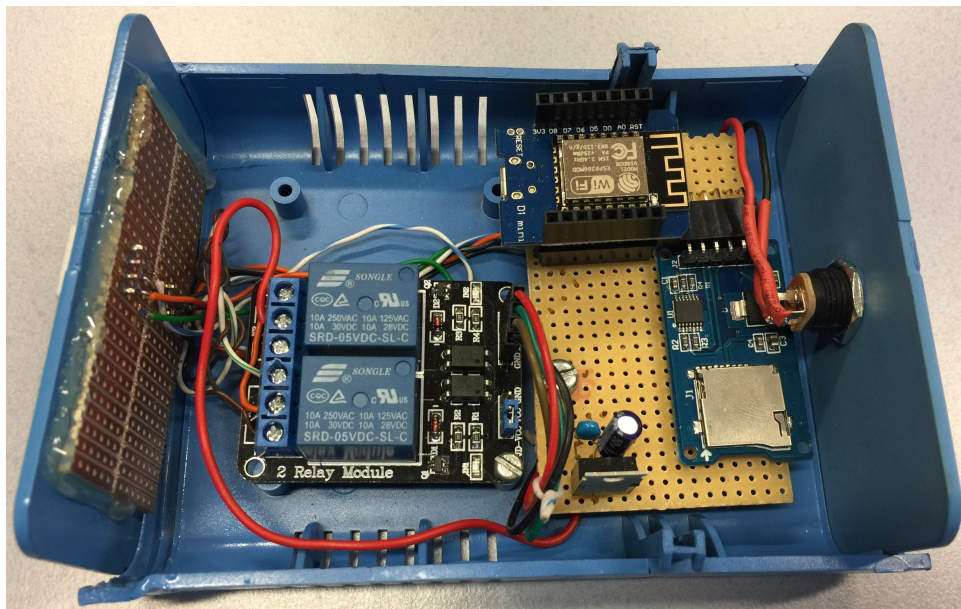


Figura 51: Implementação do circuito do quarto caso de estudo.

### 3.7.4.2 Rede

No 4º caso de estudo foi utilizada uma rede com uma estrutura como ilustrada na Figura 52, que contém o Raspberry Pi remoto do primeiro caso de estudo conectado através da Internet e utilizando a mesma base de dados dos outros casos de estudo. O microcontrolador conecta-se através de Wi-Fi utilizando a frequência 2,4GHz e protocolo 802.11n. Os dispositivos utilizam um broker Cloud MQTT para comunicar tal como nos outros casos de estudo. É de salientar que o broker é uma instância distinta dos outros casos de estudo, o que permite isolar a comunicação para cada caso.

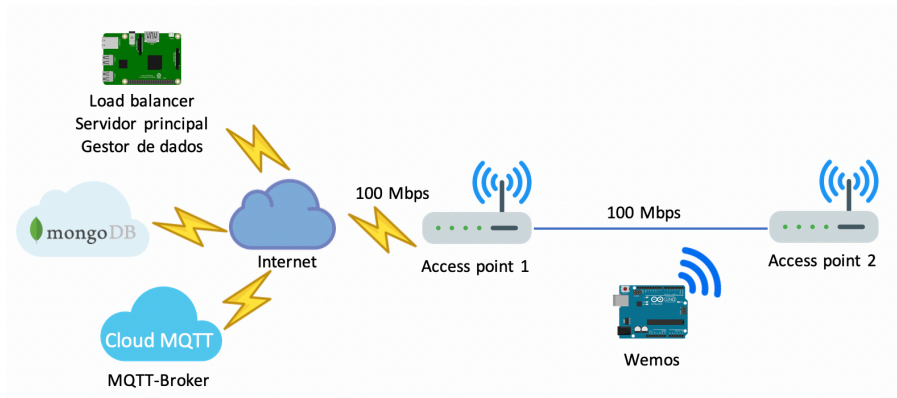


Figura 52: Esquema de rede da quarta implementação.

## 4 Testes e resultados

Dados os objetivos do projeto do desenvolvimento de um sistema que permitisse a recolha de todo o consumo da rede de águas, a deteção de fugas, a análise dos consumos, visualização numa aplicação e website, realizou-se diversos testes. Os testes realizados agrupam-se nas categorias de teste de usabilidade, teste de consumo utilizando a Alexa, teste de anomalias e deteção de padrões de consumo. Nesta secção serão ainda discutidos os resultados obtidos nos testes.

### 4.1 Testes de Usabilidade

Estes testes tiveram como intuito avaliar a usabilidade da aplicação, do web site e da Skill da Alexa. Com vista a esse objetivo, efetuou-se testes, individualmente a cada componente.

#### 4.1.1 Teste de usabilidade da aplicação e web site

De modo a avaliar a usabilidade da aplicação móvel e web site, criou-se seis grupos de utilizadores para testes, três para aplicação móvel e três para o web site. Cada grupo é composto por 4 elementos, o que resulta num total de 24 utilizadores. Em cada grupo foi pedido que, individualmente, um utilizador realizasse um conjunto de tarefas. Os primeiros três grupos realizaram uma das tarefas na aplicação móvel. A segunda fração de grupos realizou um dos conjuntos de tarefas no web site. Os conjuntos de tarefas utilizados foram:

1º Conjunto de tarefas:

- Autenticar-se na aplicação móvel;
- Consultar o consumo do mês corrente;
- Verificar qual o último consumo;
- Consultar o consumo do mês anterior.

2º Conjunto de tarefas:

- Autenticar-se na aplicação móvel;
- Consultar o estado do objetivo “consumir menos 300L por dia”.

3º Conjunto de tarefas:

- Autenticar-se na aplicação móvel;
- Consultar a notificação de uma anomalia.

No fim de cada teste, foi requerido que cada utilizador preenchesse um questionário. O questionário utilizado foi o SUS (System Usability Scale) [57] com a adição de algumas questões gerais. Este questionário consiste num total de 10 perguntas com uma escala de 1 a 5, em que o 1 significa “discordo fortemente” e o 5 significa “concordo fortemente”.

O primeiro teste realizado foi o teste de usabilidade da aplicação móvel. Participaram 12 pessoas escolhidas aleatoriamente, em que 58,3% dos utilizadores eram do sexo masculino e 41,7% do sexo feminino.

No que toca à faixa etária dos inquiridos, é possível verificar a sua distribuição na Figura 53.

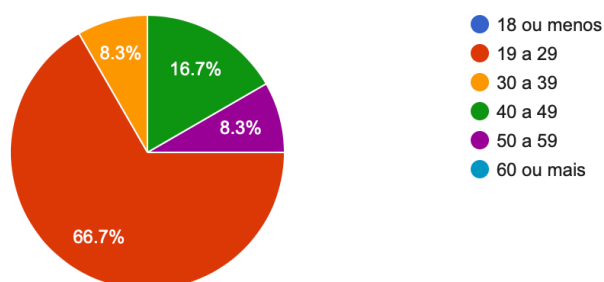


Figura 53: Faixa etária dos utilizadores do teste de usabilidade da aplicação móvel.

Os utilizadores na sua maioria estavam mais familiarizados com o sistema operativo Android (66,7%), seguindo-se o iOS (25%) e Windows Phone (8,3%).

Neste teste efetuou-se o questionário SUS que se encontra no Anexo H – Questionário de usabilidade da Aplicação Móvel, cujas respostas figuram na Tabela 2.

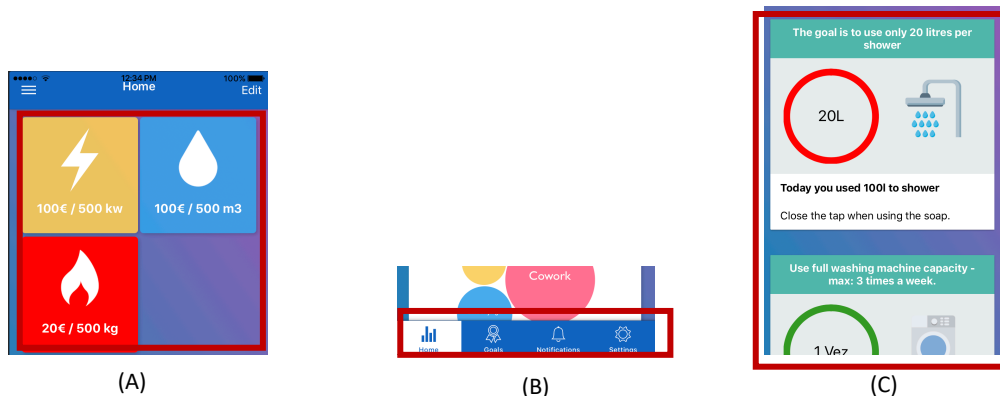
Tabela 2: Respostas do SUI da aplicação móvel.

Questões	Utilizadores											
	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º	10º	11º	12º
1. Acho que gostaria de utilizar este produto com frequência.	4	5	4	5	3	4	4	5	4	4	4	4
2. Considerei o produto mais complexo do que necessário.	1	1	3	2	1	3	2	1	1	1	2	2
3. Achei o produto fácil de utilizar.	5	5	4	5	3	3	3	4	4	4	4	4
4. Acho que necessitaria de ajuda de um técnico para conseguir utilizar este produto.	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
5. Considerei que as várias funcionalidades deste produto estavam bem integradas.	4	4	4	5	3	4	4	5	3	4	4	4
6. Achei que este produto tinha muitas inconsistências.	1	1	2	1	2	3	2	2	2	1	2	1
7. Suponho que a maioria das pessoas aprenderia a utilizar rapidamente este produto.	4	5	5	5	3	4	4	4	3	4	4	4
8. Considerei o produto muito complicado de utilizar.	1	1	1	1	2	3	1	1	2	1	1	2
9. Senti-me muito confiante a utilizar este produto.	5	5	4	5	4	4	4	4	4	4	4	4
10. Tive que aprender muito antes de conseguir lidar com este produto.	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1

Ao longo dos testes foram detetadas algumas anomalias, tais como:

- No dashboard os utilizadores tinham a tendência de interpretar os valores de consumo por botões, na Figura 54 (C) encontra-se representada a anomalia detetada nos consumos.
- Os utilizadores, por vezes, demonstraram alguma dificuldade em encontrar a barra de menu, supõe-se que seja devido a falta de contraste entre as cores. O menu encontra-se ilustrado na Figura 54 (B).
- Foram detetadas algumas inconsistências nas legendas dos gráficos.

- Na aba goals, uma minoria de utilizadores encontraram alguma dificuldade de interpretação do seu estado. Na *Figura 54 (C)* está representada a anomalia detetada nos goals.

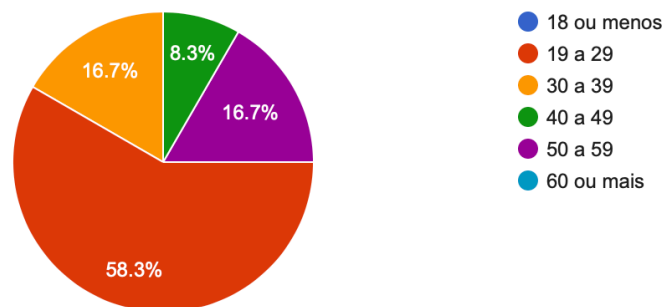


*Figura 54: (A) Anomalia dos consumos. (B) Anomalia detetada no menu. (C) Anomalia detetada nos goals.*

Analisando os resultados e efetuado o cálculo de usabilidade descrito [57], chegou-se o valor de usabilidade de 83,75%. Dessa forma conclui-se a aplicação demonstrou possuir uma boa usabilidade.

No que diz respeito ao teste usabilidade do web site, 66.7% dos elementos eram do sexo masculino e 33.3% do feminino.

Em termos de faixa etária, os utilizadores deste teste tiveram distribuição como ilustrado na Figura 55.



*Figura 55: Faixa etária dos utilizadores do teste de usabilidade do web site.*

Assim como nos testes da aplicação móvel efetuou-se um questionário SUS, que se encontra no Anexo I – Questionário de usabilidade do Website. As respostas obtidas podem ser vistas na Tabela 3.

Tabela 3: Respostas do SUI do web site.

Questões	Utilizadores											
	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º	10º	11º	12º
1. Acho que gostaria de utilizar este produto com frequência.	3	4	3	4	4	4	5	4	4	4	4	3
2. Considerei o produto mais complexo do que necessário.	1	2	2	3	3	2	1	2	2	2	2	1
3. Achei o produto fácil de utilizar.	4	5	4	4	4	4	5	4	3	4	4	4
4. Acho que necessitaria de ajuda de um técnico para conseguir utilizar este produto.	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	1
5. Considerei que as várias funcionalidades deste produto estavam bem integradas.	5	4	4	4	4	4	5	4	4	5	4	4
6. Achei que este produto tinha muitas inconsistências.	2	1	2	3	3	3	2	1	2	2	2	2
7. Suponho que a maioria das pessoas aprenderia a utilizar rapidamente este produto.	4	5	4	4	4	4	5	4	3	5	4	4
8. Considerei o produto muito complicado de utilizar.	1	1	2	2	2	2	1	1	2	1	1	1
9. Senti-me muito confiante a utilizar este produto.	4	5	4	4	4	4	5	4	4	4	4	4
10. Tive que aprender muito antes de conseguir lidar com este produto.	1	1	3	2	2	2	1	1	1	1	2	2

No decorrer dos testes de usabilidade do web site, foram detetadas algumas anomalias tais como:

- Botões do menu sem feedback. Os botões do menu, ao clicar ou ao passar o rato por cima, não têm qualquer feedback como podemos encontrar na Figura 56. Estes botões deveriam mudar de cor quando selecionados.
- O título da funcionalidade do botão “Done/Edit” encontra-se pouco claro como podemos verificar na Figura 57.
- Organização do dashboard por categorias. Os utilizadores propuseram um dashboard com uma organização por tipo de consumo, ou seja, uma zona de eletricidade, uma de água e outra de gás.
- Tal como na aplicação foram detetadas algumas inconsistências nas legendas dos gráficos.
- Os utilizadores revelaram alguma confusão no espaço temporal a que os consumos pertenciam.

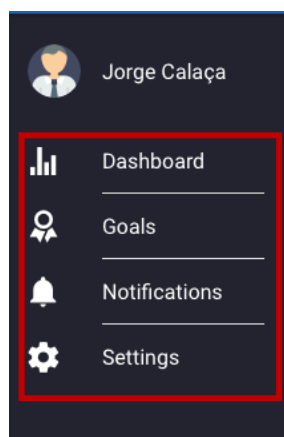


Figura 56: Falta de feedback no menu.

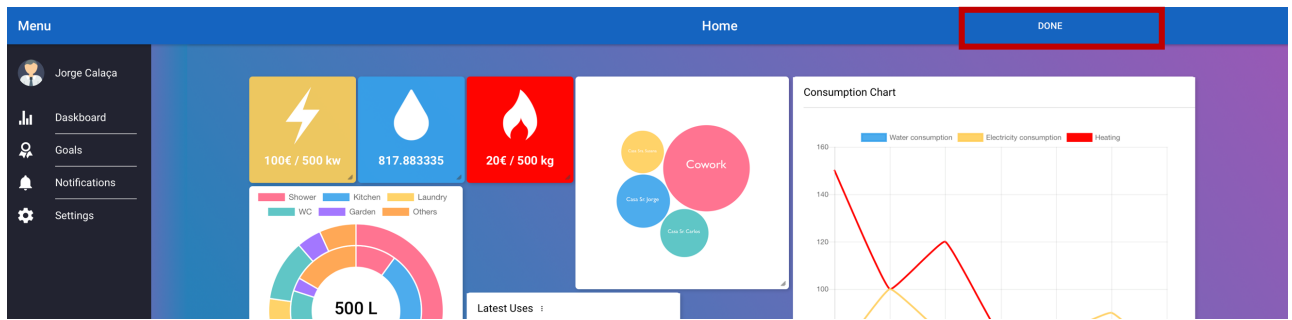


Figura 57: Anomalia no botão "Done/Edit".

Analisando os questionários SUS podemos então concluir que o web site tem uma boa usabilidade visto que obteve uma pontuação de 80,2%.

#### 4.1.2 Teste de usabilidade da skill da Alexa

Estes testes consistiram na execução de um conjunto de tarefas através da voz por um conjunto de 10 participantes. De modo a deixar os utilizadores familiarizados com a tecnologia, no princípio de cada sessão de testes, foi dada uma pequena explicação de como funciona a Alexa. Os utilizadores aprenderam como ligar e desligar luzes, como alterar o brilho e a cor de uma lâmpada.

No primeiro teste os utilizadores tiveram de, pedir a preparação de um duche. A chamada para essa execução era: "Alexa, tell smartlywater to prepare my shower".

O segundo teste consistiu em perguntar pelo consumo da casa. A execução da tarefa era feita através de: "Alexa, ask smartlywater what's my consumption".

No terceiro teste o utilizador pediu uma dica. A forma correta de executar esta tarefa é pedir: "Alexa, tell smartlyWater give me a tip"

À semelhança do teste de usabilidade da aplicação e website, foi utilizado um questionário SUS com a mesma escala.

Neste teste 70% dos utilizadores era do género masculino. A faixa etária deste teste teve a distribuição ilustrada na Figura 58.

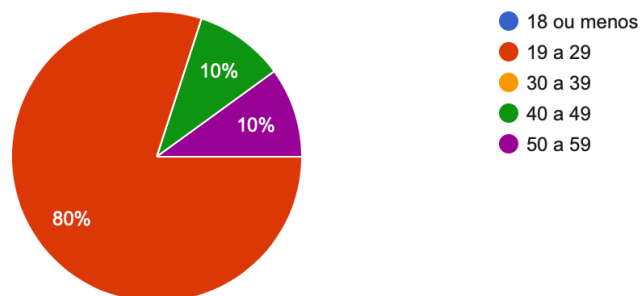


Figura 58: Faixa etária dos utilizadores do teste de usabilidade da Skill da Alexa.

A maioria dos utilizadores deste teste estava familiarizada com os assistentes virtuais, sendo o Ok Google e a Siri os mais conhecidos. Na Figura 59 é possível verificar o gráfico com os assistentes utilizados pelos utilizadores.

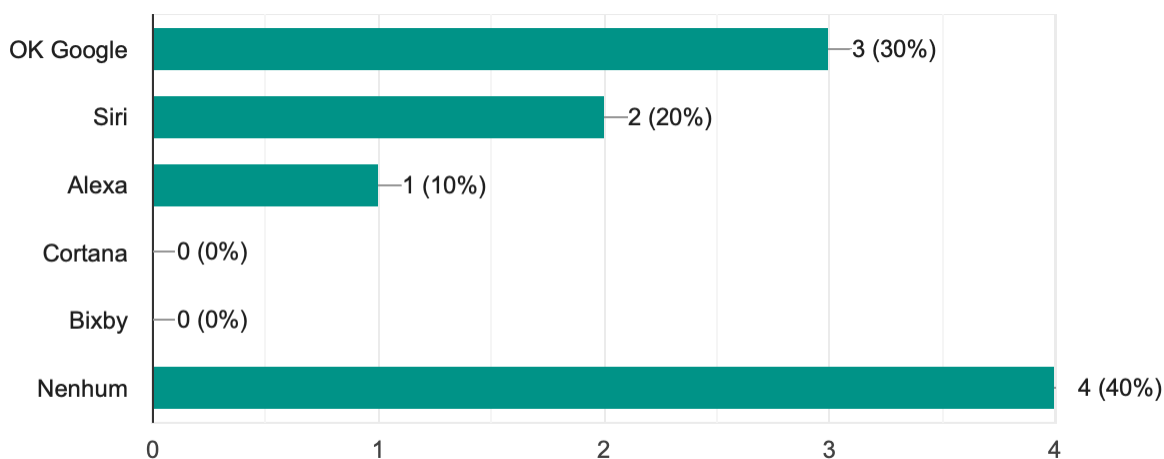


Figura 59: Gráfico dos assistentes utilizados pelos utilizadores.

Do mesmo modo que nos testes da aplicação e do web site, efetuou-se um questionário SUS, que se encontra no Anexo J – Questionário da Skill da Alexa, cujas respostas dadas figuram na Tabela 4.

Tabela 4: Respostas do SUS da Skill Alexa.

Questões	Utilizadores									
	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º	10º
1. Acho que gostaria de utilizar este produto com frequência.	4	4	3	4	4	3	4	4	4	3
2. Considerei o produto mais complexo do que necessário.	2	3	2	2	3	2	3	3	2	2
3. Achei o produto fácil de utilizar.	5	3	4	4	3	4	4	4	3	4
4. Acho que necessitaria de ajuda de um técnico para conseguir utilizar este produto.	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2
5. Considerei que as várias funcionalidades deste produto estavam bem integradas.	5	4	4	4	4	3	4	4	4	3
6. Achei que este produto tinha muitas inconsistências.	2	1	2	1	1	3	3	3	2	2
7. Suponho que a maioria das pessoas aprenderia a utilizar rapidamente este produto.	5	4	4	5	3	3	4	4	4	5
8. Considerei o produto muito complicado de utilizar.	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1
9. Senti-me muito confiante a utilizar este produto.	4	4	4	4	4	2	4	4	4	4
10. Tive que aprender muito antes de conseguir lidar com este produto.	2	2	2	1	3	2	2	2	3	2

No decorrer dos testes foram detetadas algumas possíveis melhorias na Skill, entre as quais estão:

- Após o pedido “Alexa, tell smartlyWater to prepare my shower”, a *Alexa* deveria perguntar se o utilizador pretende um “speedy shower”, “relaxing shower”, uma das opções guardadas pelo utilizador ou um “special shower”. No duche especial poderia escolher a temperatura, tempo e se pretende guardar. É de notar que nos testes o utilizador ao dizer “Alexa, tell smartlyWater to prepare my shower” era encaminhado para o “special shower”.
- No pedido de preparação de um duche existe unicamente a possibilidade de dizer a duração do duche em minutos e houve utilizadores que pediram 1h.
- No geral, os utilizadores chegaram ao objetivo sem auxílio, mesmo assim em alguns casos utilizaram frases semelhantes tais como:
  - “Can you prepare me a shower”
  - “Can you get shower ready”

- “Daily consumption”
- “Month consumption”
- “Weekly consumption”
- “Give me a suggestion”
- “Water usage”

Após a análise dos resultados do SUS, chegou-se à pontuação de 74,3% para a usabilidade da skill da Alexa. Este resultado permite afirmar que a skill tem uma boa usabilidade.

Neste tipo de sistemas ainda existem algumas barreiras, nomeadamente o idioma. Neste teste verificou-se essa barreira levando à falta de compreensão por parte do assistente. Foi verificado ainda um conjunto de formas distintas de requerer algo que a Alexa não tem definido. Em alguns casos, os utilizadores repetem a palavra Alexa no fim do pedido ou pedem “por favor”, o que invalida a compreensão por parte do assistente.

Foi notado um interesse por parte dos utilizadores em aprender a utilizar este tipo de tecnologia.

## 4.2 Teste de consumo utilizando a Alexa

De modo a averiguar o consumo dos utilizadores na execução das tarefas, através do apoio da Alexa, desenvolveu-se um conjunto de testes que consistiram na tarefa da lavagem dos dentes. Esta tarefa foi realizada por dois utilizadores, um do 1º caso de estudo e um do 2º caso de estudo.

O auxílio na tarefa de lavar os dentes consiste na abertura da torneira durante 3 segundos no início da lavagem, de forma a que o utilizador possa molhar a pasta de dentes. Após 1 minuto, a Alexa notifica o utilizador de que já se passou esse tempo. Por fim, após 2 minutos a Alexa pergunta ao utilizador se este pretende abrir a torneira. Caso o utilizador responda que sim, a torneira é aberta durante 10 segundos e após esse mesmo tempo, o utilizador é novamente questionado pelo fecho da torneira, e a Alexa fecha ou não a torneira consoante a resposta do utilizador. Se, por outro lado, após os 2 minutos da lavagem dos dentes, o utilizador não pretenda abrir a torneira aquando questionado, passam 10 segundos até a próxima pergunta da Alexa acerca do estado da torneira.

A execução da tarefa pelo 1º utilizador traduz-se nos gráficos da Figura 60 e Figura 61, em que o eixo do Y representa o fluxo da água e o do X o tempo. É possível notar que existem duas fases, a 1ª em que se molha a escova com a pasta de dentes e a 2ª que representa o tempo do enxaguar da boca. Entre estas fases existe um intervalo de aproximadamente 2min em que o utilizador escova os dentes. Este utilizador teve um consumo de 0,63L na 1ª série, 0,71L na 2ª série e 0,57L na 3ª série.

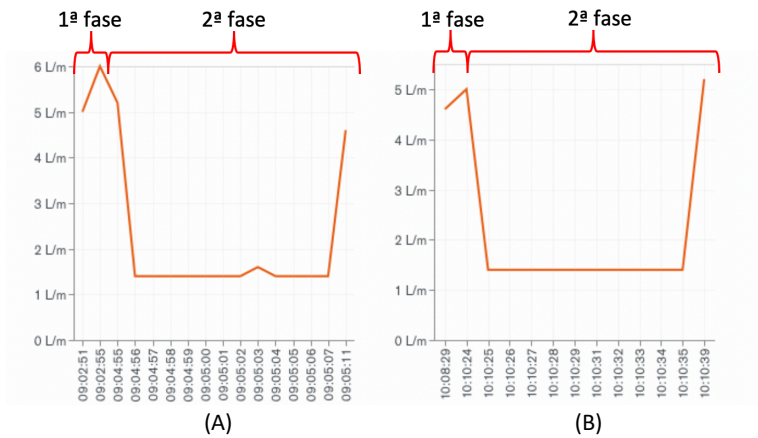


Figura 60: (A) 1ª e (B) 2ª série do 1º utilizador no teste de consumo utilizando a Alexa.

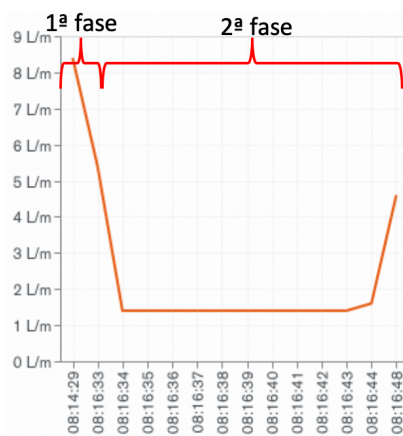


Figura 61: 3ª série do 1º utilizador no teste de consumo utilizando a Alexa.

No 2º utilizador voltou-se a detetar o padrão de duas fases, como se pode verificar na Figura 69 e na Figura 63. Este utilizador teve um consumo de 0,62L na 1ª série, 0,58L na 2ª série e 0,57L na 3ª série.

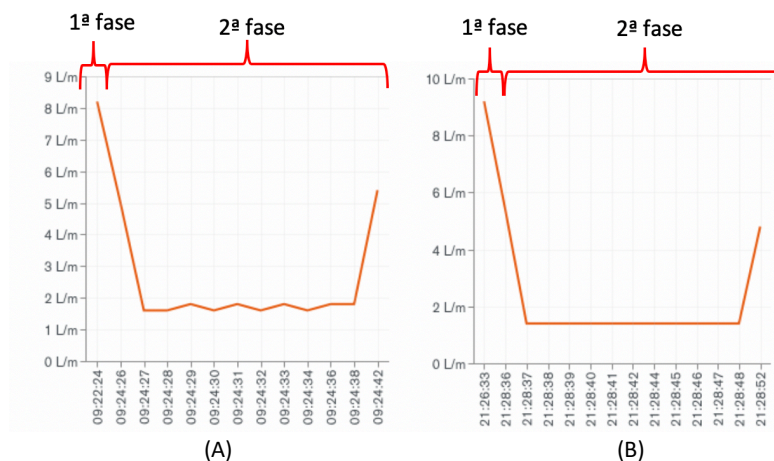


Figura 62: (A) 1ª e (B) 2ª série do 2º utilizador no teste de consumo utilizando a Alexa.

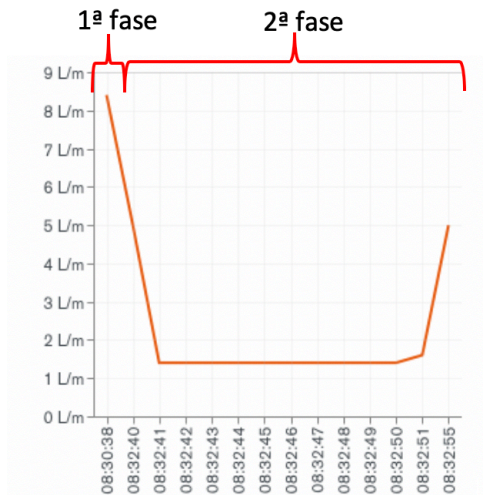


Figura 63: 3ª série do 2º utilizador no teste de consumo utilizando a Alexa.

Em suma, nestes testes foram detetadas algumas dificuldades na utilização desta rotina, pois em alguns casos os utilizadores sentiram dificuldade em enxaguar a boca em 10 segundos e sentiram que 2 minutos eram demasiado tempo para escovar os dentes.

### 4.3 Detecção de anomalias

Este teste tem como objetivo avaliar a capacidade de deteção de fugas. Dado esse objetivo, criou-se um circuito de água para o teste com a estrutura ilustrada na Figura 64. Esse circuito é composto por um atuador, um sensor de fluxo, um sensor de pressão e uma fuga. O resultado desta implementação pode ser encontrado na Figura 65.

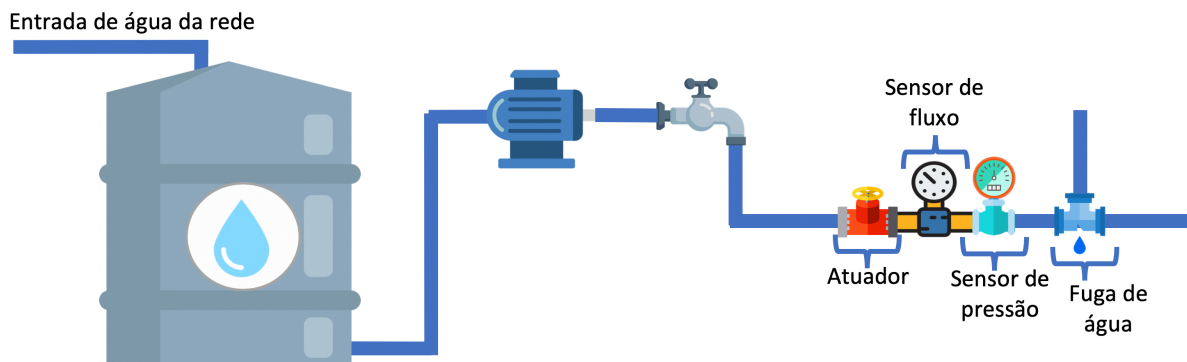


Figura 64: Estrutura da rede de águas no teste de anomalias.



Figura 65: Circuito de teste de fugas.

Foram testados diversos tipos de fugas/anomalias, tais como, uma torneira aberta, uma torneira com baixo fluxo, uma torneira a gotejar, uma fuga no ligador e uma fuga provocada por um prego num dos tubos. Foi testada ainda a mesma rede sem fugas, de modo a utilizar como base de comparação.

Para cada fuga/anomalia foram recolhidas três séries de dados. Em cada série foram recolhidos os dados 20s antes da fuga, 260s durante a fuga e 20s após a eliminação da fuga. No total, cada teste representa um intervalo de 5min.

Segue-se os resultados dos testes realizados.

#### 4.3.1 Teste da rede sem fugas

O primeiro teste passou pela recolha da pressão da rede de águas quando não existem fugas. Este foi executado em três séries e os resultados destas séries encontram-se na Figura 66. Nesta figura podemos analisar o gráfico das séries realizadas em que, no eixo do Y, encontra-se a pressão e no eixo do X, temos representado o tempo em segundos. A linha azul representa a 1ª série, a laranja a 2ª série e a cinza a 3ª série. Analisando os gráficos, verifica-se alguma variação entre as leituras derivado à falta de precisão do sensor o que não se verificou no estudo [47].

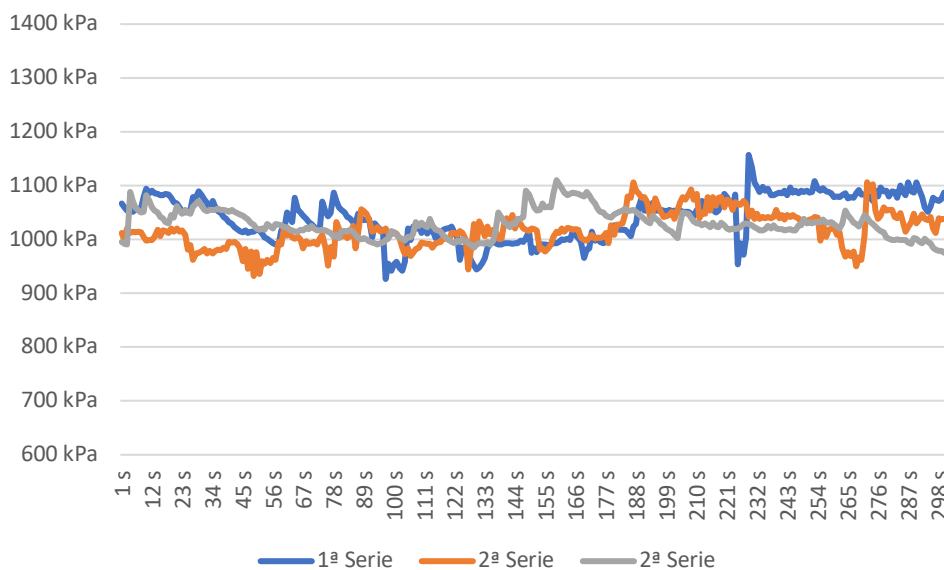


Figura 66: Gráfico do teste da pressão da rede sem fuga.

Na Tabela 5 podemos verificar os resultados de cada série. Constatou-se que o desvio padrão aumentou entre cada série. No que toca à média foram obtidas médias muito próximas entre as séries. Os valores mínimos e máximos da pressão não sofreram alterações significativas.

Tabela 5: Resultados do teste da pressão da rede sem fuga.

	1ª Serie	2ª Serie	3ª Serie
<b>Média</b>	1040,14 kPa	1018,23 kPa	1028,26 kPa
<b>Desvio padrão</b>	42,15 kPa	33,27 kPa	26,16 kPa
<b>Min</b>	926,56 kPa	932,1 kPa	971,16 kPa
<b>Max</b>	1157,03 kPa	1106,25 kPa	1110,16 kPa

### 4.3.2 Teste da abertura da torneira

No segundo teste avaliou-se a pressão e o fluxo **na abertura de uma torneira**. Na Figura 67 é possível verificar um exemplo do teste realizado.

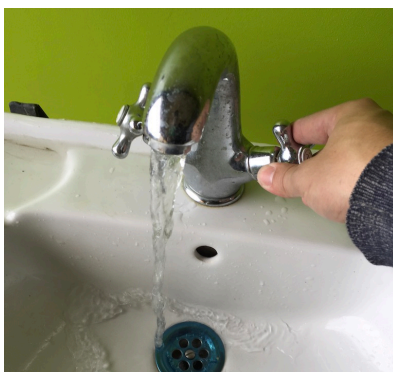


Figura 67: Exemplo do teste de abertura de torneira.

Na Figura 68, Figura 70 e Figura 72, encontram-se representados os gráficos da pressão e fluxo da água de cada série na abertura e no fecho da torneira. Foram sobrepostos os gráficos de pressão e fluxo, em que as medições do fluxo estão representadas pela cor azul, e as de pressão pela cor laranja. O eixo do Y do lado direito representa a velocidade da água em litros por segundo (l/s) e o Y do lado esquerdo a pressão em kPa. O eixo do X representa o tempo em segundos.

A Figura 68 representa o gráfico da pressão e do fluxo da água na 1ª série. Após a análise do gráfico, é possível verificar a abertura da torneira entre 12s/23s visto que existiu um aumento súbito do fluxo de água e uma perda de pressão. O fecho da torneira ocorreu por volta dos 276s, sendo possível observar uma diminuição súbita do fluxo e aumento da pressão. Verifica-se que o fluxo não teve grandes alterações ao longo do tempo, as únicas grandes alterações verificaram-se na abertura e no fecho da torneira. No que toca à pressão, esta teve uma maior oscilação entre leituras comparativamente ao fluxo, mesmo assim verifica-se claramente a perda de pressão quando a torneira foi aberta e o aumento quando a torneira foi fechada.

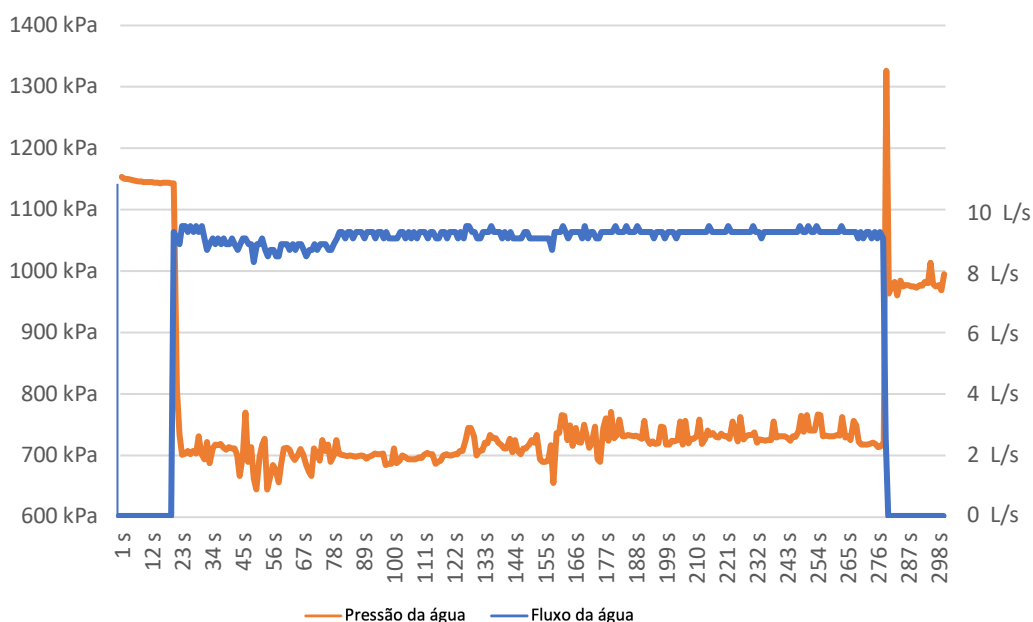


Figura 68: 1ª série – Gráfico do teste da pressão e fluxo na abertura de uma torneira.

No gráfico da Figura 69 é possível ver a vermelho as leituras da pressão da 1ª série na abertura de uma torneira, as restantes linhas representam as leituras obtidas na rede sem fugas. Ao observar o padrão das linhas é clara a existência de alguma anomalia na curva da torneira comparativamente as da rede sem fugas.

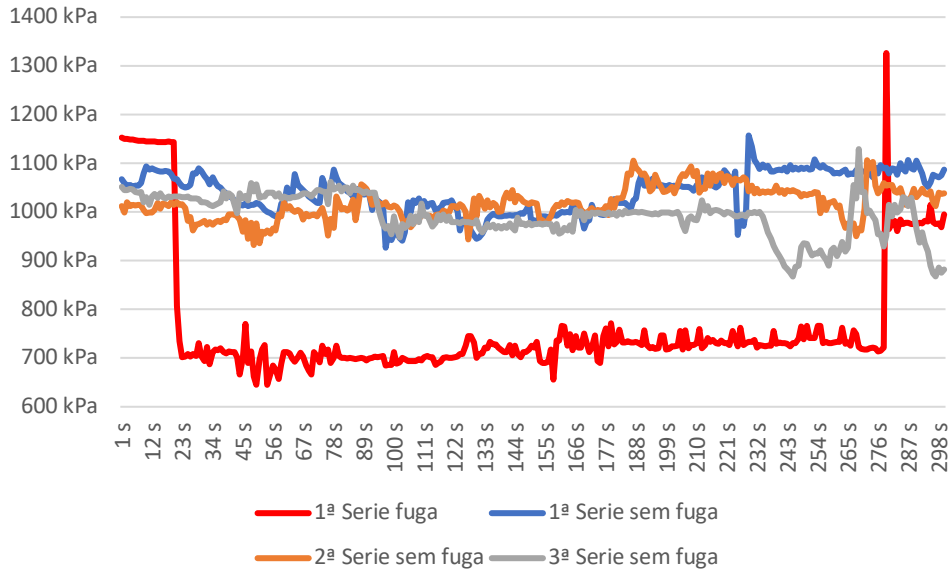


Figura 69: 1ª Série - Gráfico da pressão da abertura de uma torneira e pressão sem fuga.

A 2ª Série obteve como resultados os dados apresentados no gráfico da Figura 70 em que é possível analisar, tal como na 1ª Série, a abertura da torneira entre os 12s e 23s e o seu fecho por volta dos 276s. Novamente, verifica-se uma maior oscilação nas leituras da pressão comparativamente ao fluxo da água.

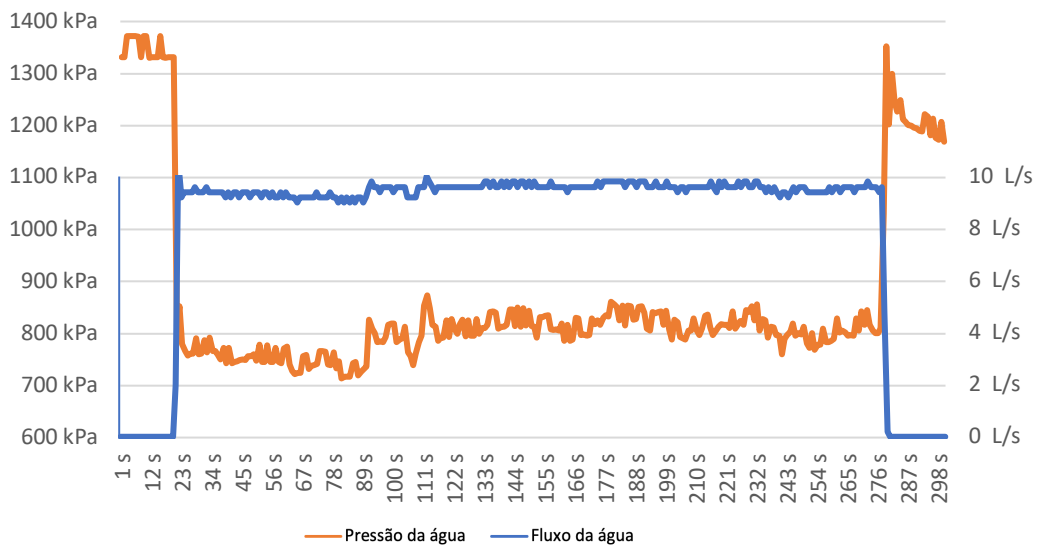


Figura 70: 2ª série – Gráfico do teste da pressão e fluxo na abertura de uma torneira.

No gráfico representado na Figura 71 é possível encontrar os dados da pressão aquando da abertura e do fecho da torneira na linha a vermelho, e a rede sem fuga nas restantes linhas. Com a análise deste gráfico, é possível aferir que a linha vermelha está fora do padrão da pressão sem fuga.

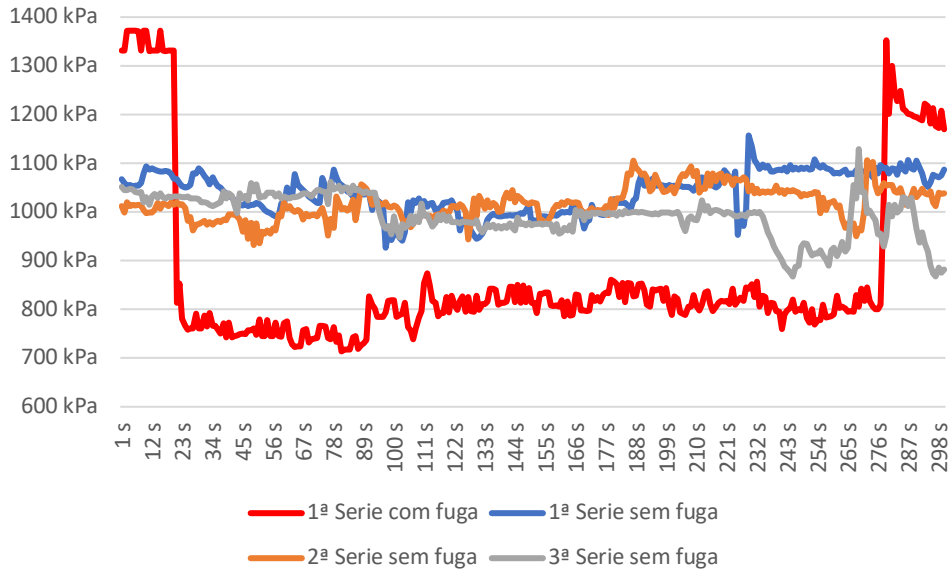


Figura 71: 2ª Série - Gráfico da pressão da abertura de uma torneira e pressão sem fuga.

O gráfico da Figura 72 é o resultado da 3ª série em que se auferiu um resultado de fluxo de água semelhante à 1ª e 2ª séries. Relativamente à pressão, esta revelou-se novamente inconstante tal como nas séries anteriores.

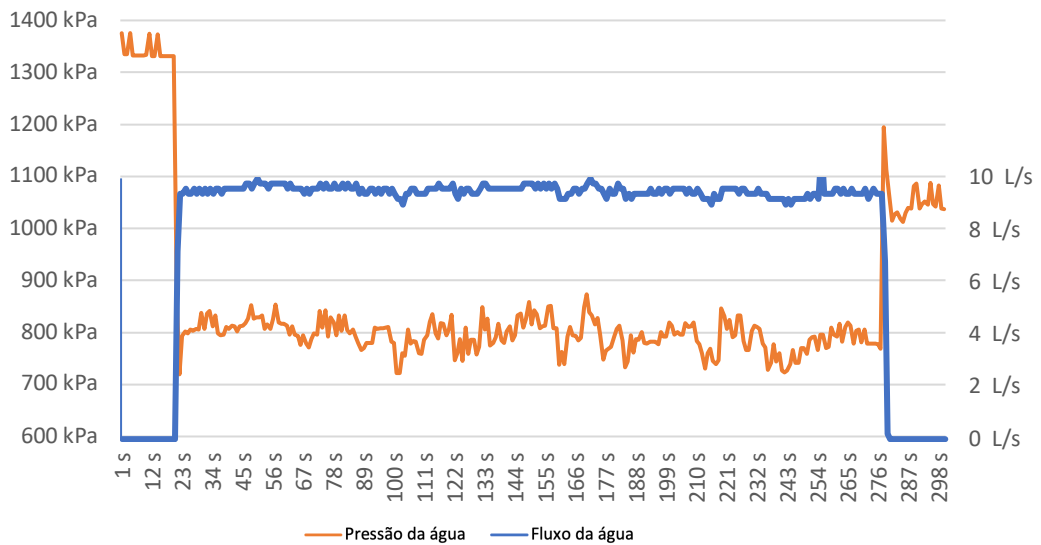


Figura 72: 3ª série – Gráfico do teste da pressão e fluxo na abertura de uma torneira.

O gráfico da Figura 73, tal como nas séries anteriores, utiliza a linha vermelha para representar a pressão quando uma torneira é aberta ou fechada. Novamente, conseguimos verificar uma alteração no padrão da pressão aquando da abertura e do fecho da torneira.

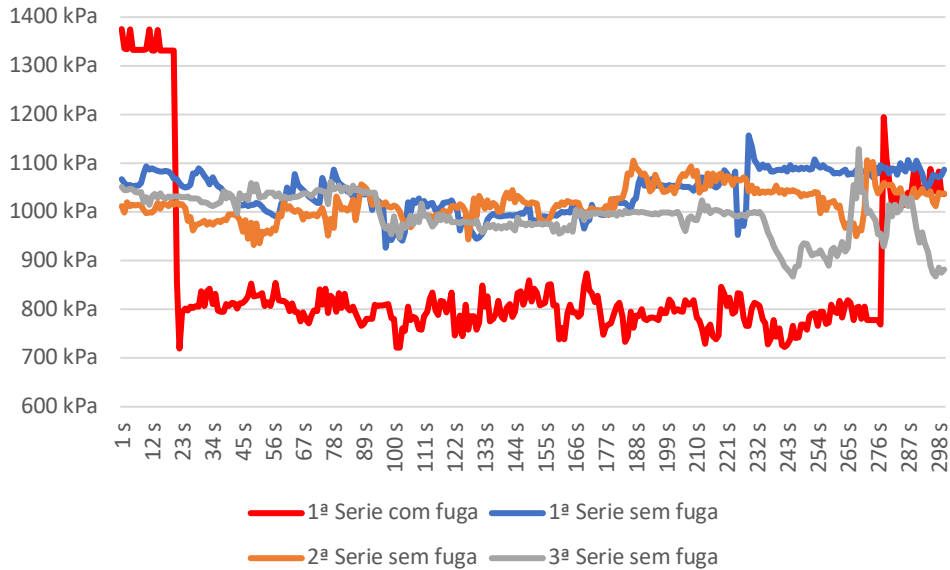


Figura 73: 3ª Série - Gráfico da pressão da abertura de uma torneira e pressão sem fuga.

Na Tabela 6 podemos encontrar uma consolidação dos resultados obtidos nas séries com a abertura da torneira e na rede sem fuga. Analisando a tabela, verifica-se que a média da pressão na abertura da torneira é inferior à de uma rede sem fuga. O desvio padrão refletiu um valor muito mais acentuado face à rede sem fuga. Em relação ao valor mínimo, este mostrou-se inferior nas três séries aquando comparado com a rede sem anomalias. Já em relação ao máximo, não se pode estabelecer qualquer padrão porque, numas vezes, foi superior na rede com fuga, mas na 3ª série já obteve um valor aproximado a uma rede sem fuga.

Tabela 6: Resultados do teste da pressão na abertura de uma torneira e pressão sem fuga.

	Sem fuga			Abertura da torneira					
	1ª Série	2ª Série	3ª Série	1ª Série		2ª Série		3ª Série	
	Pressão	Pressão	Pressão	Fluxo	Pressão	Fluxo	Pressão	Fluxo	Pressão
Média	1040,14 kPa	1018,23 kPa	1028,26 kPa	7,99 L/m	766,76 kPa	8,15 L/m	865,02 kPa	8,17 L/m	851,22 kPa
Desvio padrão	42,15 kPa	33,27 kPa	26,16 kPa	3,22 L/m	127,88 kPa	3,34 L/m	172,73 kPa	3,31 L/m	151,11 kPa
Min	926,56 kPa	932,10 kPa	971,16 kPa	0,00 L/m	644,99 kPa	0,00 L/m	713,67 kPa	0,00 L/m	719,53 kPa
Max	1157,03 kPa	1106,25 kPa	1110,16 kPa	9,60 L/m	1326,30 kPa	10,60 L/m	1371,88 kPa	0,00 L/m	1157,03 kPa

### 4.3.3 Teste da abertura de uma torneira com baixo fluxo

Nos testes da abertura da torneira de baixo fluxo, não foram detetadas quaisquer alterações no sensor de fluxo, ou seja, manteve o fluxo a zero. Na Figura 74 é possível verificar um exemplo deste tipo de teste.



Figura 74: Exemplo da torneira com baixo fluxo.

Analisando a Figura 75, é possível verificar que, por volta dos 34s, houve uma redução da pressão que representa a abertura da torneira com baixo fluxo. Houve um aumento da pressão por volta dos 140s sem alguma razão aparente, voltando a diminuir nos 243s. Por fim, por volta dos 256s nota-se a estabilização da pressão devido ao fecho da torneira.

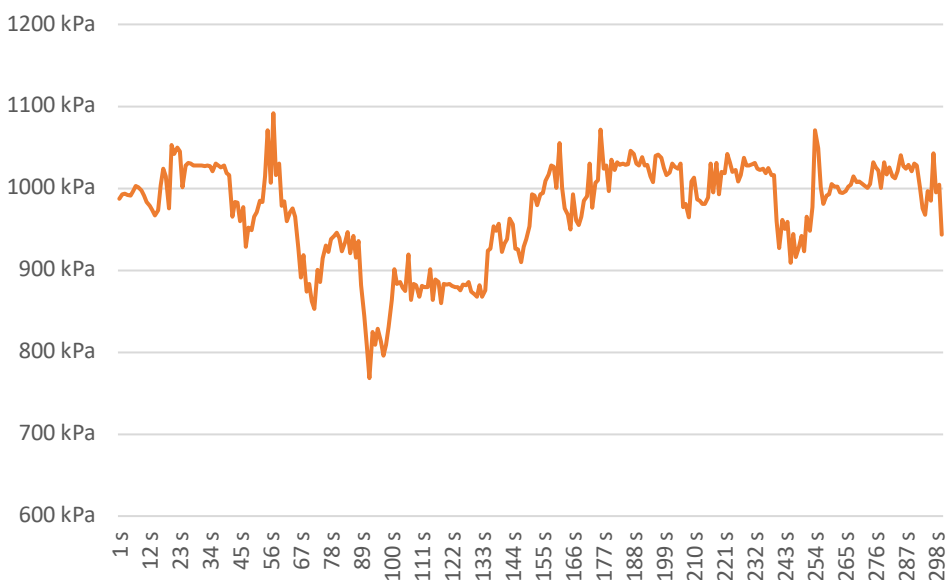


Figura 75: 1ª série do teste da pressão e fluxo da rede com a torneira com baixa pressão.

Na Figura 76 verifica-se o gráfico comparativo entre a pressão sem fuga e a pressão com a abertura da **torneira** com baixa pressão na 1ª série. A linha vermelha representa a alteração da pressão com a abertura e fecho da torneira, e as restantes linhas representam a pressão sem fugas. Observando o gráfico é possível verificar que, por volta dos 56s, a linha vermelha oscila de forma diferente comparativamente à restantes linhas, o que leva à possibilidade da existência de uma anomalia ou fuga.

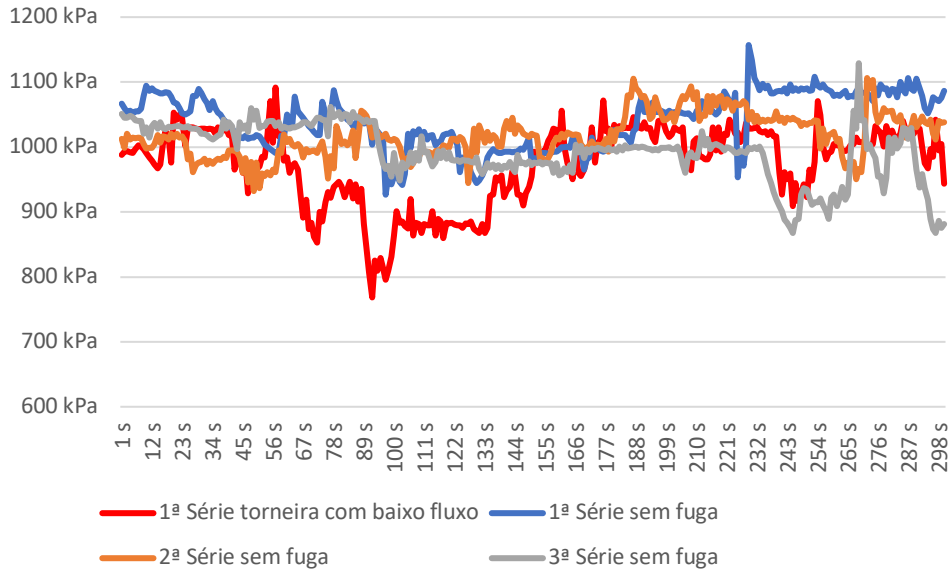


Figura 76: 1ª Série - Gráfico do teste da pressão da abertura de uma torneira com baixo fluxo e pressão sem fuga.

Na 2ª série, Figura 77, podemos verificar o padrão de abertura de uma torneira com baixo fluxo. Analisando o gráfico, tal como na 1ª série, constata-se uma diminuição de pressão por volta dos 34s. Apurou-se também uma estabilização da pressão por volta dos 265s que representa o fecho da torneira.

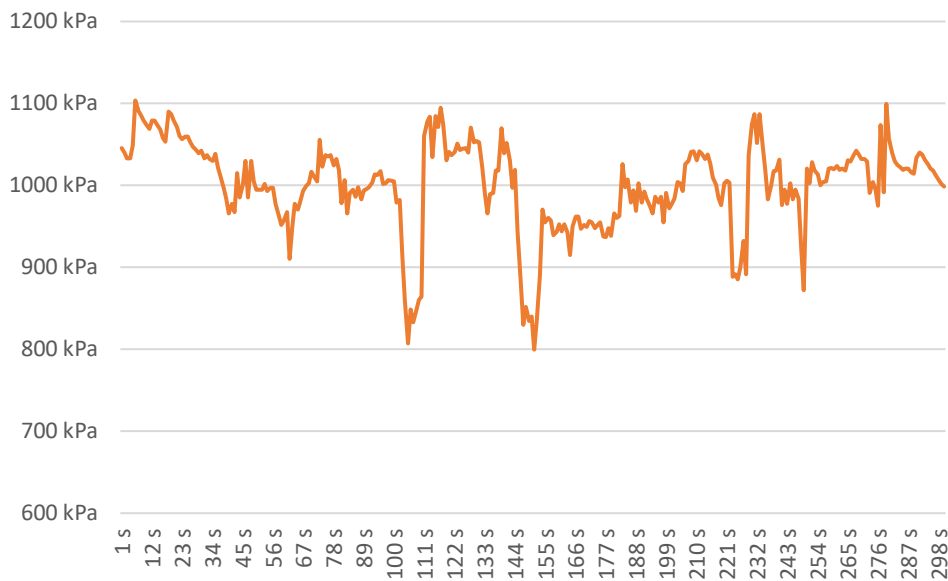


Figura 77: 2ª Série - Gráfico do teste da pressão da abertura de uma torneira com baixo fluxo.

Analisando o gráfico da Figura 78, verifica-se que a linha vermelha, isto é, a linha que representa a abertura e fecho da torneira, obteve um padrão com alguma distinção em relação às restantes linhas, o que nos sugere uma ocorrência de uma anomalia ou fuga.

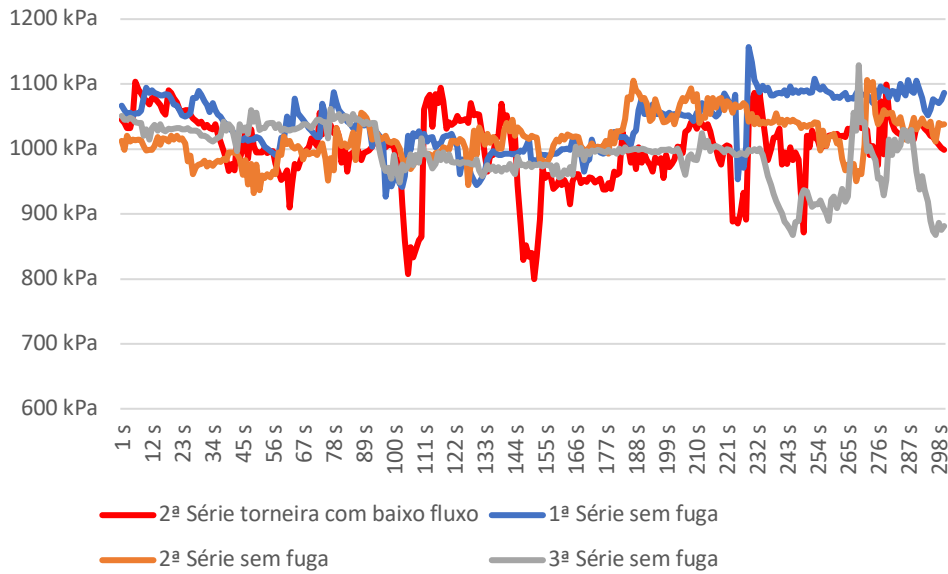


Figura 78: 2ª Série - Gráfico do teste da pressão da abertura de uma torneira com baixo fluxo e pressão sem fuga.

Na Figura 79 é possível encontrar o gráfico da 3ª Série do teste da abertura de uma torneira com baixa pressão. Neste gráfico verifica-se um padrão semelhante ao encontrado na 1ª e 2ª Série, começando e acabando com uma pressão à volta dos 1050kPa. É possível verificar que ao longo do teste houve uma diminuição da pressão e depois um aumento, isto deve-se à abertura e ao fecho da torneira.

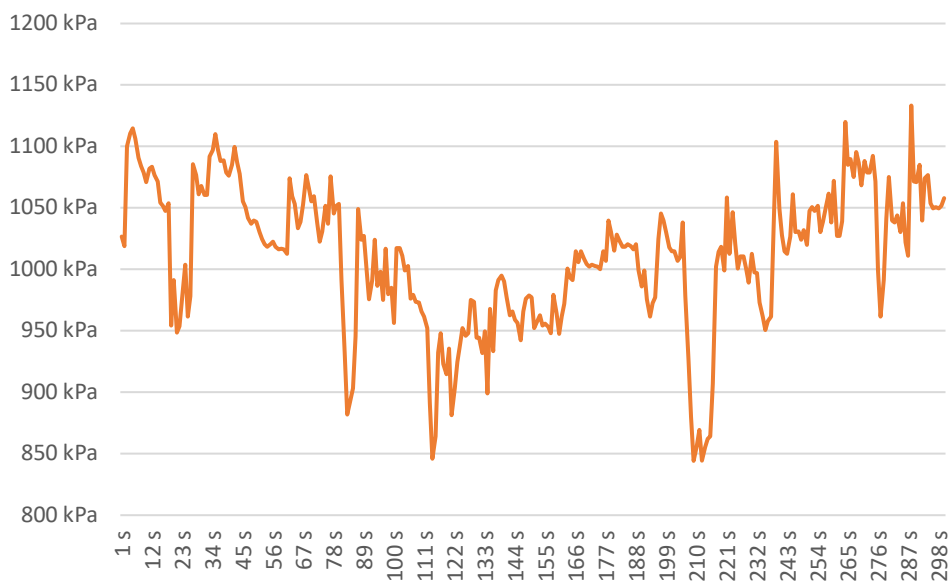


Figura 79: 3ª Série - Gráfico do teste da pressão da abertura de uma torneira com baixo fluxo.

O gráfico da Figura 80 utiliza uma linha vermelha para a representação da pressão obtida na 3ª Série, neste é possível verificar que maioritariamente esteve a baixo das outras linhas, o que indica alguma anomalia na rede, neste caso uma torneira aberta.

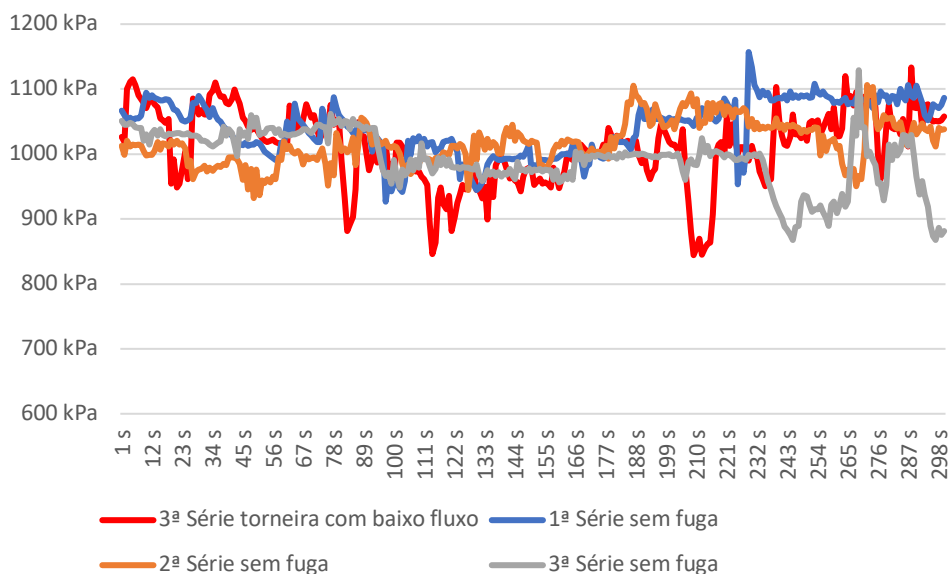


Figura 80:3ª Série - Gráfico do teste da pressão da abertura de uma torneira com baixo fluxo e pressão sem fuga.

Analisando os resultados das várias séries da abertura da torneira com baixo fluxo e da rede sem fugas, chegou-se à Tabela 7. Nesta é possível ver que a média nas séries da abertura da torneira é ligeiramente abaixo das séries sem fuga. Obteve-se um desvio padrão mais alto na abertura da torneira do que na rede sem fugas. No que toca ao mínimo, é possível verificar que as séries da abertura da torneira com baixo fluxo obtiveram um valor menor comparativamente as da rede sem fugas. Quanto ao máximo não foi possível estabelecer qualquer padrão.

Tabela 7: Resultados do teste da pressão na abertura de uma torneira com baixo fluxo e pressão sem fuga.

	Sem fuga			Abertura da troneira com baixo fluxo		
	1ª Série	2ª Série	3ª Série	1ª Série	2ª Série	3ª Série
	Pressão	Pressão	Pressão	Pressão	Pressão	Pressão
<b>Média</b>	1040,14 kPa	1018,23 kPa	1028,26 kPa	972,64 kPa	1000,14 kPa	1010,51 kPa
<b>Desvio padrão</b>	42,15 kPa	33,27 kPa	26,16 kPa	60,76 kPa	54,85 kPa	56,66 kPa
<b>Min</b>	926,56 kPa	932,10 kPa	971,16 kPa	768,36 kPa	799,61 kPa	844,21 kPa
<b>Max</b>	1157,03 kPa	1106,25 kPa	1110,16 kPa	1091,60 kPa	1103,65 kPa	1133,27 kPa

#### 4.3.4 Teste fuga no ligador

Neste teste realizaram-se três séries em que unicamente se conseguiu observar alterações na pressão. O fluxo manteve-se a zero. Um exemplo da execução deste teste poderá ser encontrado na Figura 81.



Figura 81: Exemplo do teste da fuga no ligador.

Na Figura 82 é possível observar o gráfico do padrão da pressão da 1ª série da fuga no ligador, em que o ligador é uma peça que interliga os tubos. Este gráfico permite visualizar zonas onde subitamente houve uma perda de pressão.

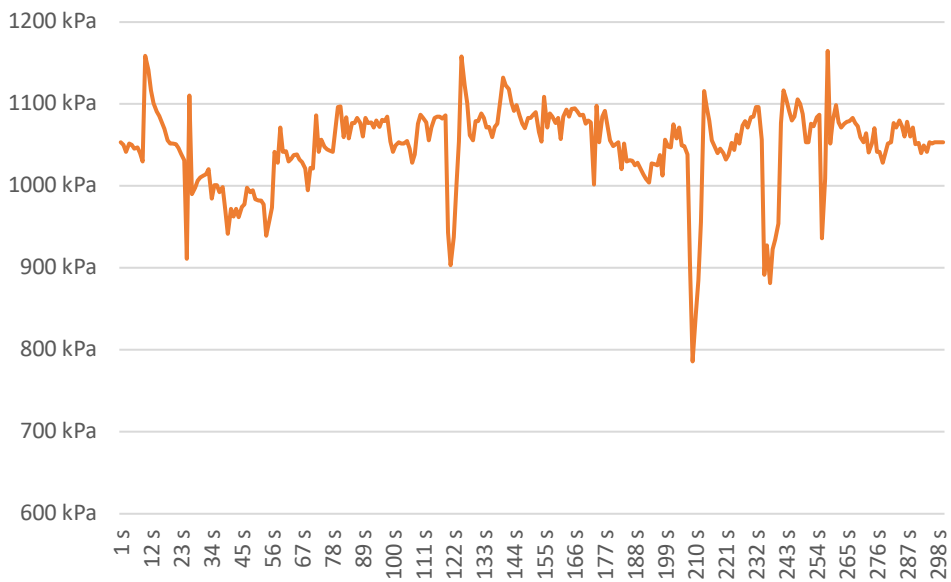


Figura 82: 1ª Série - Gráfico do teste da pressão na fuga no ligador.

Avaliando o gráfico representado na Figura 83, podemos verificar algumas perdas de pressão súbitas face ao padrão representado nas restantes linhas, o que possivelmente é um indicador de uma fuga.

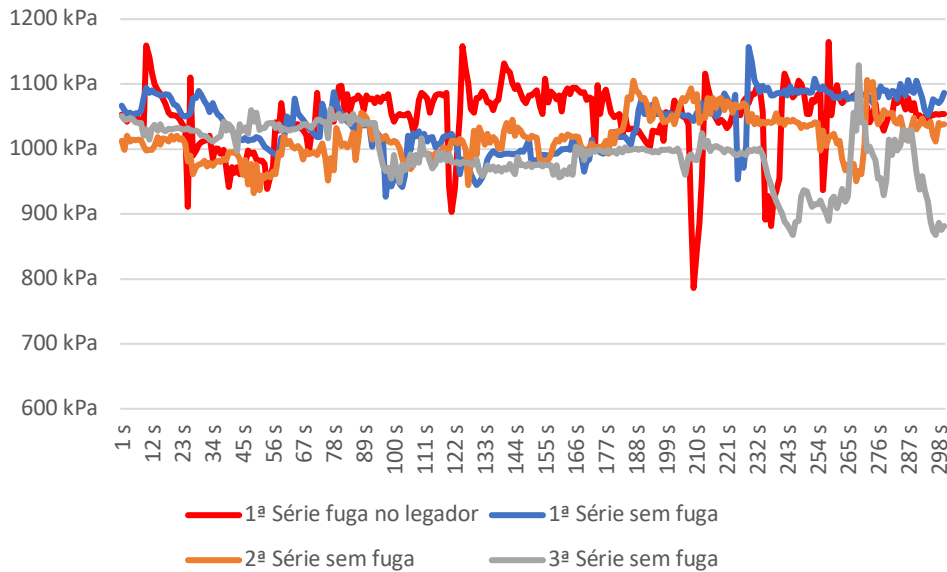


Figura 83: 1ª Série - Gráfico do teste da pressão na fuga no ligador e sem fuga.

Na 2ª série obteve-se o gráfico da Figura 84 onde é possível verificar a perda de pressão e depois o seu aumento. Este padrão reflete a ocorrência da fuga e a sua solução. Comparando esta série com a 1ª série, constata-se que não manifestam o mesmo padrão, o que poderá estar relacionado com a dificuldade de providenciar exatamente a mesma fuga.

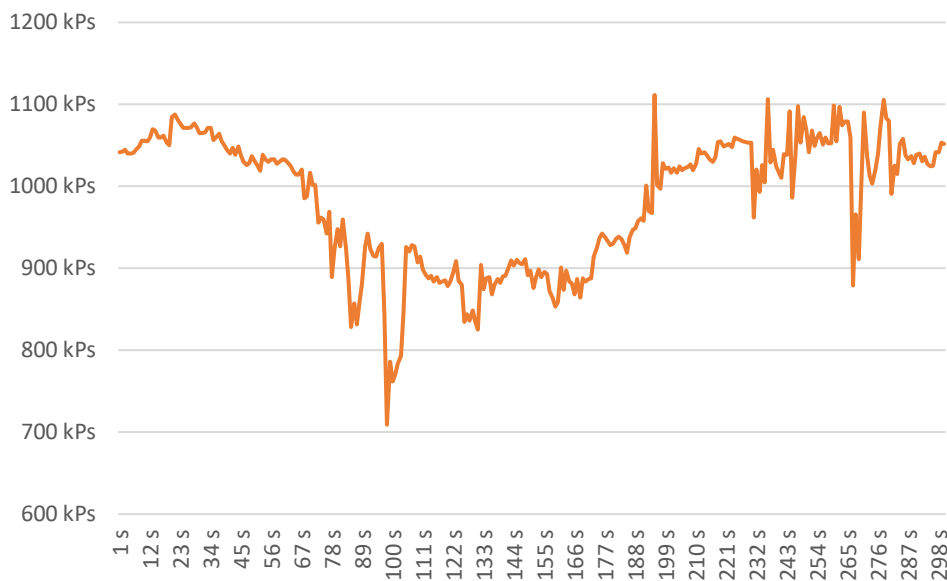


Figura 84: 2ª Série - Gráfico do teste da pressão na fuga no ligador.

Comparando o padrão da fuga no ligador da 2ª série é clara a distinção entre o padrão desta fuga comparado ao da rede sem fugas. Essa distinção poderá ser encontrada no gráfico da Figura 85, em que a linha vermelha representa a pressão do teste da fuga do ligador.

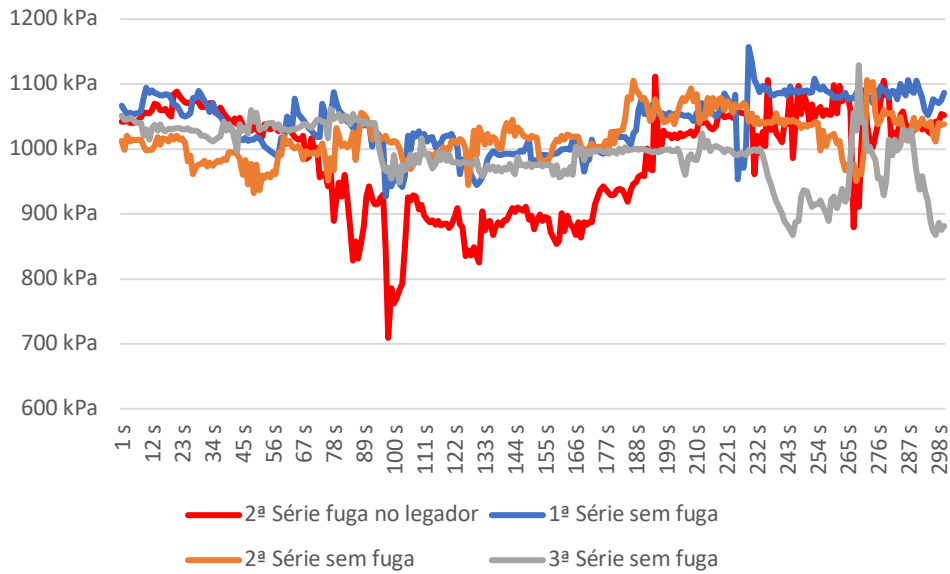


Figura 85: 2ª Série - Gráfico do teste da pressão na fuga no ligador e sem fuga.

No que toca à 3ª série podemos visualizar o seu gráfico na Figura 86, em que se verifica uma perda de pressão ligeira por volta dos 23s e um ganho por volta dos 232s. Este aumento reflete a ocorrência da fuga e a sua solução.

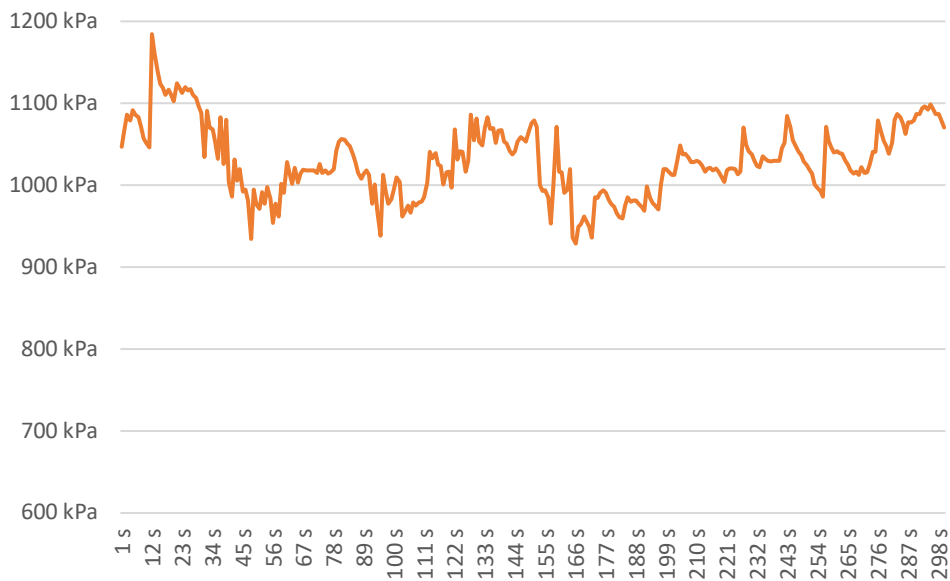


Figura 86: 3ª Série - Gráfico do teste da pressão na fuga no ligador.

Analisando a pressão desta fuga e comparando com a pressão da rede sem fuga, não se consegue aferir uma distinção entre padrões. Esta comparação pode ser encontrada no gráfico da Figura 87, em que a linha vermelha representa as variações de pressão na fuga e as restantes linhas a pressão da rede sem fuga.

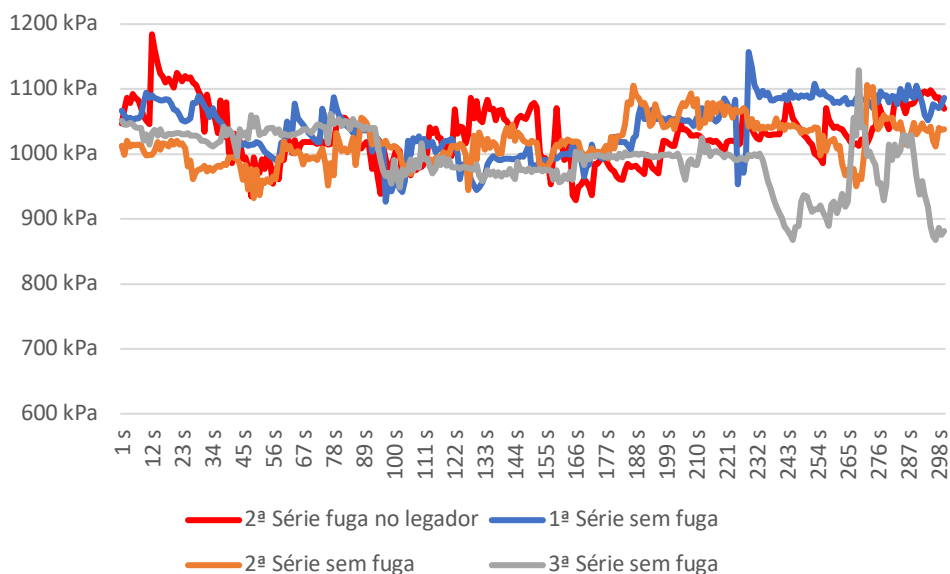


Figura 87: 3ª Série - Gráfico do teste da pressão na fuga no ligador e sem fuga.

Na Tabela 8 é possível encontrar a análise efetuada às séries da fuga no ligador e à rede sem fugas. No que toca à média, não é possível detetar qualquer padrão. Relativamente ao desvio padrão, verificou-se um desvio padrão mais alto comparativamente à rede sem fugas, tal como nas outras fugas. Os valores mínimos na fuga na 1ª e 2ª séries foram ligeiramente inferiores aos da rede sem fugas, o mesmo não se verificou na 3ª série da fuga. Os valores máximos das séries não revelaram qualquer padrão ou relação entre os mesmos. Desta forma, o único indicador da fuga manifestou-se no desvio padrão.

Tabela 8: Resultados do teste da fuga no ligador e pressão sem fuga.

	Sem fuga			Fuga no ligador		
	1ª Série	2ª Série	3ª Série	1ª Série	2ª Série	3ª Série
	Pressão	Pressão	Pressão	Pressão	Pressão	Pressão
<b>Média</b>	1040,14 kPa	1018,23 kPa	1028,26 kPa	1048,82 kPa	982,14 kPa	1029,74 kPa
<b>Desvio padrão</b>	42,15 kPa	33,27 kPa	26,16 kPa	49,96 kPa	80,77 kPa	43,39 kPa
<b>Min</b>	926,56 kPa	932,10 kPa	971,16 kPa	785,94 kPa	709,11 kPa	928,84 kPa
<b>Max</b>	1157,03 kPa	1106,25 kPa	1110,16 kPa	1164,84 kPa	1111,46 kPa	1184,38 kPa

#### 4.3.5 Teste fuga de um prego

Neste teste realizou-se três séries de recolha de dados e em nenhuma série revelou-se qualquer alteração no fluxo da rede, ou seja, este manteve-se sempre a zero. Na Figura 88 é possível observar um exemplo do teste da fuga com um prego.



Figura 88: Exemplo da fuga de um prego.

A 1ª série obteve como resultado o gráfico da Figura 89, onde se verificou uma perda de pressão entre os 56s e 111s. Esta perda deverá estar relacionada com a ocorrência da fuga e após os 111s a pressão voltou a aumentar, o que deverá estar relacionado com a compensação da perda de pressão pela bomba de água.

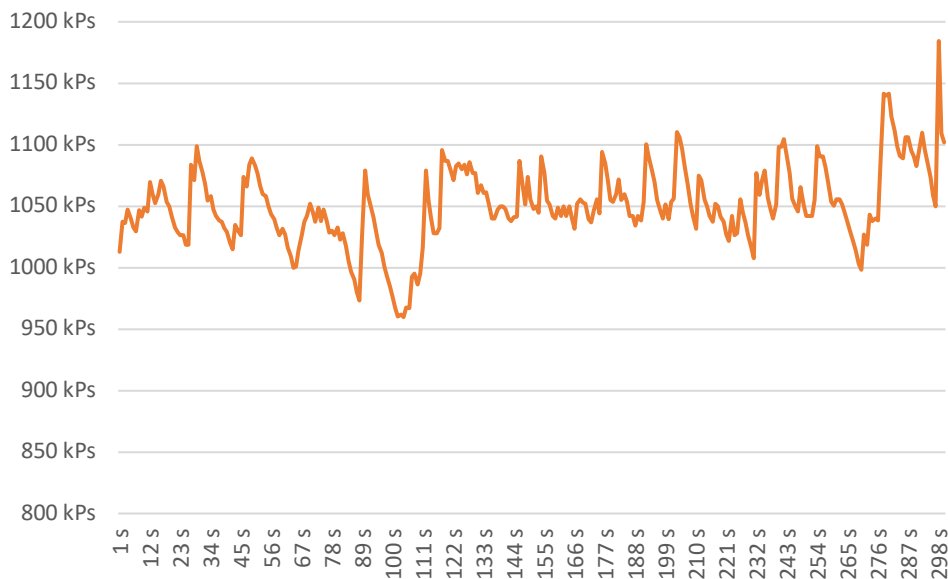


Figura 89: 1ª Série - Gráfico do teste da pressão na fuga de um prego.

Comparando a pressão da fuga com a pressão da rede sem fuga obtém-se o gráfico da Figura 90, onde a linha vermelha representa a fuga. Analisando o gráfico, não é possível detetar qualquer padrão da anomalia.

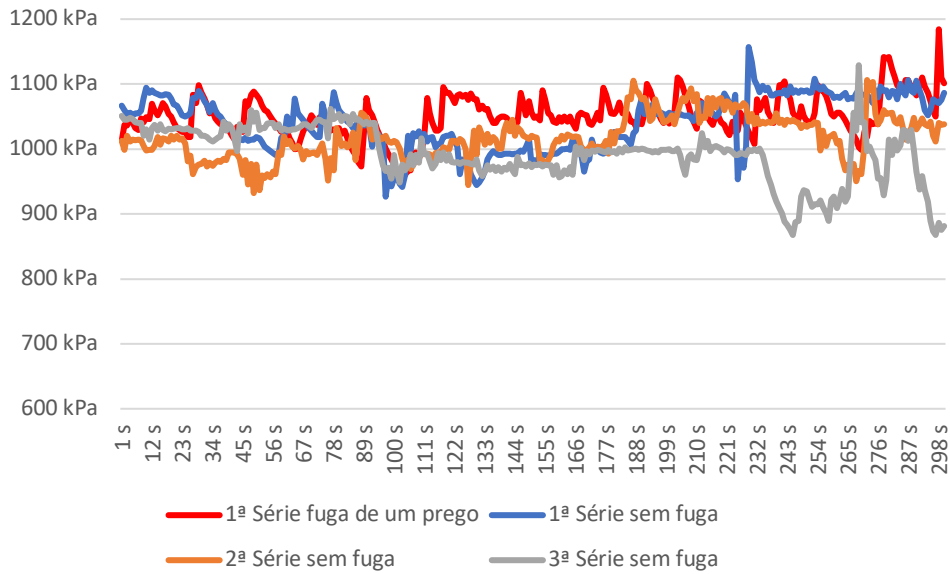


Figura 90: 1ª Série - Gráfico do teste da pressão na fuga de um prego e sem fuga.

Na 2ª série obteve-se o gráfico da Figura 91, em que este representa o padrão da fuga. Nesta série torna-se mais clara a deteção da anomalia pois é possível verificar diversas perdas súbitas na pressão, o que é um indicador de uma anomalia.

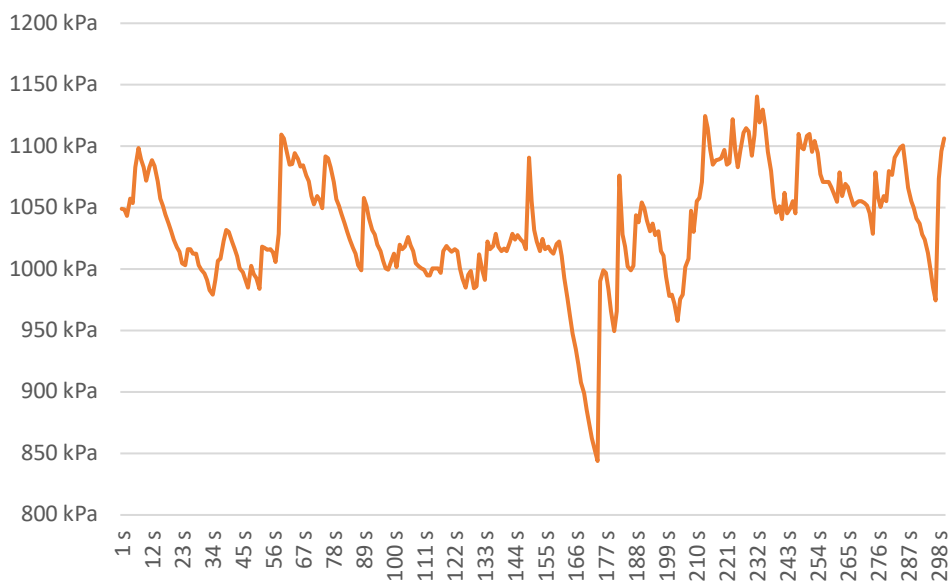


Figura 91: 2ª Série - Gráfico do teste da pressão na fuga de um prego.

A Figura 92 representa o gráfico da pressão da fuga de um prego e a pressão da rede sem fuga, em que é possível ver o resultado da fuga na linha vermelha. Neste gráfico, à semelhança da 1ª série, não é detetada qualquer distinção entre os padrões.

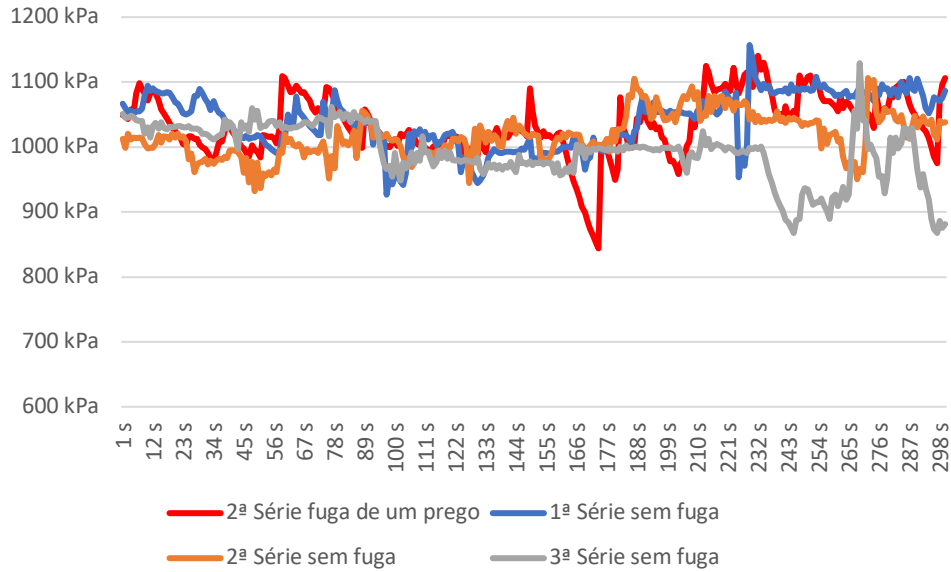


Figura 92: 3ª Série - Gráfico do teste da pressão na fuga de um prego e sem fuga.

No que toca à 3ª série da fuga de um prego, obteve-se o gráfico da Figura 93. Tal como o gráfico da 2ª série, é possível encontrar vários pontos onde ocorreu uma perda súbita de pressão. Este gráfico representa um padrão mais claro de uma fuga com um prego, começando a fuga por volta dos 45s e terminando por volta dos 265s.

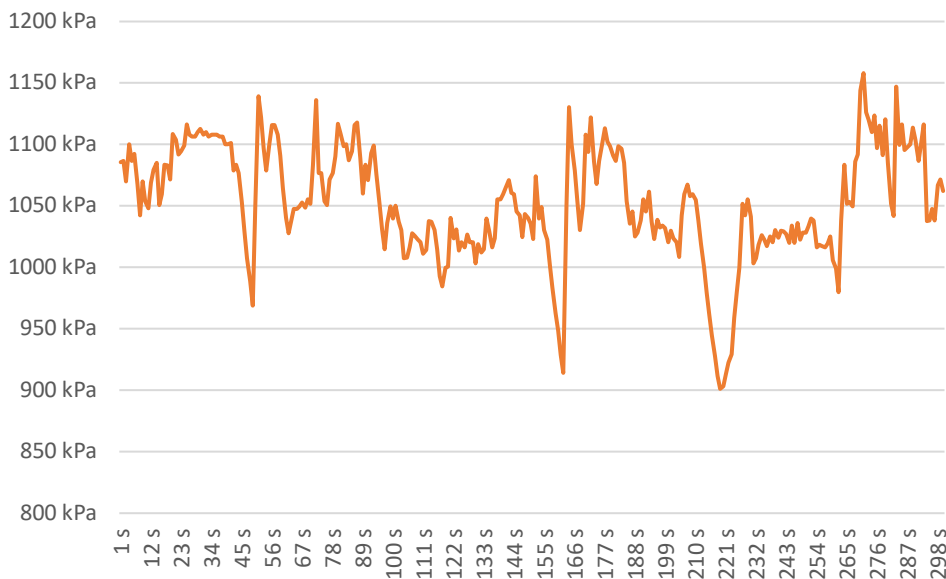


Figura 93: 3ª Série - Gráfico do teste da pressão na fuga de um prego.

À semelhança da 1ª e da 2ª séries, o gráfico da Figura 94 não demonstrou qualquer alteração entre o padrão da pressão sem fuga ou com fuga. A linha vermelha representa a pressão durante a fuga provocada por um prego e as restantes a pressão da rede sem fuga.

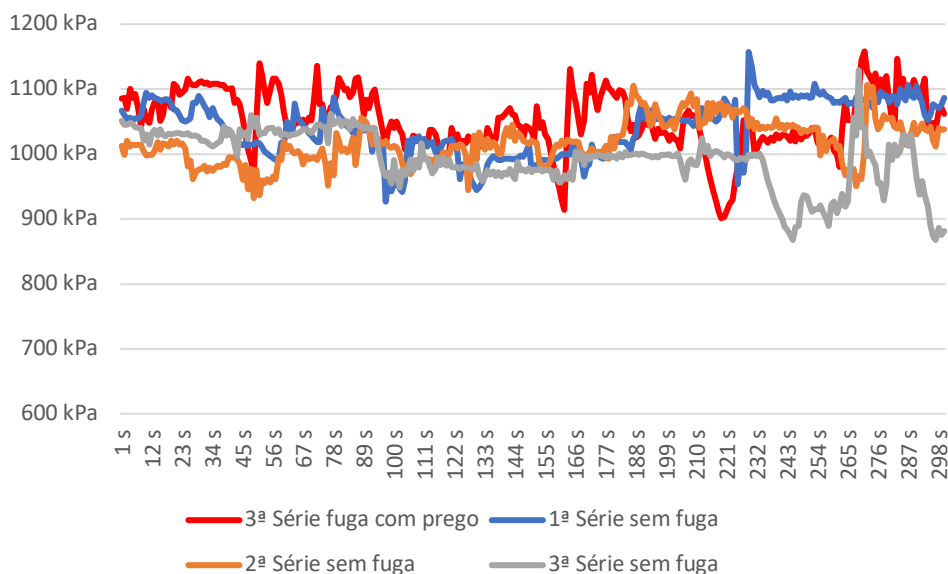


Figura 94: 3ª Série - Gráfico do teste da pressão na fuga de um prego e sem fuga.

Na Tabela 9 encontram-se os resultados dos testes da fuga com um prego e sem fuga. Analisando a média, o máximo e o mínimo não é possível detetar qualquer relação. Nestes testes obteve-se na 2ª e 3ª séries um desvio padrão superior aos testes sem fuga, o que se assemelha ao indicador de anomalia dos testes descritos anteriormente. O mesmo não foi possível detetar na 1ª série. Deste modo, não é garantida a deteção da fuga provocada por um prego.

Tabela 9: Resultados do teste da fuga de um prego e pressão sem fuga

	Sem fuga			Fuga de um prego		
	1ª Série	2ª Série	3ª Série	1ª Série	2ª Série	3ª Série
	Pressão	Pressão	Pressão	Pressão	Pressão	Pressão
Média	1040,14 kPa	1018,23 kPa	1028,26 kPa	1050,49 kPa	1034,41 kPa	1052,51 kPa
Desvio padrão	42,15 kPa	33,27 kPa	26,16 kPa	32,02 kPa	47,23 kPa	46,07 kPa
Min	926,56 kPa	932,10 kPa	971,16 kPa	959,77 kPa	843,88 kPa	901,17 kPa
Max	1157,03 kPa	1106,25 kPa	1110,16 kPa	1184,38 kPa	1140,43 kPa	1158,01 kPa

### 4.3.6 Teste torneira a gotear

Este teste consistiu na avaliação da pressão da rede quando uma torneira encontra-se a gotear. Na Figura 95 é possível observar um exemplo da realização deste teste.



Figura 95: Exemplo do teste da torneira a gotejar.

Na Figura 96 é possível encontrar o gráfico resultante da 1ª série do teste, em que é visível a descida da pressão por volta dos 34s e seu aumento por volta dos 254s, o que reflete a iniciação e finalização do gotejar.

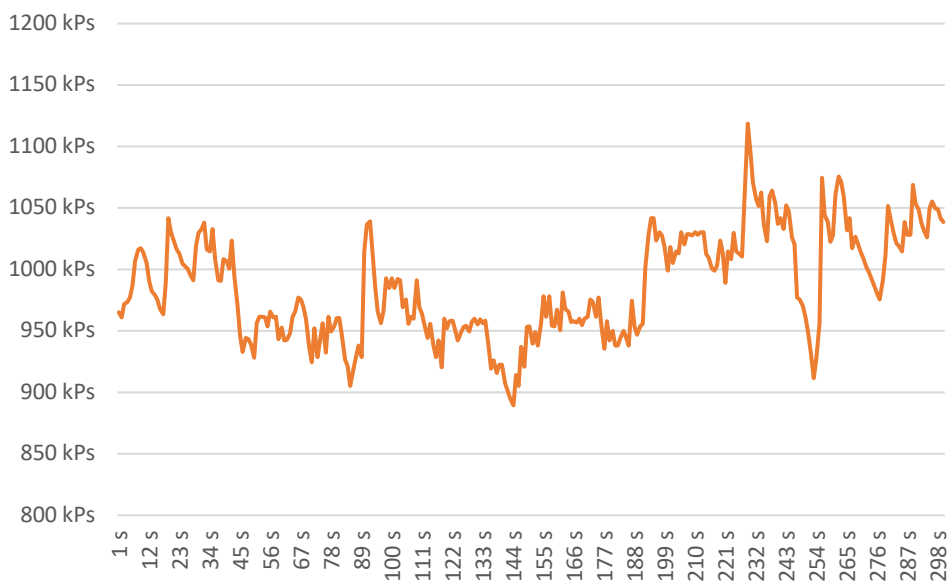


Figura 96: 1ª Série - Gráfico do teste da pressão na torneira a gotejar.

Avaliando o gráfico da Figura 97, a vermelho é possível encontrar as leituras da pressão no teste da torneira a gotejar enquanto que as restantes linhas representam a pressão padrão da rede. Observando o gráfico, é possível identificar uma ligeira descida da pressão comparativamente à pressão padrão, o que permite identificar a anomalia/fuga.

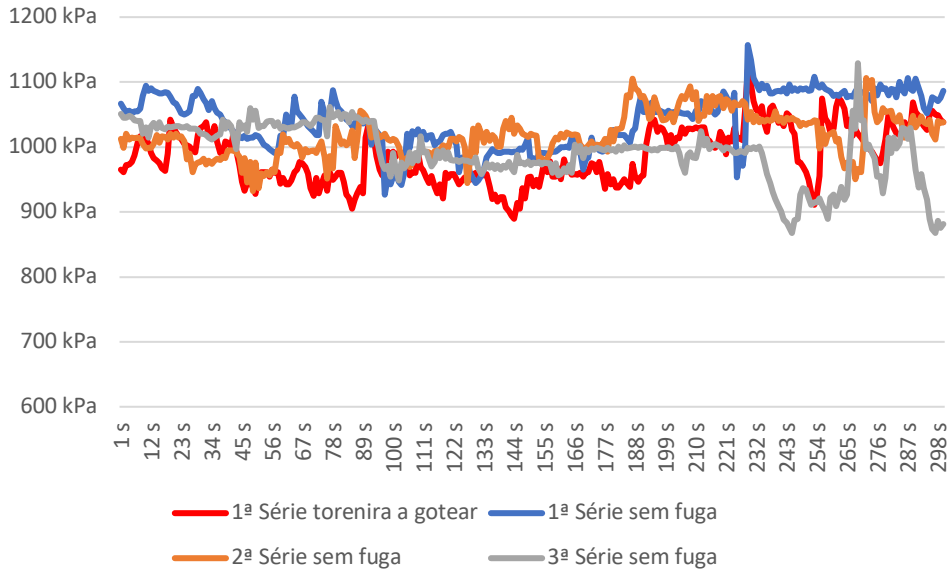


Figura 97: 1ª Série - Gráfico do teste da pressão na torneira a gotear e sem fuga.

A 2ª série revelou uma perda maior da pressão comparativamente à 1ª série. Analisando o gráfico da Figura 98, este permite identificar a ocorrência de uma anomalia. Esta anomalia deu-se por volta dos 34s e resolveu-se por volta dos 254s. Nesta série é claro o padrão da anomalia, visto que houve várias quedas abruptas na pressão. Essas quedas normalmente representam anomalias na rede como visto nos testes anteriores.

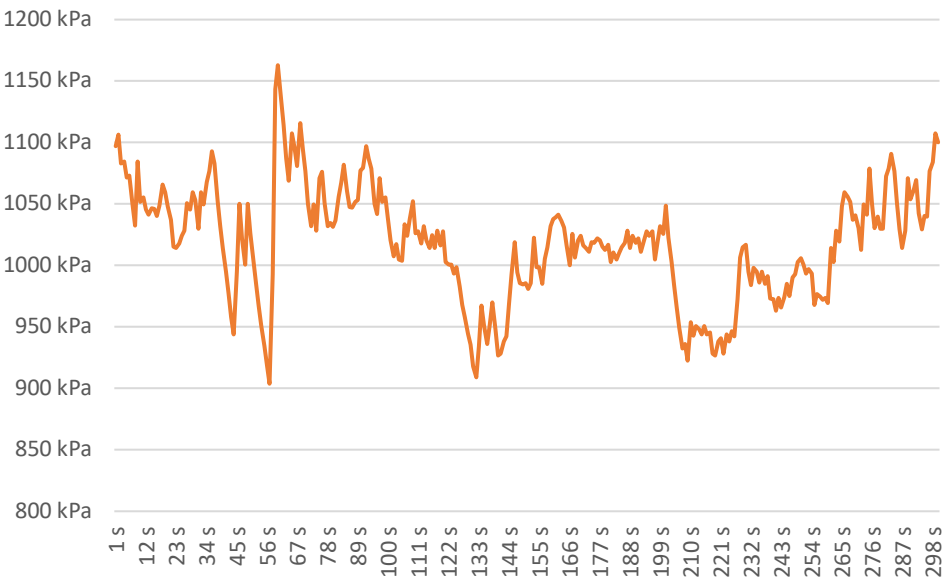


Figura 98: 2ª Série - Gráfico do teste da pressão na torneira a gotear.

Na Figura 99 encontra-se o gráfico comparativo entre a pressão de uma rede sem fugas e uma rede com uma torneira a gotear, em que a linha vermelha representa a rede com uma torneira a gotear e as restantes linhas a rede sem fugas. Analisando o gráfico, não se consegue detetar nenhuma alteração no padrão.

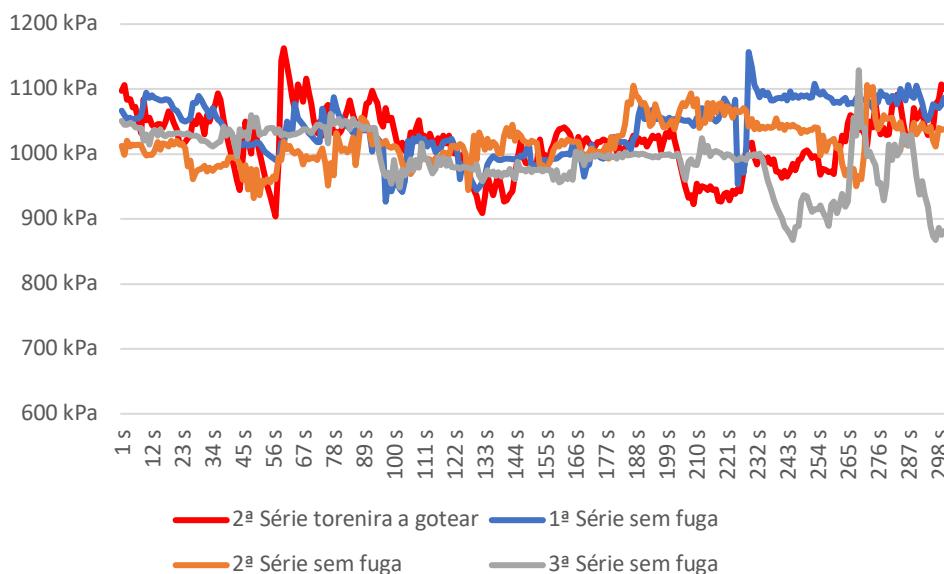


Figura 99: 2ª Série - Gráfico do teste da pressão na torneira a gotear e sem fuga.

Relativamente à 3ª série, analisando o gráfico da Figura 100 não é claro o padrão da fuga, o único indicador de uma anomalia é a perda de pressão por volta dos 23s e um ganho por volta dos 89s.

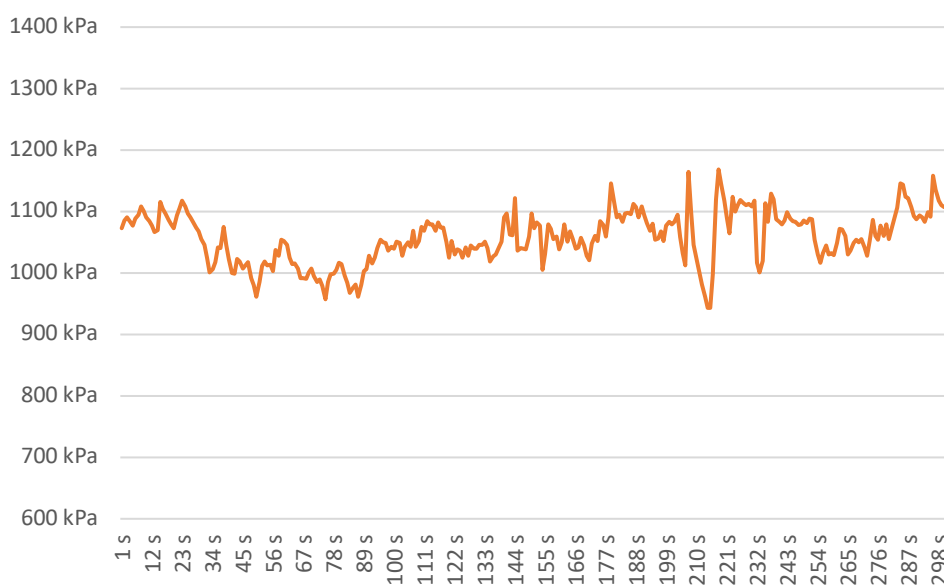


Figura 100: 3ª Série - Gráfico do teste da pressão na torneira a gotear.

Analisando o gráfico da Figura 101, novamente o único indicador encontrado de uma anomalia acontece por volta dos 23s. Esse indicador é o afastamento da linha vermelha das restantes linhas, porém este padrão não é claro, o que não permite aferir que é o de uma anomalia. A linha vermelha representa a pressão recolhida numa rede com uma torneira a gotear e as restantes linhas representam a rede sem fugas.

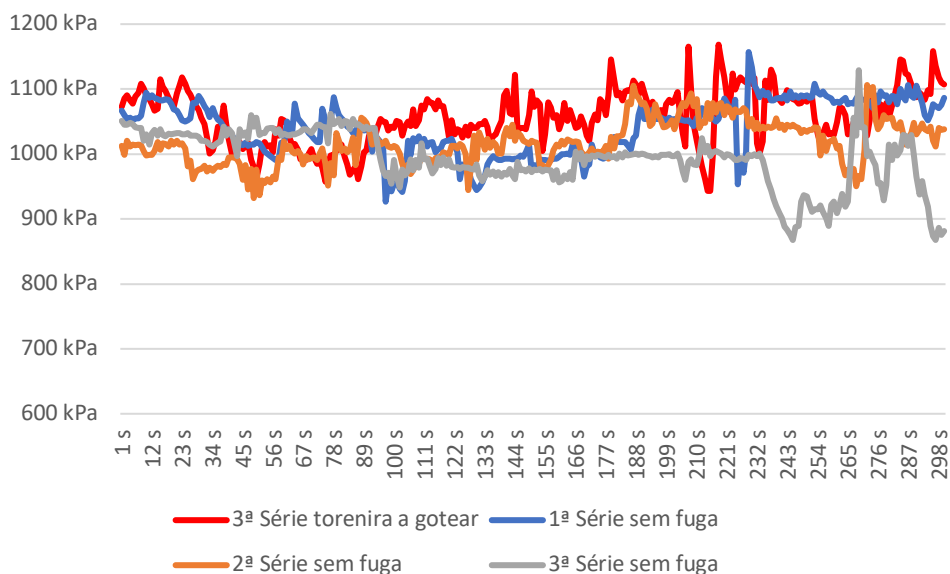


Figura 101: 3ª Série - Gráfico do teste da pressão na torneira a gotear e sem fuga.

Na Tabela 10 encontram-se os dados obtidos no teste da torneira a gotear e os dados de uma rede sem fuga. Analisando a tabela, não é possível estabelecer qualquer relação entre as médias e máximos da rede com torneira a gotear e sem fugas. Novamente, o desvio padrão revelou um valor mais elevado na 2ª e 3ª séries face à rede sem fugas, mas o mesmo não se verificou na 1ª série. O valor mínimo da 1ª e 2ª séries foi inferior ao da rede sem fugas.

Tabela 10: Resultados do teste da torneira a gotear e pressão sem fuga.

	Sem fuga			Torneira a gotear		
	1ª Série	2ª Série	3ª Série	1ª Série	2ª Série	3ª Série
	Pressão	Pressão	Pressão	Pressão	Pressão	Pressão
<b>Média</b>	1040,14 kPa	1018,23 kPa	1028,26 kPa	985,79 kPa	1017,59 kPa	1056,96 kPa
<b>Desvio padrão</b>	42,15 kPa	33,27 kPa	26,16 kPa	42,60 kPa	46,32 kPa	41,88 kPa
<b>Min</b>	926,56 kPa	932,10 kPa	971,16 kPa	889,45 kPa	903,78 kPa	943,16 kPa
<b>Max</b>	1157,03 kPa	1106,25 kPa	1110,16 kPa	1118,62 kPa	1162,89 kPa	1168,42 kPa

Analisando todos os testes de anomalias, verifica-se que, na abertura de uma torneira, a torneira com baixo fluxo e a fuga no ligador revelaram padrões distintos do padrão da rede sem fugas. No que toca à fuga de um prego e torneira a gotear, o padrão não é tão claro, pelo que se torna difícil detetá-lo. Esta dificuldade deve-se ao facto da sua baixa influência na pressão.

#### 4.4 Análise e deteção de padrões

Foi recolhida informação do consumo de três casas e um edifício 24 horas por dia, durante um mês.

Partindo dos dados recolhidos nos casos de estudo, serão analisados os consumos totais e os padrões de consumo. Esta análise passará pela utilização dos dados recolhidos

pelos sensores, assim como pelas anotações do registo de tarefas específicas executadas pelos utilizadores nos dois primeiros casos (1º caso de estudo - lavar os dentes, duche e recarga de autoclismo e 2º caso – lavar os dentes e duche) para a deteção de padrões de consumo. Partindo dos padrões de consumo detetados nos dois primeiros casos de estudo, procuraram-se padrões semelhantes nos outros dois casos estudados (3º e 4º).

#### 4.4.1 1º caso de estudo

Na Figura 102 é possível verificar o consumo da casa de banho do 1º caso de estudo. É de notar que os consumos de 14/10/2018 até 28/12/2019 são referentes à torneira do lavatório. Após 28/12/2019 foram instalados os restantes sensores na casa de banho.

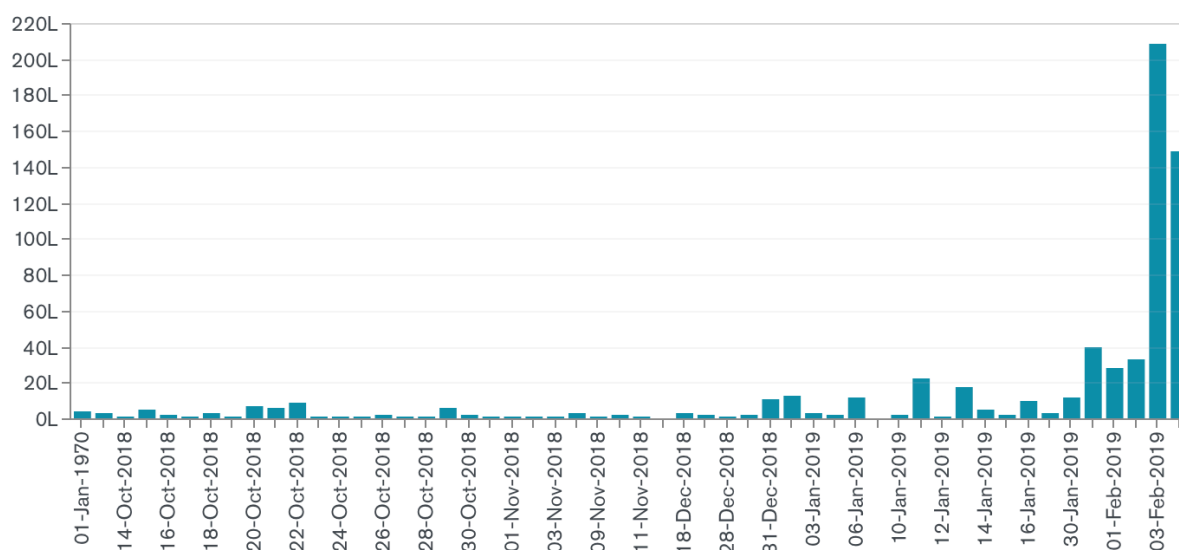


Figura 102: Gráfico do consumo por dia do 1º caso de estudo.

Neste caso de estudo foram avaliadas as tarefas de tomar duche, lavar os dentes, lavar as mãos e puxar a água da sanita. Foram avaliados dois utilizadores (U1 e U2) a efetuar estas tarefas. A tarefa de puxar a água da sanita avaliou-se de forma separada, sem a atribuição de um utilizador.

##### 4.4.1.1 Utilizador U1

A primeira tarefa realizada pelo utilizador U1 foi tomar duche. Este utilizador teve o padrão de consumo com os resultados expressos no gráfico da Figura 103, em que o fluxo de água quente está representado a vermelho e o de água fria a azul, e no eixo do Y está indicado o fluxo de água e no do X o tempo. Analisando o gráfico, é possível verificar que o utilizador abriu a água quente às 8:32:47, após alguns instantes abriu a água fria e iniciou o duche mantendo a torneira aberta até ao fim por volta das 8:40:39. É possível ver que houve alguns ajustes na temperatura da água pelo utilizador, isto porque houve uma alteração do fluxo em alguns momentos. No total, o duche demorou 7min e 52s desde que a torneira foi aberta até ser fechada. O consumo de água do duche foi 46,4L.

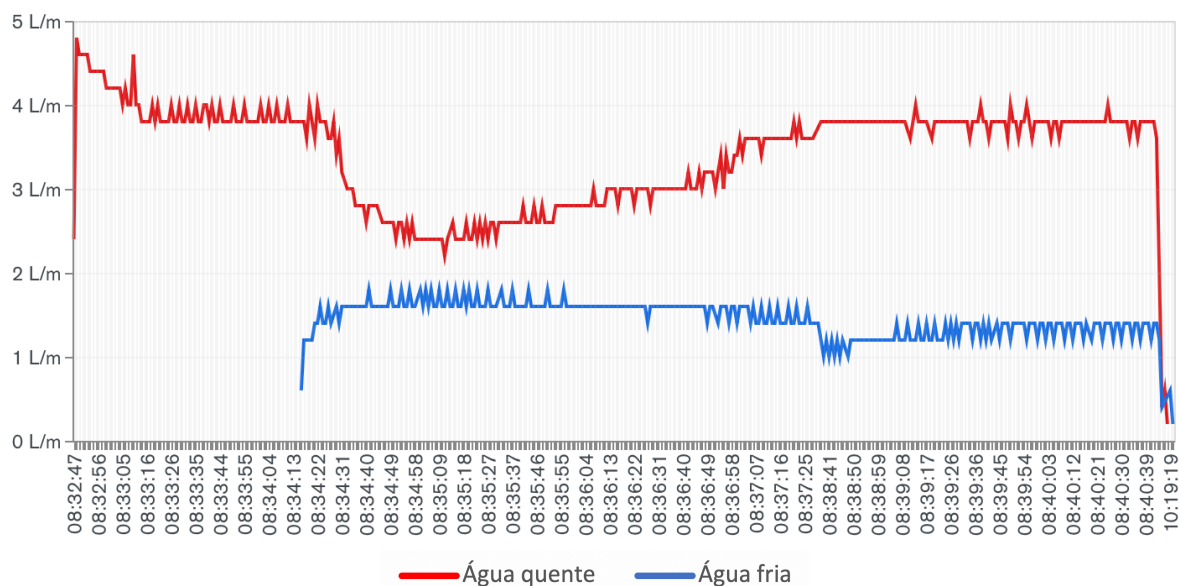


Figura 103: Gráfico do fluxo de água do utilizador U1 no 1º duche.

No 2º duche o utilizador, tal como no primeiro, começou por esperar o aquecimento da água como é possível visualizar no gráfico da Figura 104. Neste gráfico conseguimos ver que o utilizador abriu a torneira por volta das 10:34:40 e fechou por volta das 10:41:30. O utilizador abriu a torneira fria por volta das 10:35:13, iniciando o duche. Neste duche novamente foram detetadas algumas oscilações no fluxo o que indica a regulação da temperatura. No total, foram consumidos 36L e a duração foi 6min e 50s desde a abertura da torneira até ao seu fecho.

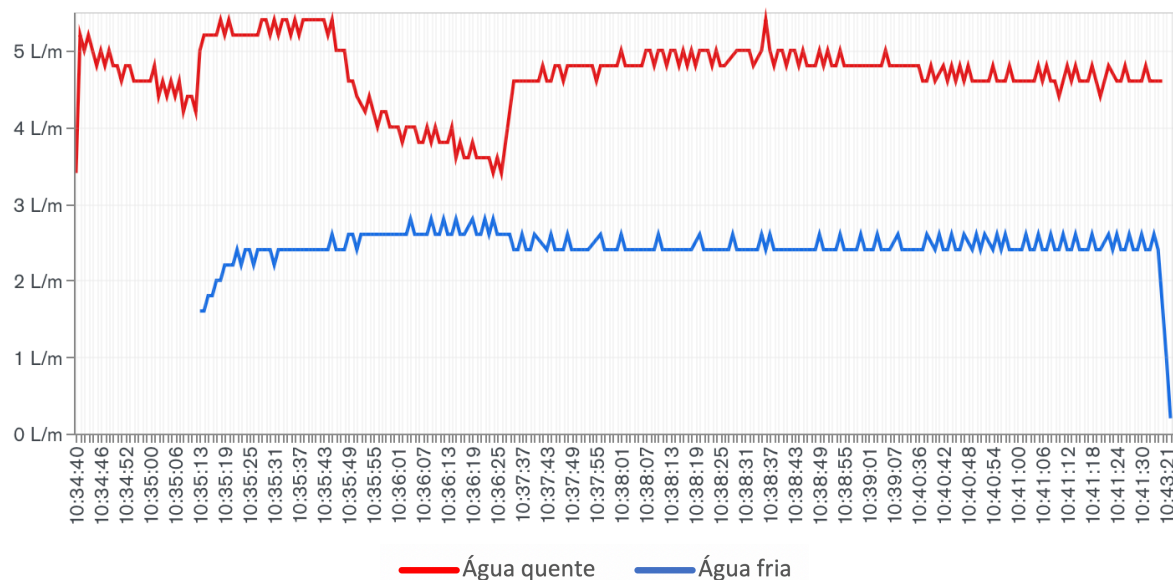


Figura 104: Gráfico do fluxo de água do utilizador U1 no 2º duche.

O 3º duche obteve o mesmo padrão dos dois primeiros, o que é possível encontrar no gráfico da Figura 105. Novamente, o utilizador esperou o aquecimento da água para a abertura da água fria. É possível observar que foi aberta a torneira às 8:40:28 e fechada às 8:49:08, e a abertura da torneira fria realizou-se por volta das 8:41:47. Este duche teve um consumo de 55,9L com uma duração de 8min e 40s desde da abertura a torneira até ao seu fecho.

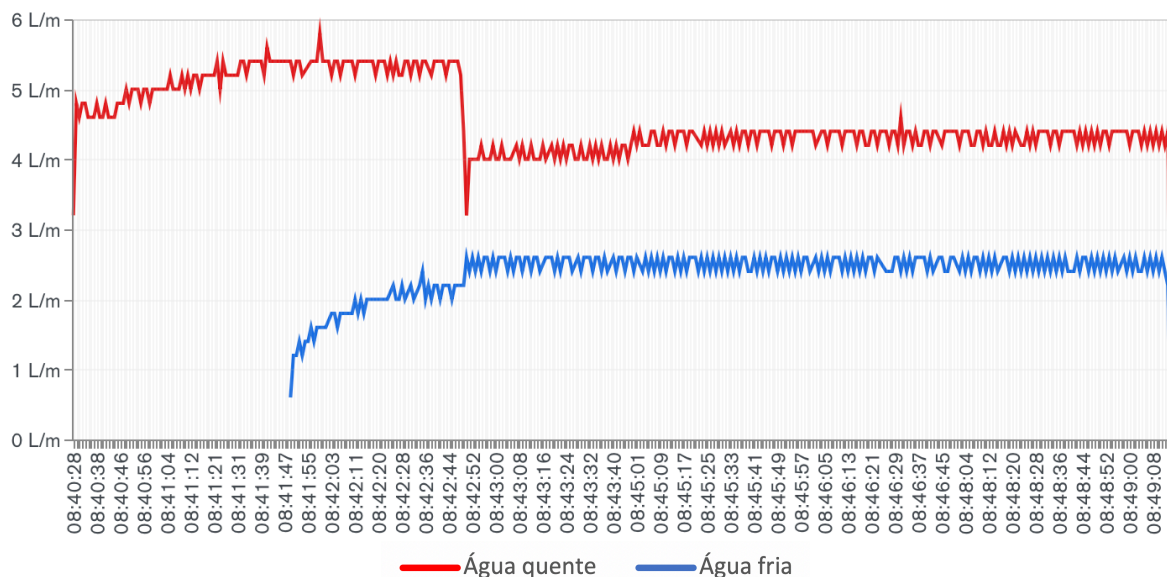


Figura 105: Gráfico do fluxo de água do utilizador U1 no 3º duche.

Na tarefa de lavar os dentes verificou-se que o utilizador inicia a tarefa por uma 1ª fase em molhar a pasta de dentes, seguindo-se uma 2ª fase para enxaguar a boca tal como é possível verificar no gráfico da Figura 106. Existiu um intervalo de tempo entre fases que reflete o escovar de dentes. O utilizador nesta tarefa gastou 1,5L e demorou 2min e 58s na sua realização, a 1ª fase teve uma duração de 3s, a escovagem teve uma duração 2min e 34s, e 2ª fase uma duração de 21s.

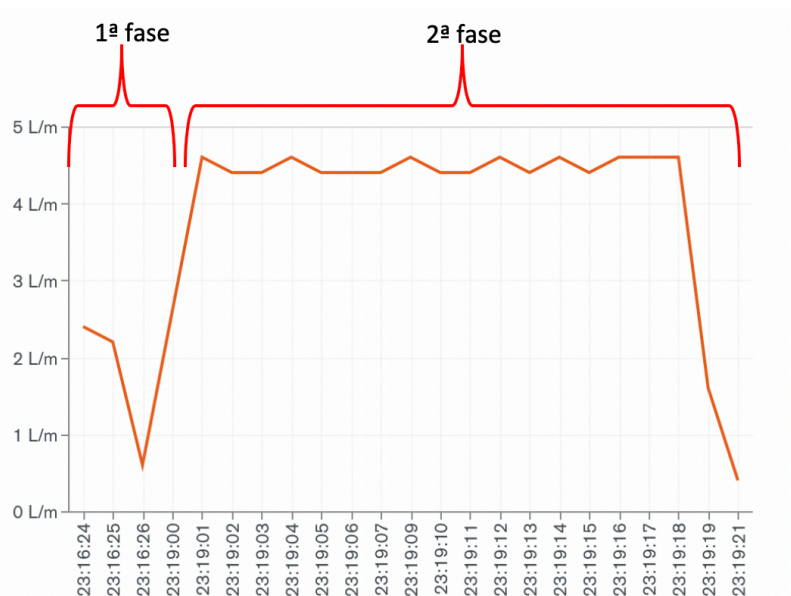


Figura 106: Gráfico do fluxo de água do utilizador U1 na 1ª lavagem dos dentes.

Numa 2ª tarefa de lavar os dentes volta-se a repetir o padrão de duas fases tal como é possível observar na Figura 107. A 1ª fase iniciou-se por volta das 9:00:40 e terminou por volta das 9:00:42 e a 2ª fase iniciou-se por volta das 9:01:28 e deu-se por finalizada às 9:01:54. Esta tarefa resultou num consumo de 1,6 L e duração de 1min e 14s.

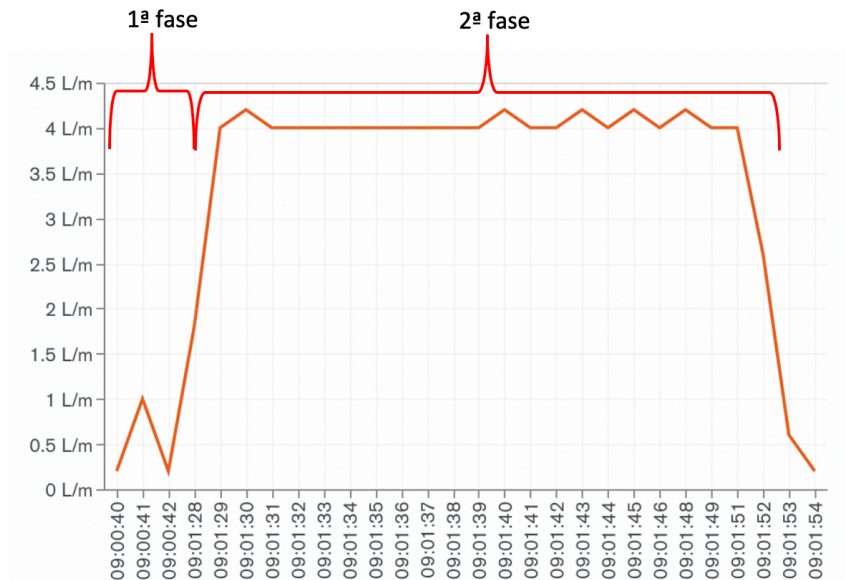


Figura 107: Gráfico do fluxo de água do utilizador U1 na 2ª lavagem dos dentes.

A 3ª tarefa de lavar os dentes originou o gráfico da Figura 108 em que se voltou a repetir o padrão de duas fases. A 1ª fase iniciou-se por volta das 10:10:50 e terminou às 10:11:58, já a 2ª fase iniciou-se às 10:12:43 e finalizou-se às 10:12:57. O consumo desta tarefa foi de 0,84L e teve uma duração de 2min e 7s .

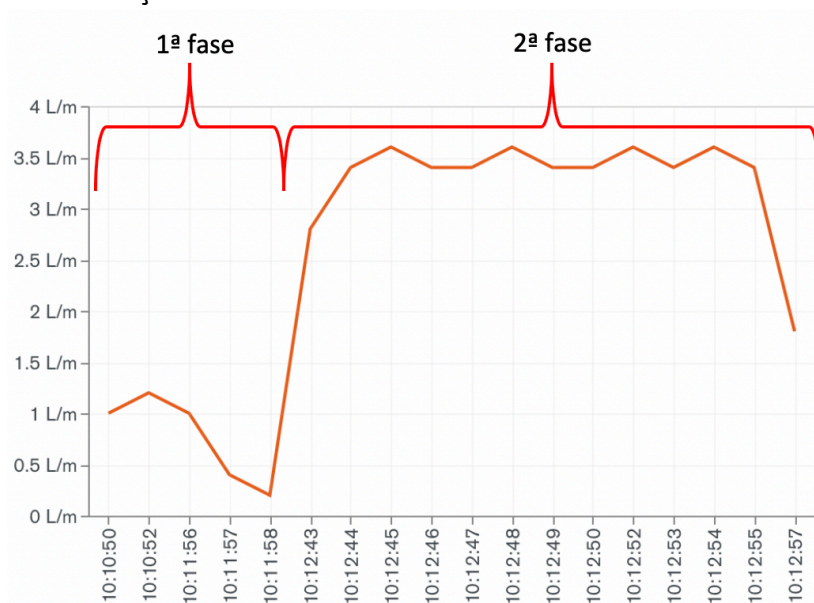


Figura 108: Gráfico do fluxo de água do utilizador U1 na 3ª lavagem dos dentes.

#### 4.4.1.2 Utilizador U2

Tal como no caso do utilizador U1 realizou-se uma análise em três duches e três tarefas de lavar os dentes. O 1º duche resultou no gráfico da Figura 109. Neste é possível verificar o mesmo padrão encontrado no utilizador U1, este utilizador começa pela abertura da água quente e e, após o aquecimento da água, abre a água fria. Analisando o gráfico, é possível observar que o utilizador iniciou o duche por volta das 20:32:57 e finalizou às 20:39:46. No decorrer do duche verifica-se um ajustar da temperatura por volta das 20:34:19. No total, o utilizador demorou 6min e 49s e teve um consumo de 19,7L.

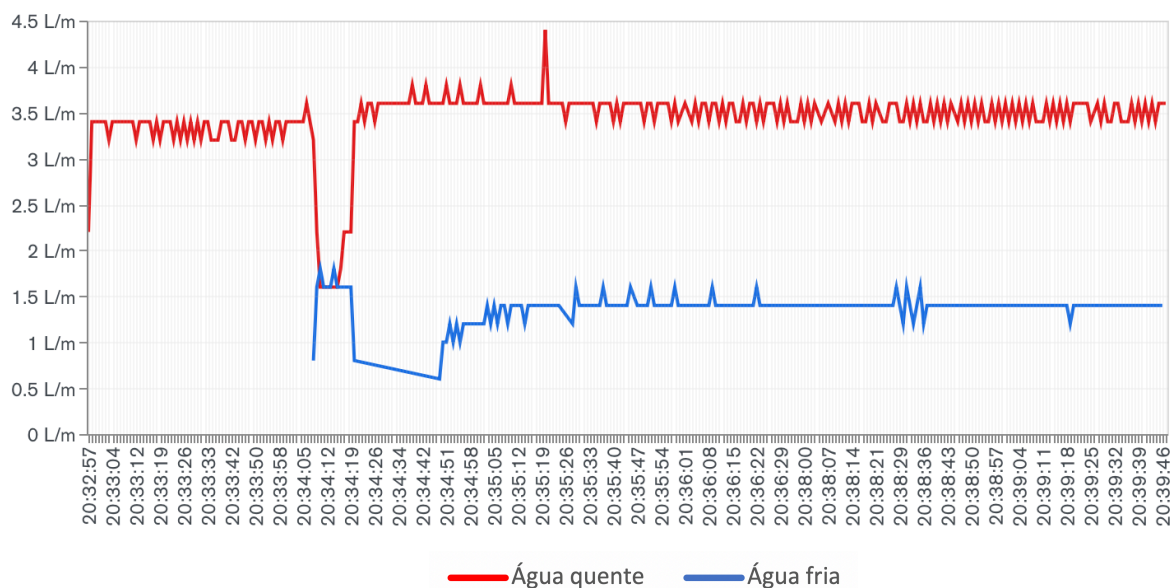


Figura 109: Gráfico do fluxo de água do utilizador U2 no 1º duche.

No segundo duche volta-se a repetir o padrão de esperar que a água aqueça, tal como é possível verificar no gráfico da Figura 110. Analisando o gráfico, observa-se que o utilizador ajustou a temperatura da água por duas vezes, uma por volta das 18:59:55, outra por volta das 19:02:10. O duche iniciou-se por voltas das 18:57:36 e finalizou-se às 19:11:46, demorando 14min e 10s com um consumo de 77,9L.

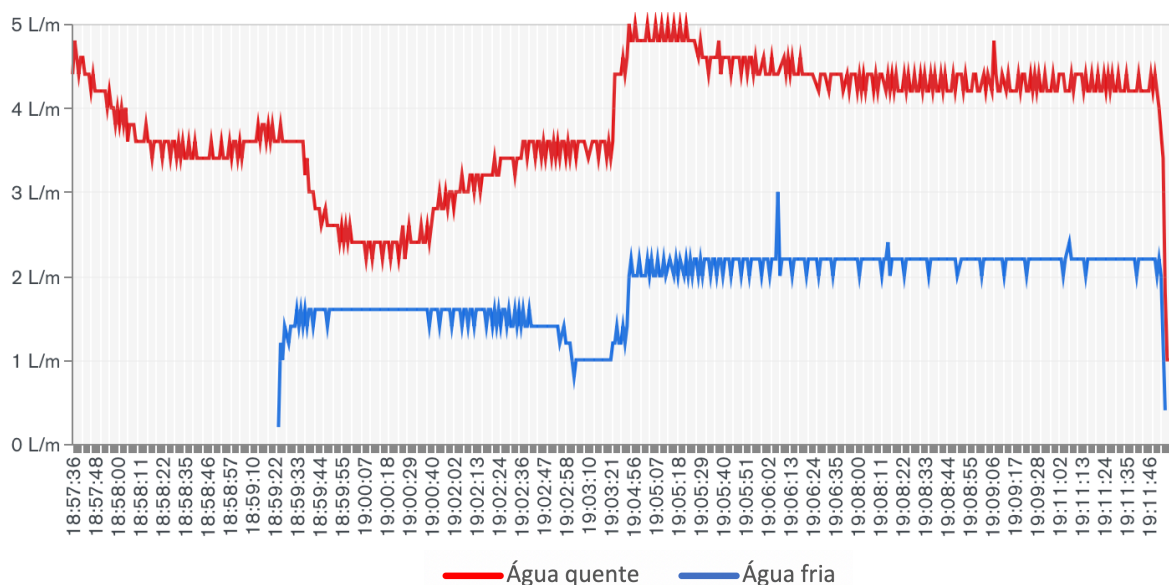


Figura 110: Gráfico do fluxo de água do utilizador U2 no 2º duche.

Um outro duche obteve o gráfico da Figura 111, neste novamente o utilizador começa por esperar que a água aqueça. O duche iniciou por volta das 21:05:26 e finalizou-se por volta das 21:16:41. Este teve uma duração de 11min e 15s com um consumo de 50,6L.

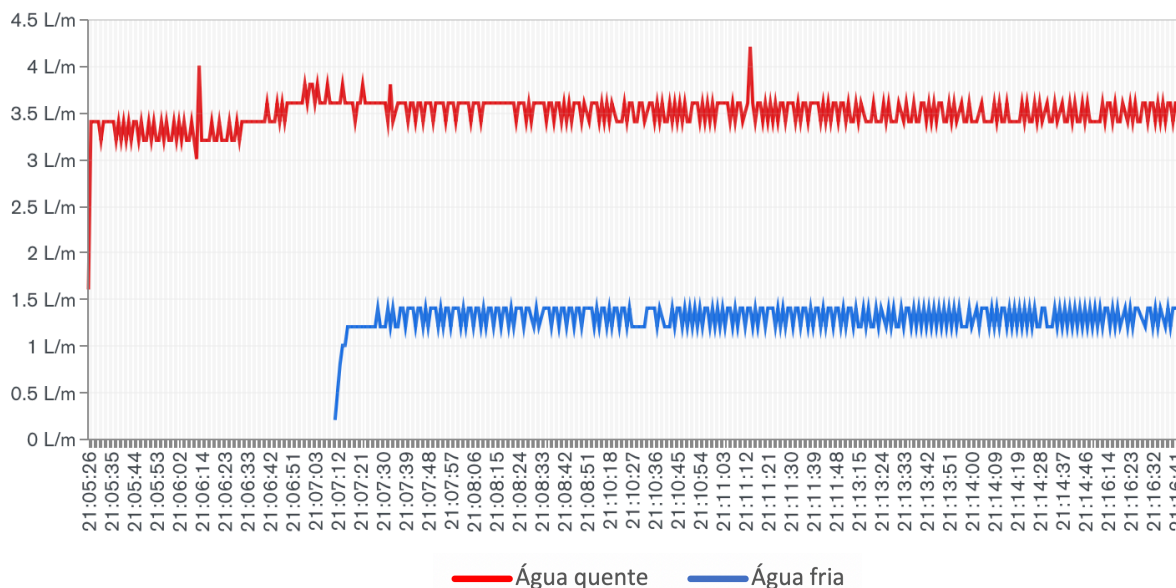


Figura 111: Gráfico do fluxo de água do utilizador U2 no 3º duche.

Na 1ª tarefa de lavar os dentes verificou-se o gráfico da Figura 112. Neste é possível ver que tem o mesmo padrão do utilizador U1, isto é, uma lavagem em duas fases. Numa 1ª fase o utilizador molha a pasta de dentes, seguindo-se uma 2ª fase para enxaguar. No gráfico é possível observar que a 1ª fase inicia-se às 22:37:03 e finaliza-se por volta das 22:37:05. A 2ª fase inicia-se às 22:37:06 e termina às 22:38:08. Existe um intervalo entre fases onde o utilizador escova os dentes. No total, o utilizador demorou 1,5s a lavar os dentes e teve um consumo de 3,1L.

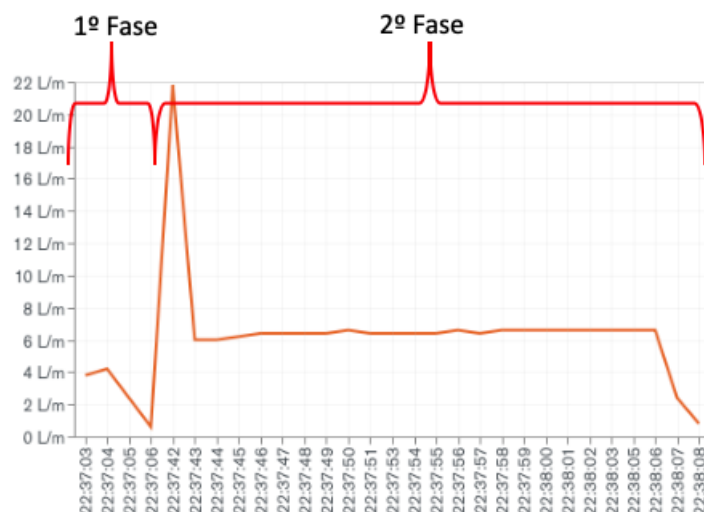


Figura 112: Gráfico do fluxo de água do utilizador U2 na 1ª lavagem dos dentes.

Numa 2ª tarefa de lavar os dentes volta-se a repetir o padrão de duas fases tal como é possível observar na Figura 113. A 1ª fase iniciou-se por volta das 8:06:13 e terminou por volta das 8:06:19 e a 2ª fase iniciou-se por volta das 8:06:45 e deu-se por finalizada às 8:07:14. Esta tarefa obteve um consumo de 2,7L e uma duração de 1min e 1s.



Figura 113: Gráfico do fluxo de água do utilizador U2 na 2ª lavagem dos dentes.

Na Figura 114 é possível encontrar o gráfico da 3ª lavagem dos dentes do 1º utilizador. Neste gráfico verificou-se novamente um padrão de duas fases, a 1ª iniciou-se 10:00:09 e finalizou às 10:00:13, e a 2ª fase iniciou-se as 10:00:42 e finalizou-se as 10:01:11. Existe um intervalo de tempo entre fases que deverá ser o utilizador a escovar os dentes. Nesta tarefa o utilizador gastou 2,7L e teve uma duração de 1min 2s.

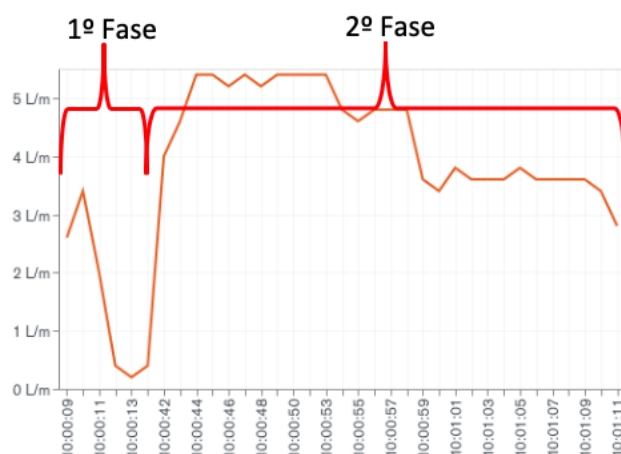


Figura 114: Gráfico do fluxo de água do utilizador U2 na 3ª lavagem dos dentes.

#### 4.4.1.3 Tarefa puxar a água da sanita

Nesta tarefa serão abordadas três séries da tarefa de puxar a água da sanita com descarga grande, em que a primeira é possível encontrar no gráfico da Figura 115 do lado esquerdo. Neste gráfico é possível verificar o fluxo da água em litros por minuto no eixo do Y e o tempo no eixo do X. A tarefa iniciou-se por volta das 8:12:18 e finalizou-se por volta das 8:13:23, tendo uma duração de 1min e 5s e um consumo de 6,7L.

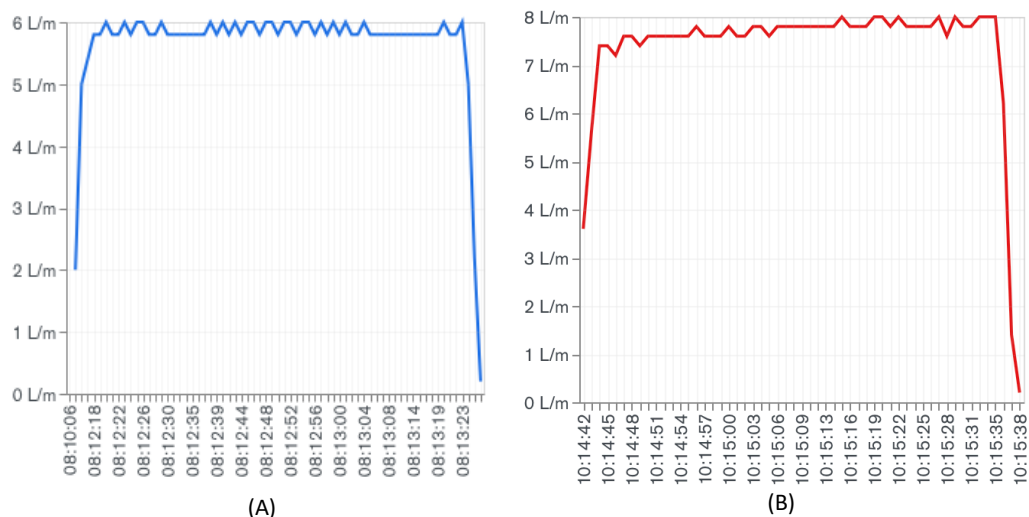


Figura 115: (A) 1ª e (B) 2ª série da tarefa de puxar a água da sanita com a descarga grande.

Na 2ª série obteve-se o gráfico da Figura 115 do lado direito onde é possível observar que a tarefa iniciou-se às 10:14:42 e finalizou-se às 10:15:38. Esta tarefa teve uma duração de 56s com um consumo de 6,7L.

Numa 3ª série verificou-se o gráfico da Figura 116, neste é possível verificar que a tarefa iniciou-se por volta das 08:22:37 e finalizou-se por volta das 08:23:51. Esta teve uma duração de 1min e 14s com um consumo de 6,8L.

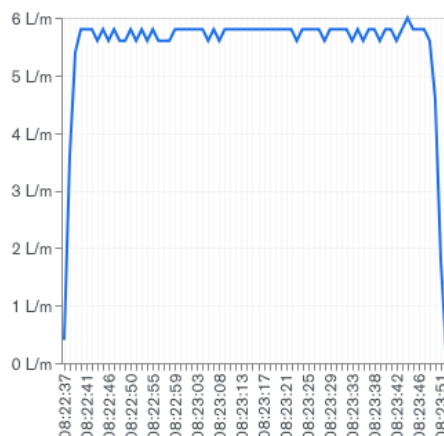


Figura 116: 3ª série da tarefa de puxar a água da sanita com a descarga grande.

Desta forma, conclui-se que o padrão da descarga grande da sanita tem aproximadamente 6,7L e o processo de enchimento demora 56s a 1min e 14s.

#### 4.4.2 2º caso de estudo

Quanto ao 2º caso de estudo, este obteve o gráfico de consumo expresso na Figura 117, em que é possível verificar que os dias com maior consumo foram 31/12/2018 e 16/01/2019.

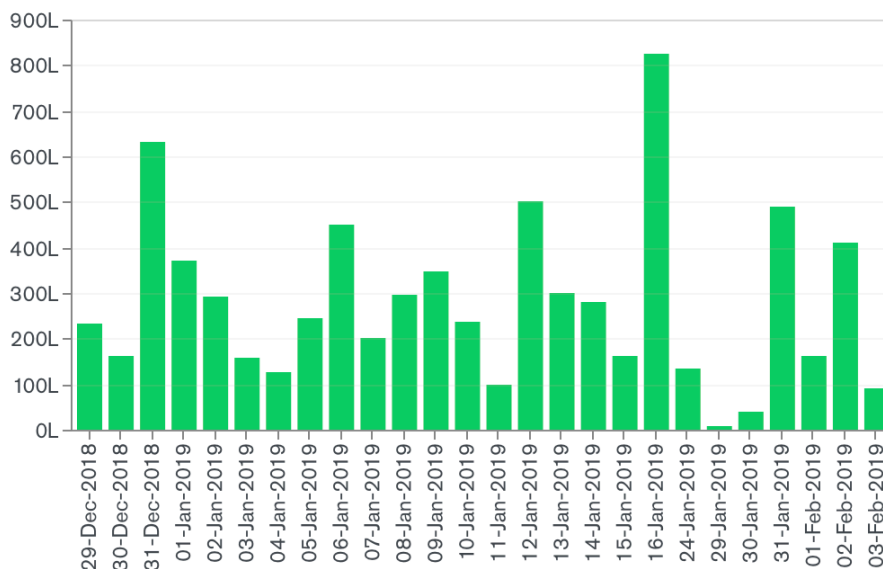


Figura 117: Gráfico do consumo por dia do 2º caso de estudo.

Após uma análise do consumo geral deste caso de estudo, utilizou-se os dados de utilização fornecidos pelos utilizadores para detetar rotinas e padrões. Serão abordadas as tarefas de tomar duche e lavar os dentes. Nestas tarefas participaram 3 utilizadores (U3, U4 e U5).

#### 4.4.2.1 Utilizador U3

Para o utilizador U3 analisou-se as rotinas de tomar duche e lavar os dentes. Nesta secção serão analisados diversos gráficos em que o eixo do Y indica a velocidade/fluxo da água em litros por minuto, e o eixo do X representa o tempo. É de salientar que existem alguns saltos temporais nas alturas em que não existiu consumo.

Na Figura 118 está representado o gráfico do 1º duche analisado do utilizador U3. Neste gráfico verifica-se que o utilizador começou por abrir a água às 16:02:30, fechou às 16:04:49 e voltou a abrir às 16:05:39. Supõe-se que o intervalo de tempo entre as fases representa o fecho para ensaboar o corpo. Analisando o gráfico, verifica-se que na 2ª fase o utilizador começou com um fluxo mais baixo comparativamente ao da primeira, aumentado por volta das 16:06:41. O duche completou-se por volta das 16:09:01 com uma duração de 6min e 31s, com um consumo de 38,9L.

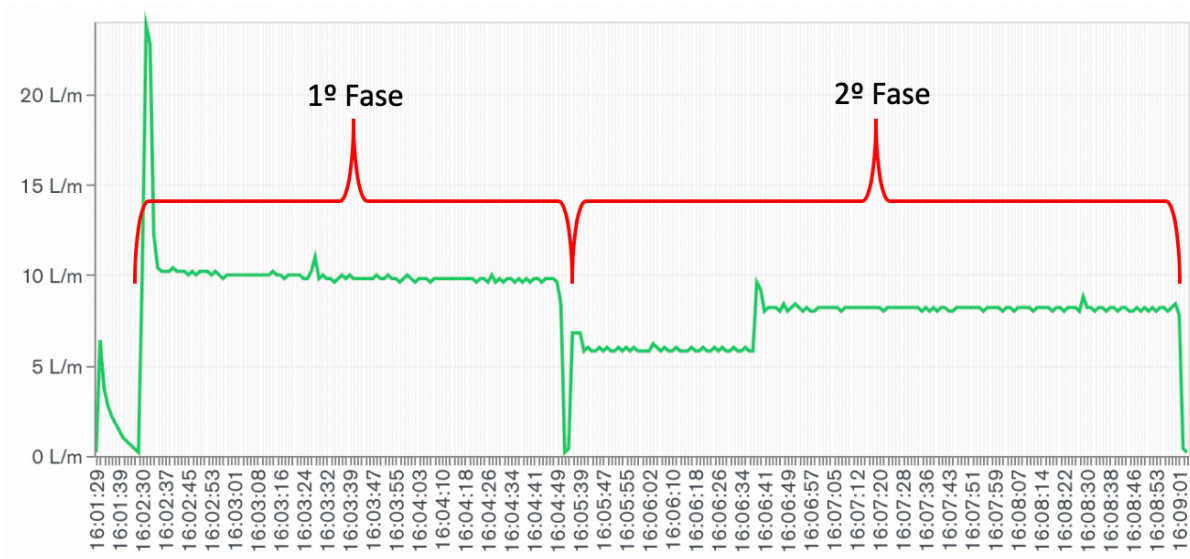


Figura 118: Gráfico do fluxo de água do utilizador U3 no 1º duche.

O 2º duche do utilizador U3 poderá ser encontrado o gráfico na Figura 119, em que é possível verificar que o utilizador desta vez não fechou a torneira para se ensaboar. O utilizador iniciou o duche por volta das 15:14:25 e terminou por voltas das 15:21:16. No gráfico é possível verificar que existiu dois padrões fora do contexto do duche, estes padrões possivelmente foram outras ações que ocorreram em simultâneo, isto é, outro utilizador a consumir água ao mesmo tempo que o duche. No total, este duche teve um consumo de 35,2L e uma duração de 6min e 51s.

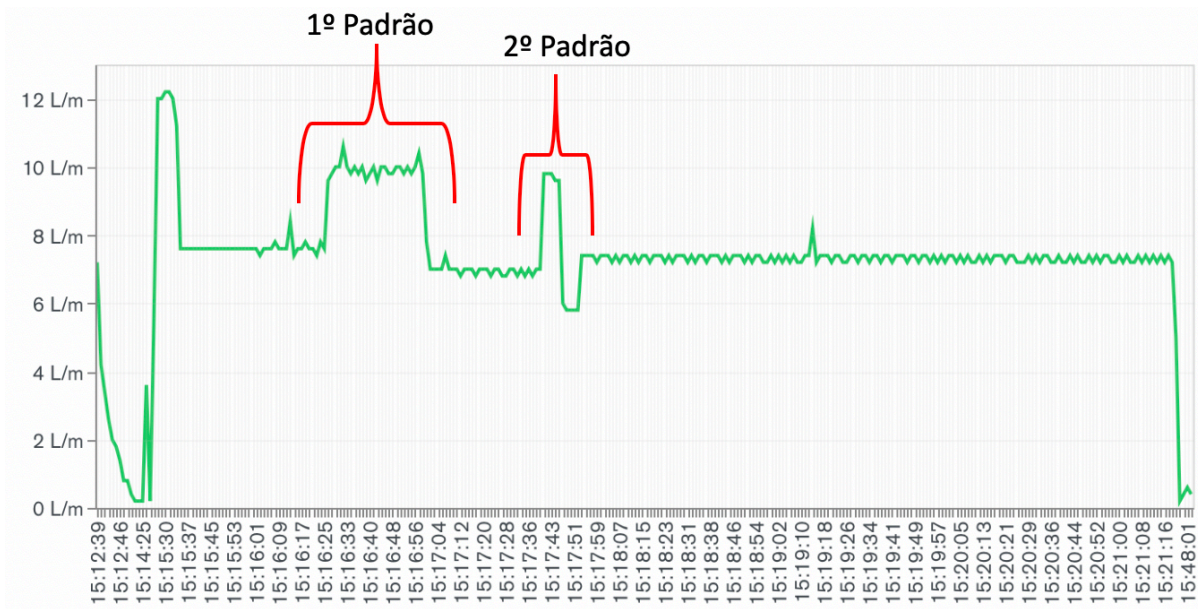


Figura 119: Gráfico do fluxo de água do utilizador U3 no 2º duche.

No que toca ao 3º duche do utilizador U3 chegou-se ao gráfico da Figura 120. Neste gráfico é possível verificar que o duche iniciou-se às 18:42:15 e finalizou-se às 18:46:50. Analisando o gráfico, é possível verificar que existiu uma tarefa em simultâneo por volta das 18:43:16 e que se finalizou por volta das 18:44:04. Conclui-se que seja uma tarefa simultânea

devido ao fluxo de água manter-se idêntico antes e depois da sua ocorrência. No total o utilizador demorou 4min e 35s com um consumo de 26,58L.

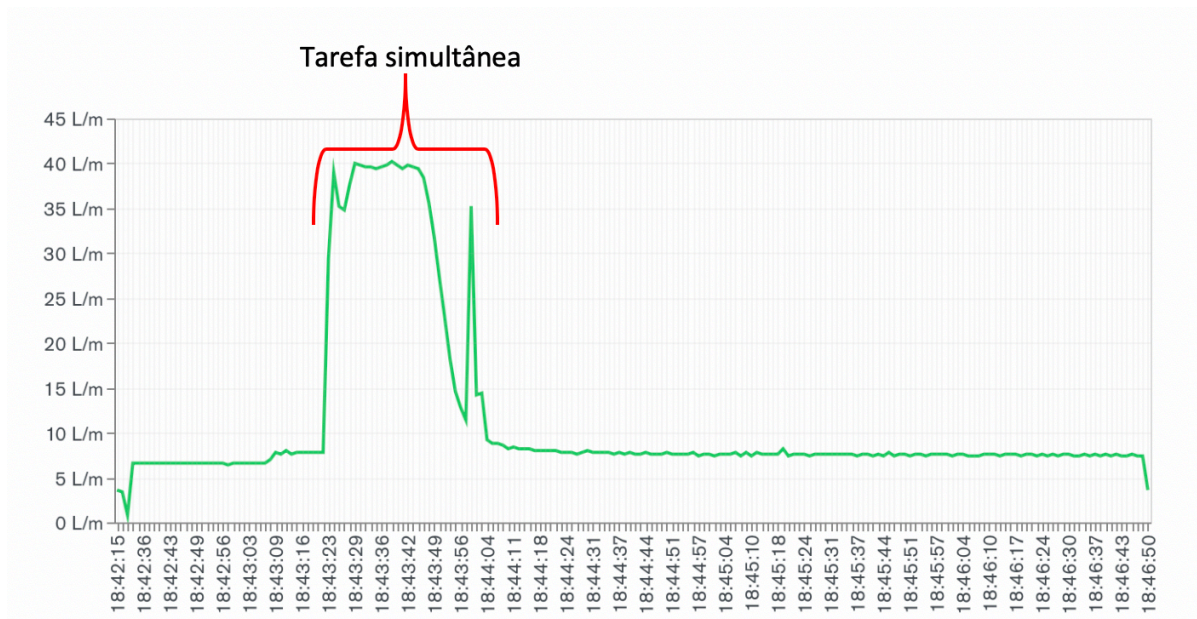


Figura 120: Gráfico do fluxo de água do utilizador U3 no 3º duche.

Relativamente à tarefa da lavagem dos dentes, é possível verificar o gráfico da 1ª lavagem dos dentes do utilizador U3 na Figura 121. Nesse gráfico constata-se duas fases, a 1ª fase que vai das 9:26:34 até às 9:26:37 e representa a ação de molhar a pasta de dentes, e uma 2ª fase que vai das 9:27:33 até as 9:27:38 que representa enxaguar a boca. Analisando os tempos, verifica-se que o utilizador levou 3s para molhar a pasta de dentes, 56s na escovagem e 5s para enxaguar a boca. No total, o utilizador consumiu 0,75L e demorou 1min e 4s na lavagem dos dentes.

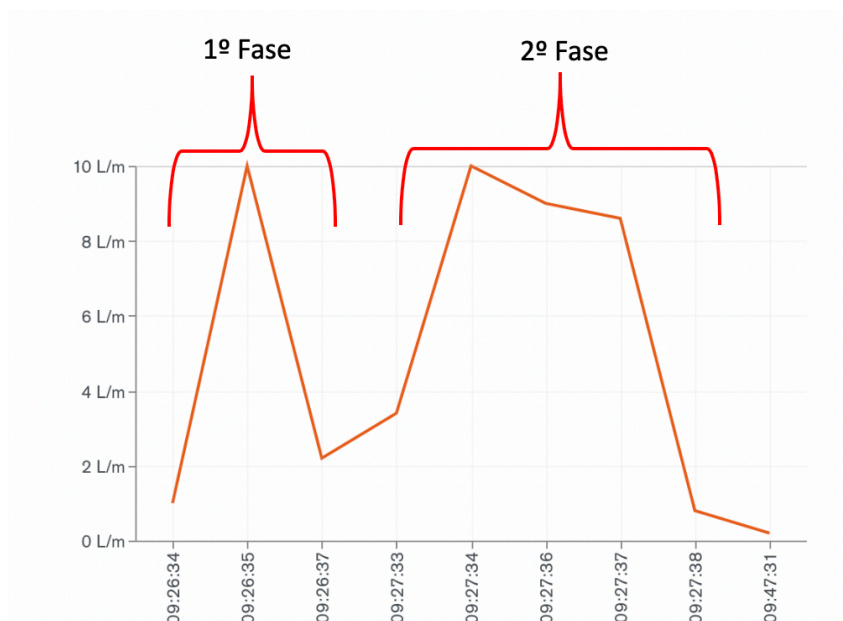


Figura 121: Gráfico do fluxo de água do utilizador U3 na 1ª lavagem dos dentes.

Numa 2ª tarefa do utilizador U3 lavar os dentes chegou-se ao gráfico da Figura 122. Neste gráfico é possível verificar um padrão semelhante à primeira tarefa, em que o utilizador começou por molhar a pasta de dentes por volta dos 7:08:46 até às 7:08:48. Na 2ª fase o utilizador enxaguou a boca entre 7:15:38 até às 7:15:50. Existiu um intervalo entre fases das 7:08:48 e das 7:15:38, que se revelou muito extenso para escovar os dentes. O utilizador após molhar a pasta não deverá ter começado a logo a escovar os dentes. O utilizador nesta tarefa gastou 1,3 L.

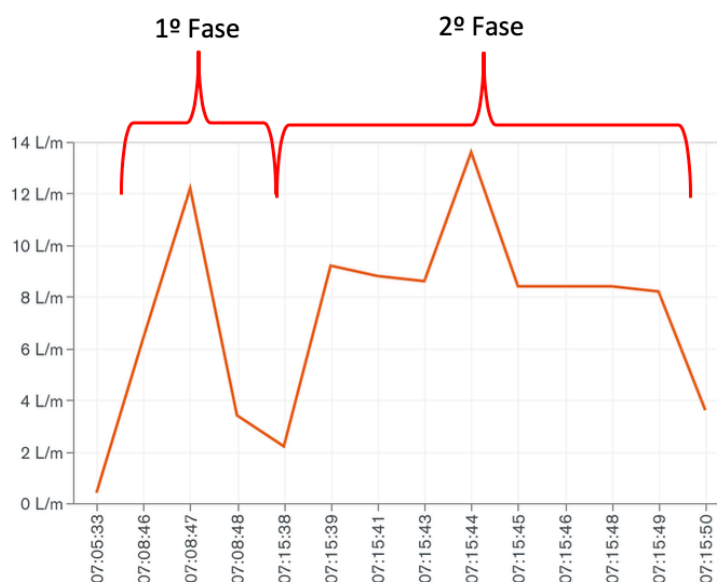


Figura 122: Gráfico do fluxo de água do utilizador U3 na 2ª lavagem dos dentes.

Na Figura 123 é possível encontrar o gráfico da 3ª lavagem dos dentes do utilizador U3. Neste gráfico verificou-se novamente um padrão de duas fases, a 1ª iniciou-se 7:30:58 e finalizou às 7:31:02, e a 2ª fase iniciou-se às 7:34:18 e finalizou-se as 7:34:23. A primeira fase assume-se que seja o molhar da pasta de dentes, e a segunda o enxaguar da boca, o intervalo de tempo deverá ser o utilizador a escovar os dentes. Nesta tarefa o utilizador gastou 0,7L.

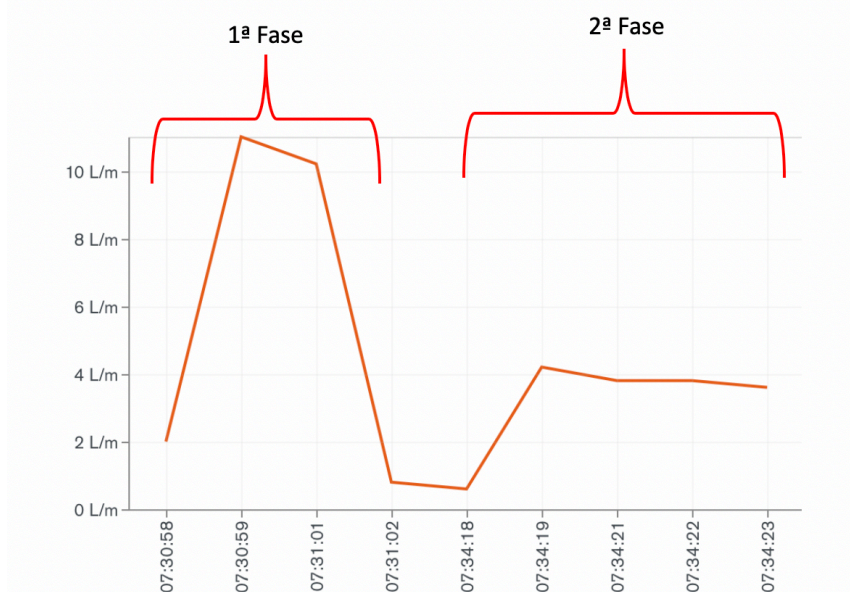


Figura 123: Gráfico do fluxo de água do 1º utilizador na 3ª lavagem dos dentes.

#### 4.4.2.2 Utilizador U4

No que toca ao utilizador U4, tal como no 1º, analisou-se 3 banhos e 3 lavagens de dentes. O primeiro duche é possível encontrar no gráfico da Figura 124, em que é possível ver que o duche se iniciou às 18:03:17 e se finalizou às 18:06:58. Verificou-se que, por volta das 18:04:26, existiu uma redução de fluxo, o que deverá ter sido influenciado pelo ajuste da temperatura por parte do utilizador. Este banho teve uma duração de 3min e 41s, com um consumo de 20,5L.

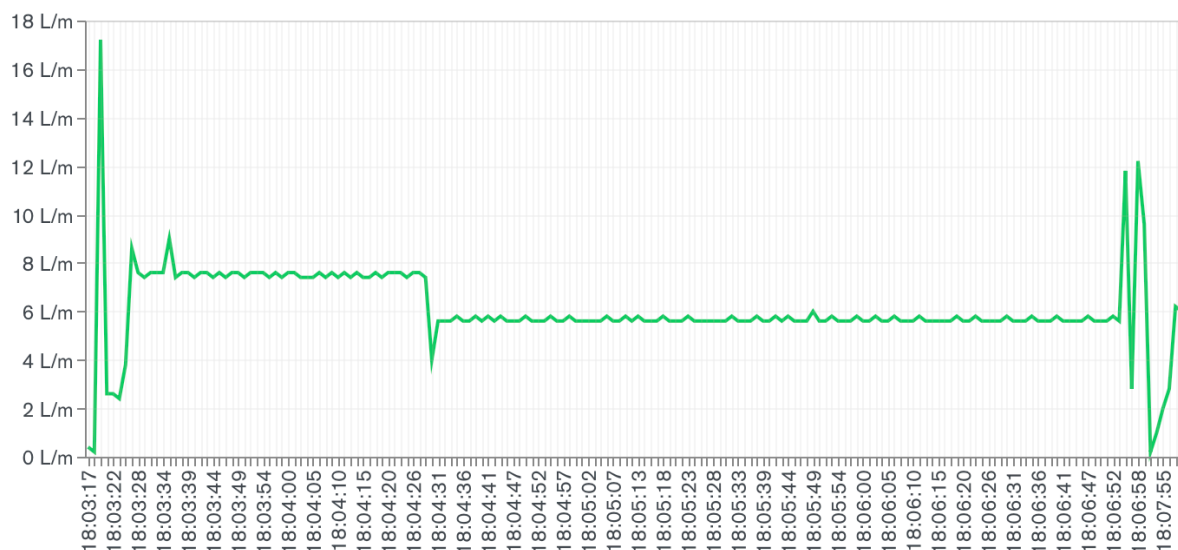


Figura 124: Gráfico do fluxo de água do utilizador U4 no 1º duche.

Um 2º duche do utilizador U4 foi analisado resultando no gráfico da Figura 125. Neste é possível verificar que foi um duche contínuo, ou seja, não existiu uma paragem para ensaboar. O duche teve início às 18:23:35 e finalizou-se às 18:30:16, tendo então uma duração de 6min e 41s e um consumo de 43,0L. Verifica-se que este duche teve uma duração maior que o primeiro, o que levou a um aumento substancial no consumo comparativamente ao primeiro.

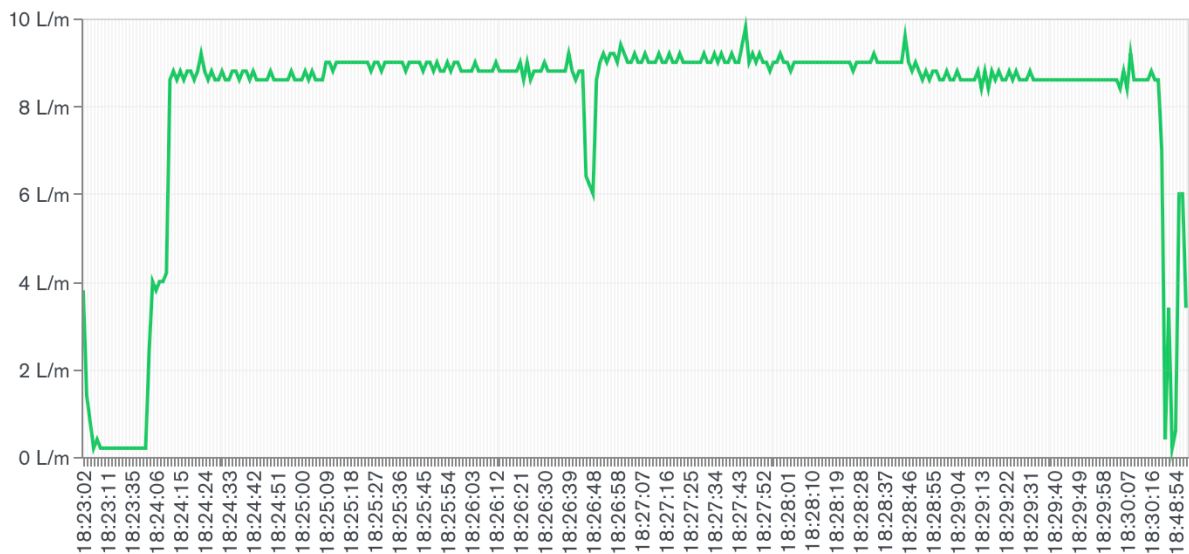


Figura 125: Gráfico do fluxo de água do utilizador U4 no 2º duche.

No 3º duche do utilizador U4 verificou-se que utilizou um fluxo menor comparativamente aos dois primeiros. O gráfico deste duche pode ser visto na Figura 126. Neste gráfico é possível visualizar que o duche iniciou por volta do 12:58:51 e finalizou por volta das 13:04:46, em que novamente o utilizador não fechou a torneira para se ensaboar. É possível verificar que o utilizador regulou a temperatura por volta das 12:59:49 visto que existiu um aumento do fluxo e depois manteve-se um fluxo constante. Foi encontrado um padrão fora da rotina do duche que ocorreu por volta das 13:01:39 e finalizou-se por volta das 13:01:52. Conclui-se que esse padrão não pertence ao duche visto que o fluxo antes e depois manteve-se igual. No total, o duche teve uma duração de 6min e 21s, com um consumo de 17,4L.

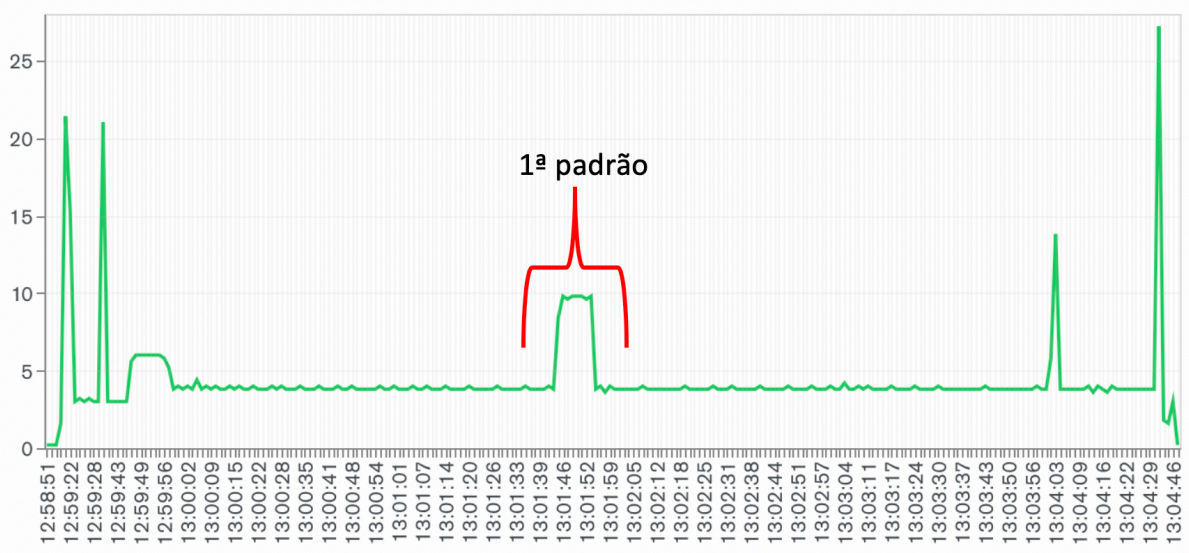


Figura 126: Gráfico do fluxo de água do utilizador U4 no 3º duche.

Ao contrário do utilizador U4, este mantém a torneira aberta durante o escovar os dentes tal como no gráfico da Figura 127. Neste gráfico verifica-se que a tarefa foi iniciada às

20:17:47 e foi finalizada às 20:18:30. Esta tarefa teve uma duração de 43s com um consumo de 3,8L.

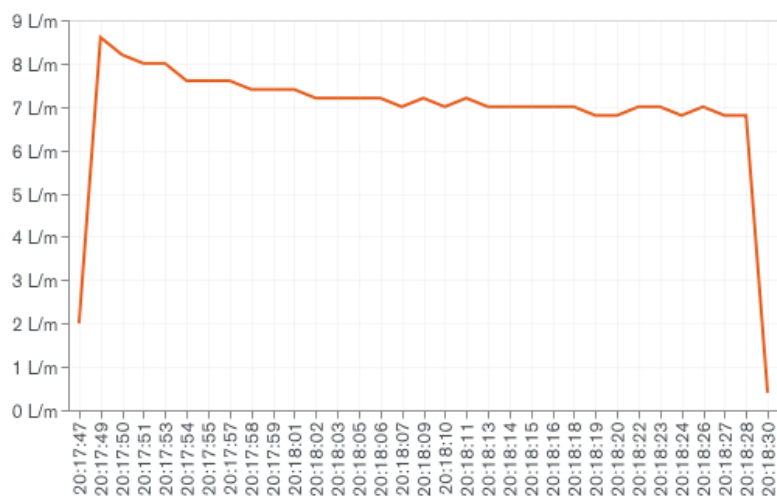


Figura 127: Gráfico do fluxo de água do utilizador U4 na 1ª lavagem dos dentes.

Na 2ª tarefa de lavar os dentes o utilizador, tal como na primeira vez, o utilizador manteve a torneira aberta durante o tempo de lavar os dentes. O gráfico da 2ª tarefa é possível encontrar na Figura 128, onde se verifica que existiram alterações do fluxo, o que indica que o utilizador ajustou o fluxo de água ao longo da tarefa. A tarefa iniciou-se por volta das 8:42:56 e finalizou-se por volta das 8:44:27, o que resulta numa duração de 1min e 31s e num consumo de 8,3L.

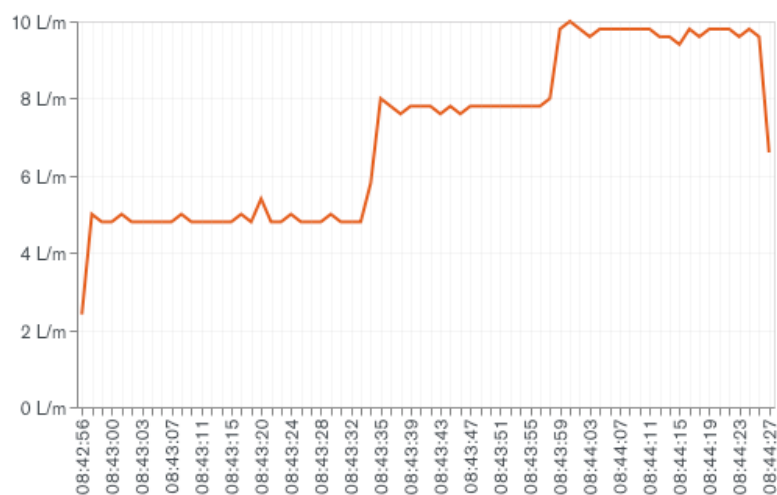


Figura 128: Gráfico do fluxo de água do utilizador U4 na 2ª lavagem dos dentes.

Na 3ª tarefa de lavar os dentes obteve-se o gráfico da Figura 129, onde se voltou a detetar semelhanças no padrão, entre as quais estão a regulação do fluxo e o manter a

torneira aberta durante a tarefa. A tarefa iniciou-se por volta das 22:49:29 e finalizou-se pelas 22:51:21, com uma duração de 1min e 52s com um consumo de 5,8L.

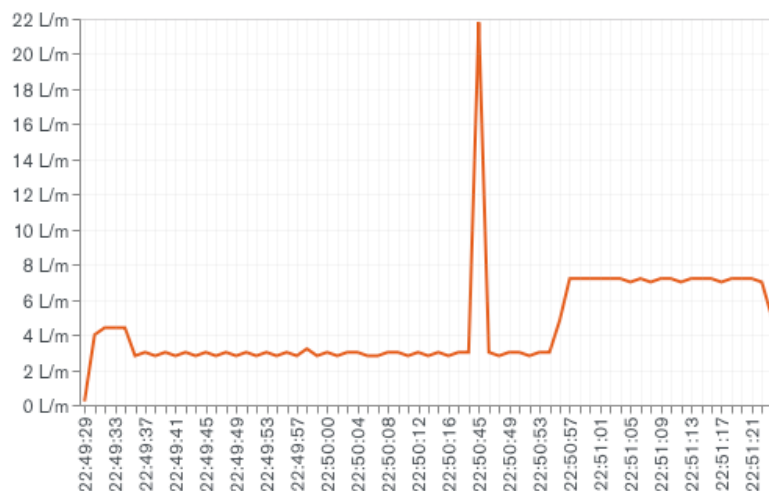


Figura 129: Gráfico do fluxo de água do utilizador U4 na 3ª lavagem dos dentes.

#### 4.4.2.3 Utilizador U5

Para o utilizador U5 foram analisados três duches e três lavagens de dentes. O primeiro duche do utilizador U5 teve como resultado o gráfico da Figura 130. Neste gráfico é possível verificar que o duche teve início por volta das 7:35:07 e concluiu-se por volta das 7:51:57. Este duche teve um ajuste no fluxo de água por volta das 7:36:40, o que leva a concluir que o utilizador ajustou a temperatura. No total o duche teve uma duração de 16min e 50s, o que reflete num consumo de 188,6L.

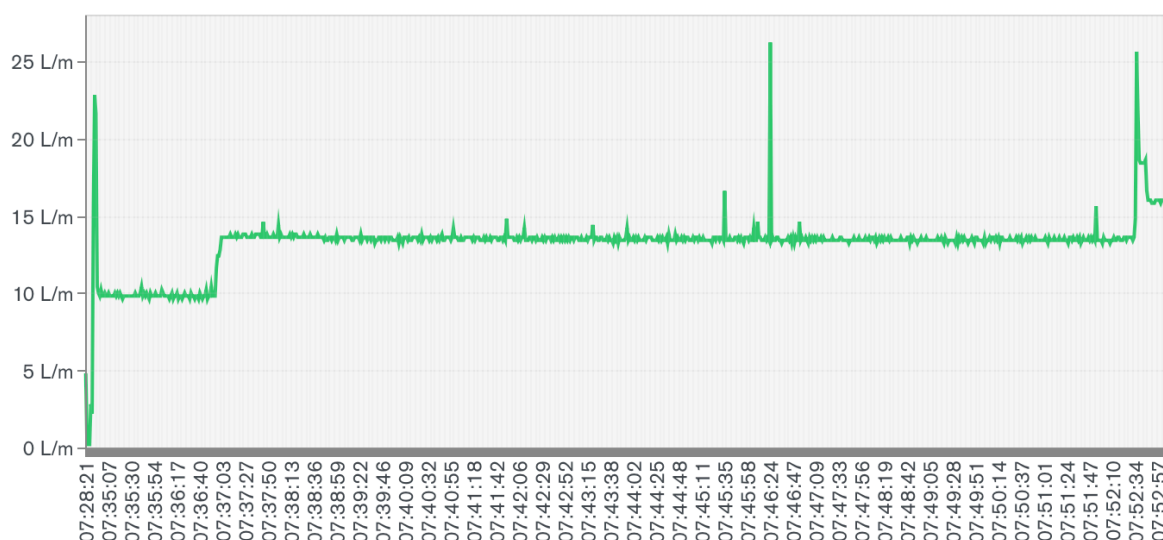


Figura 130: Gráfico do fluxo de água do utilizador U5 no 1º duche.

No 2º duche o utilizador U5 teve o padrão de consumo representado no gráfico da Figura 131. Analisando o gráfico, é possível visualizar que o duche iniciou às 19:04:50 e finalizou-se às 19:24:44, verificou-se que logo antes de terminar o duche existiram algumas

tarefas em simultâneo. No total, o utilizador demorou 19min e 54s com um consumo de 112,3L, o que reflete um menor consumo comparativamente ao anterior.

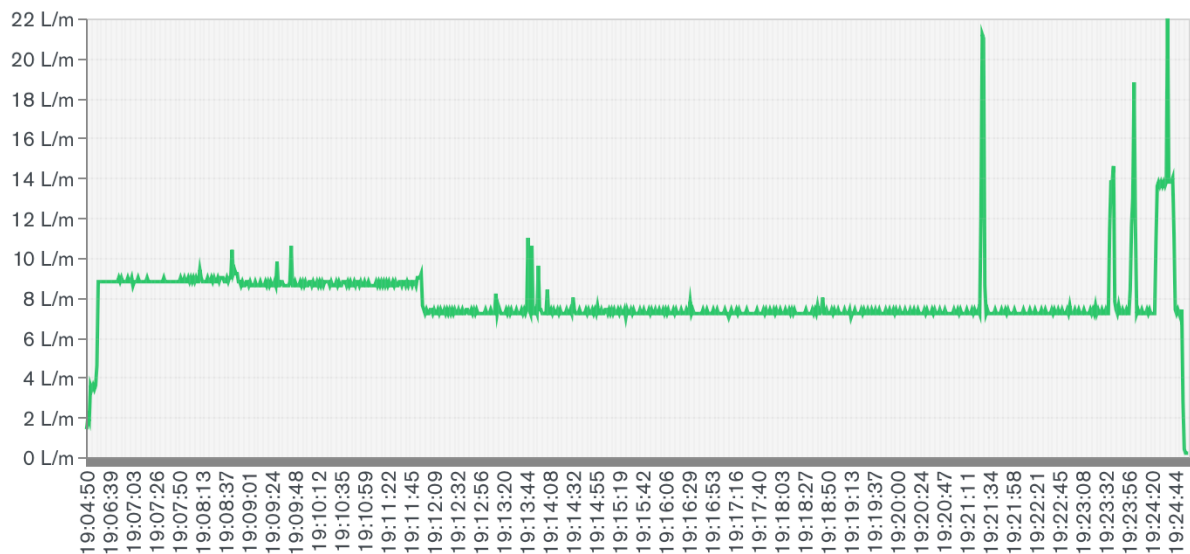


Figura 131: Gráfico do fluxo de água do 3º utilizador no 2º duche.

O 3º duche do 3º utilizador teve como resultado o gráfico da Figura 132, onde é possível verificar que o utilizador iniciou o seu duche por volta das 22:01:41 e finalizou por volta das 22:09:50. Nos instantes iniciais é visível uma oscilação no fluxo de água, o que se deve ao facto do utilizador regular a temperatura da água. Este duche teve uma duração de 8min e 10s com um consumo de 50,1L.

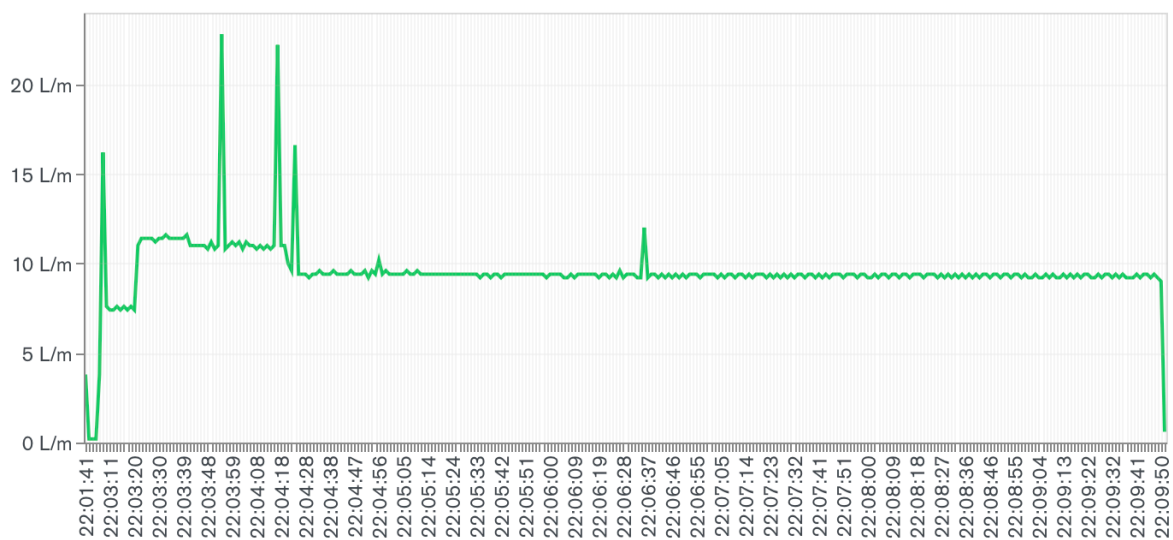


Figura 132: Gráfico do fluxo de água do utilizador U5 no 3º duche.

Na 1ª tarefa de lavar os dentes o utilizador U5 começou por abrir a torneira por volta das 22:15:09 e fechou por volta das 22:16:24, o que demonstra que este utilizador não fecha a

torneira enquanto escova os dentes, o que pode ser visto no gráfico Figura 133. No total este utilizador consumiu 6,7L e um duração de durante a 1ª tarefa de lavar os dentes.

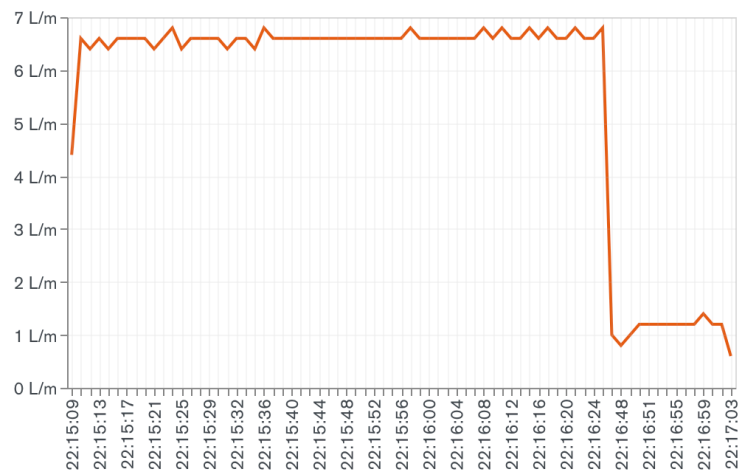


Figura 133: Gráfico do fluxo de água do utilizador U5 na 1ª lavagem dos dentes.

Numa 2ª tarefa de lavar os dentes o utilizador U5 teve o padrão de consumo do gráfico da Figura 134. Neste é possível verificar que novamente este utilizador manteve a torneira aberta ao lavar os dentes. A tarefa iniciou-se às 22:48:00 e finalizou-se às 22:50:10 com um consumo de 4,4L e duração de .

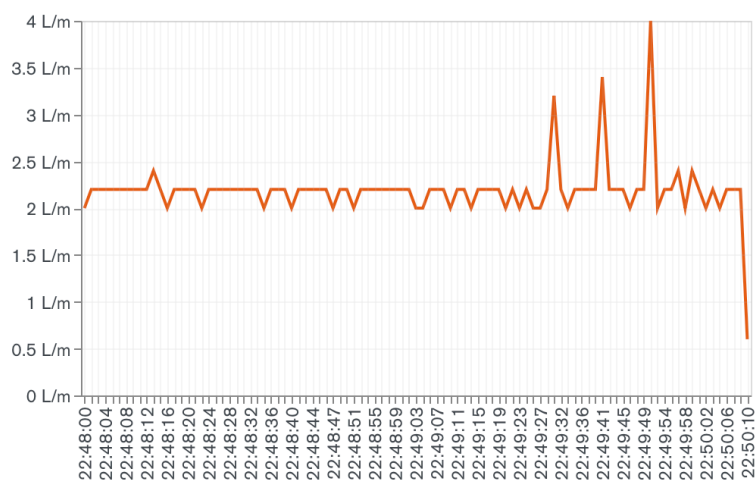


Figura 134: Gráfico do fluxo de água do utilizador U5 na 2ª lavagem dos dentes.

Na 3ª tarefa de lavar os dentes do utilizador U5 chegou-se ao gráfico da Figura 135. Neste gráfico pode-se observar que a tarefa de lavar os dentes decorreu entre as 8:21:08 e as 8:23:01, e coincidiu com outra tarefa. Calculando os consumos, baseando-se no aumento

do fluxo, chegou-se à conclusão que o utilizador consumiu 7,3L e que a sua lavagem dos dentes teve uma duração de 2min e 7s.

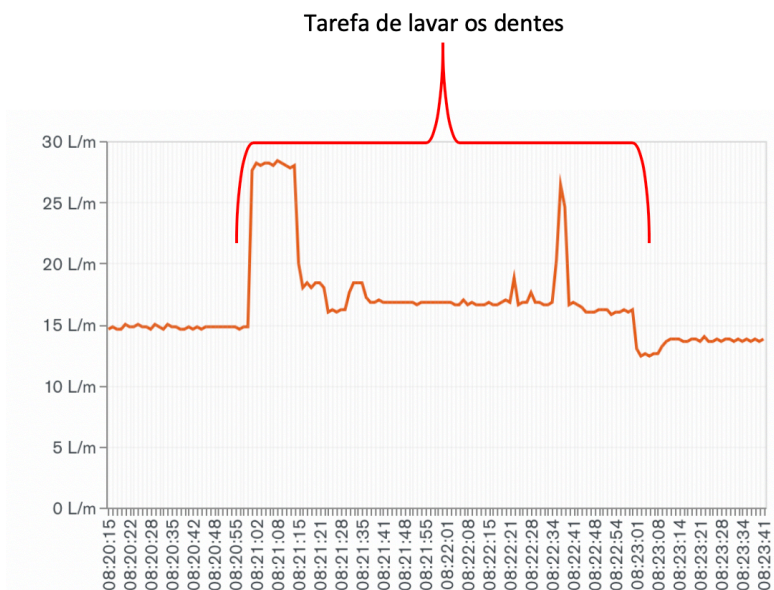


Figura 135: Gráfico do fluxo de água do utilizador U5 na 3ª lavagem dos dentes.

#### 4.4.2.4 3º caso de estudo

No que concerne ao 3º caso de estudo verificaram-se os consumos expressos no gráfico da Figura 136. Neste caso, os dias de maior consumo foram os de 31/12/2018 e 14/01/2019.

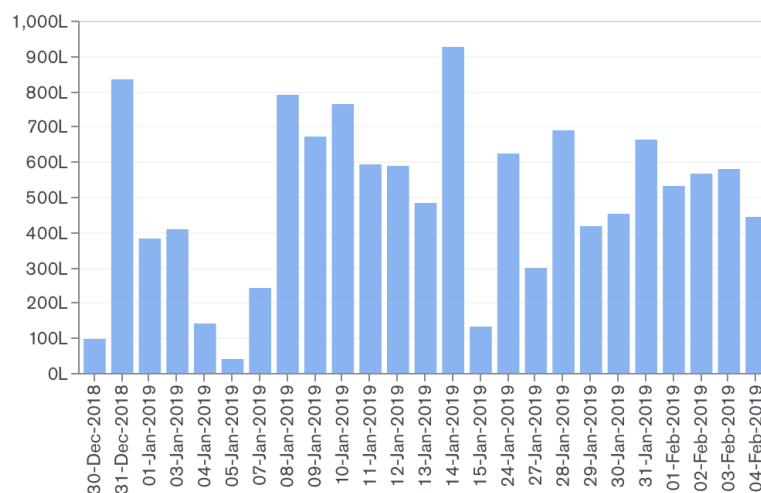


Figura 136: Gráfico do consumo por dia do 3º caso de estudo.

No 3º caso de estudo, tendo por base os dados e padrões detetados nos primeiros dois casos, efetuou-se uma pesquisa por padrões idênticos. Essa pesquisa consistiu em analisar visualmente os gráficos para encontrar semelhanças com os padrões já detetados. Um exemplo de avaliação efetuada encontra-se no gráfico da Figura 137, que representa o consumo durante 1h. Neste gráfico, é possível detetar um consumo constante entre as 6:46:45 e as 6:51:19. Retirando este período de consumo, obtém-se o gráfico da Figura 138, com a duração de 4min e 26s e um consumo de 30,8L. Dessa forma, estima-se que este

padrão represente um duche devido à sua duração, consumo e fluxo constante. Um outro padrão é detetado entre as 7:44:27 e as 7:45:15, como pode ser visto de forma detalhada na Figura 139. A sua análise afere uma duração de 48s e um consumo de 10L, que leva a crer tratar-se de que tem uma recarga de autoclismo.

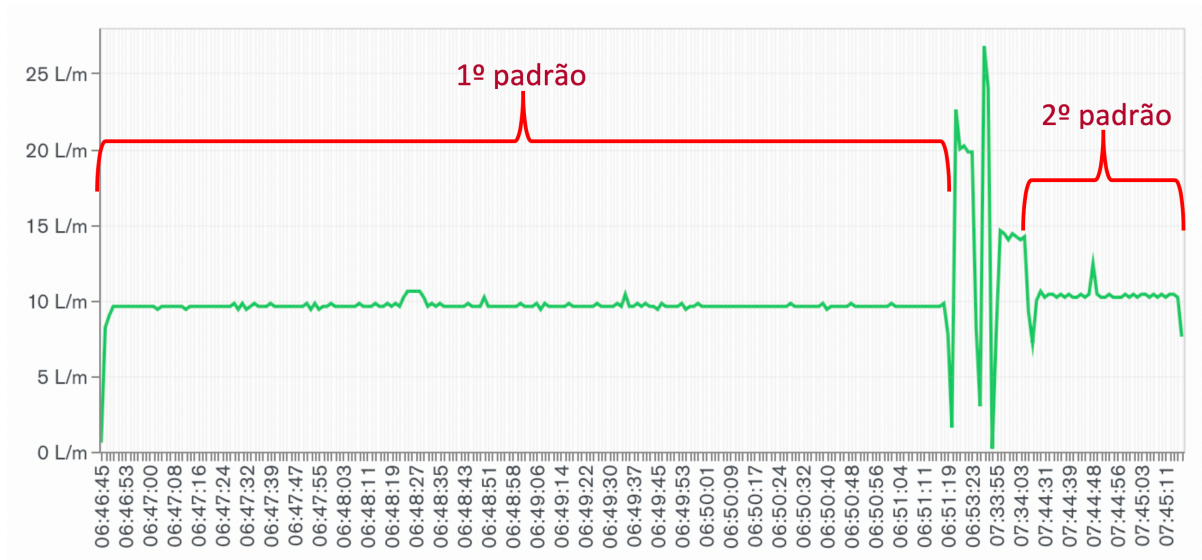


Figura 137: Deteção de padrões de consumo.

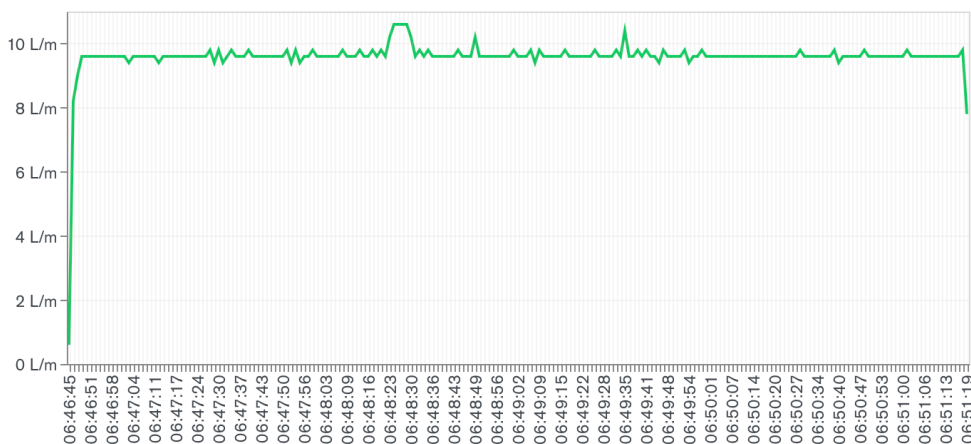


Figura 138: 1º Padrão de duche detetado.

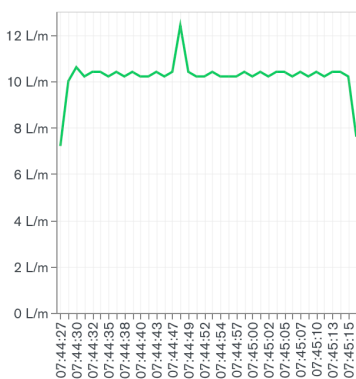


Figura 139: 2º padrão detetado.

A análise anteriormente descrita foi efetuada múltiplas vezes, conseguindo detetar-se vários padrões.

Um deles revelou semelhanças com o padrão de um duche, podendo ser visto na Figura 140. Neste gráfico, é possível observar que se iniciou por volta das 7:27:18 e finalizou-se por volta das 7:38:39. A sua análise permite verificar as alterações do fluxo no duche, que se supõe ser o utilizador a ajustar a temperatura ou o seu fluxo. No total, o utilizador demorou 11min e 21s e teve um consumo de 84L. Dado que este padrão é muito semelhante aos detetados anteriormente, conclui-se que exista uma alta probabilidade de se tratar de um padrão de duche.

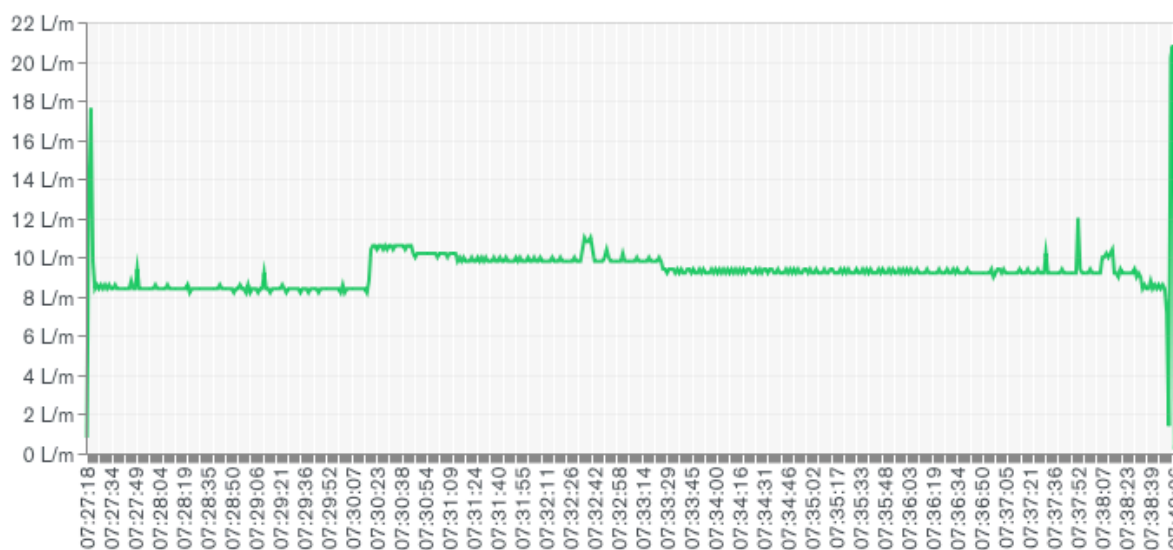


Figura 140: 3º Padrão de duche detetado.

No gráfico da Figura 141 é possível verificar um outro padrão semelhante ao padrão de um duche. Este padrão inicia-se por volta das 9:40:14 e finaliza-se por volta das 9:51:26, somando um total de 11min e 12s e um consumo de 92,3L.

Dada a duração, o consumo, o horário e a semelhança com padrões anteriores, é muito provável que este consumo seja provocado por um duche.

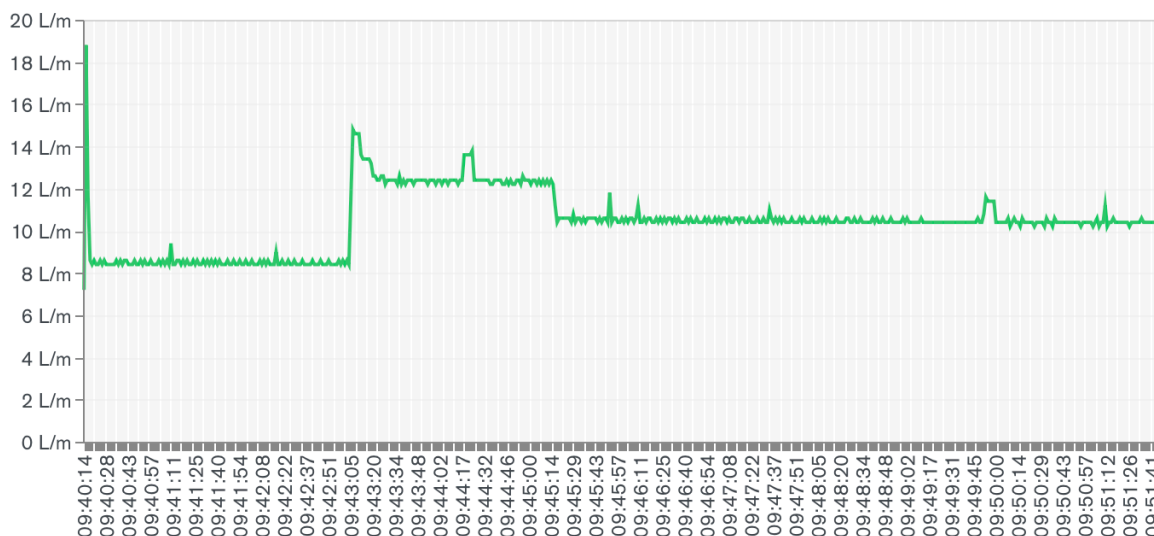


Figura 141: 4º Padrão de duche detetado.

Na Figura 142, do lado esquerdo, é possível encontrar um 5º padrão detetado que se inicia por volta das 9:05:43 e termina por volta das 9:06:46. Este padrão teve uma duração de 1min e 3s e um consumo de 10,2L. Numa segunda Figura 142, do lado direito, volta-se a encontrar um padrão semelhante a do lado esquerdo e ao da Figura 139. Este padrão inicia-se por volta das 18:12:15 e finaliza-se por volta das 18:13:22, e no decorrer observa-se um pico por volta das 18:12:28 o que deverá ser o utilizador a lavar as mãos. Neste padrão observou-se uma duração de 1min e 7s e um consumo de 10,2L. Em suma, tendo como base o consumo, duração e semelhanças conclui-se que estes padrões deverão ser o padrão do enchimento de uma sanita.

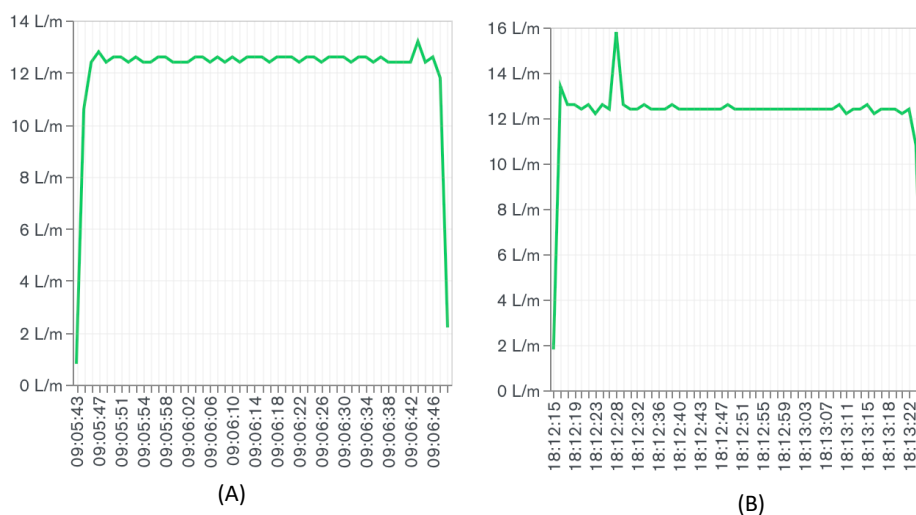


Figura 142: (A) 5º padrão de consumo. (B) 6º padrão de consumo.

#### 4.4.2.5 4º caso de estudo

Após a implementação do 4º caso de estudo, verificou-se que o fluxo de água desta implementação muitas vezes se encontrava superior ao fluxo máximo permitido pelo sensor, pelo que só foram recolhidos alguns dados.

Sendo o 4º caso de estudo um edifício, os consumos diários foram na ordem dos milhares. No gráfico da Figura 130 é possível verificar que os dias que tiveram maior consumo foram o dia 9/01/2019 e 10/01/2019.

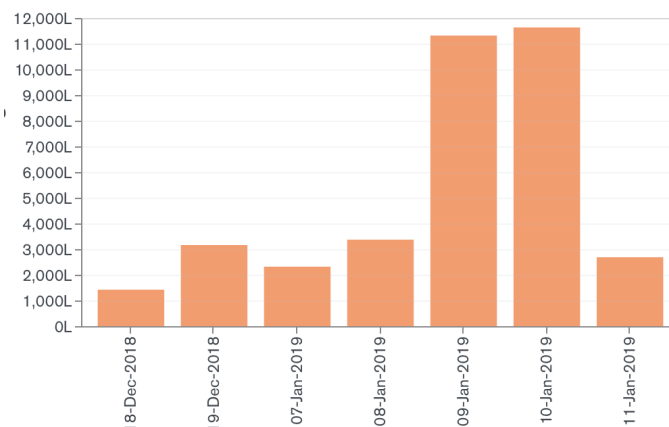


Figura 143: Gráfico do consumo por dia do 4º caso de estudo.

O 4º caso de estudo foi analisado da mesma forma que o 3º. Enquanto que no 3º caso de estudo é possível detetar padrões de consumo específicos, neste, dada a especificidade do espaço e o facto de existirem múltiplos utilizadores, muitas vezes em simultâneo, não é possível estabelecer uma relação entre o consumo e uma tarefa em concreto, como se pode ver na Figura 144 e na Figura 145. Sendo esta última uma análise detalhada dum período da figura anterior, vem reforçar o que já tinha sido referido: não é possível estabelecer uma relação entre o consumo e uma tarefa em particular, o que invalida a deteção de padrões como foi feito nos restantes casos.

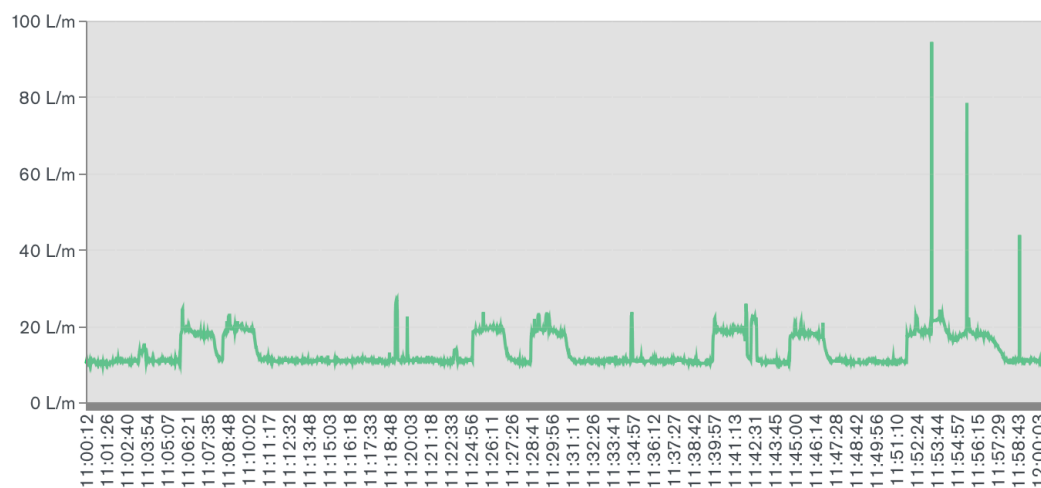


Figura 144: Padrão de consumo do 4º caso de estudo.

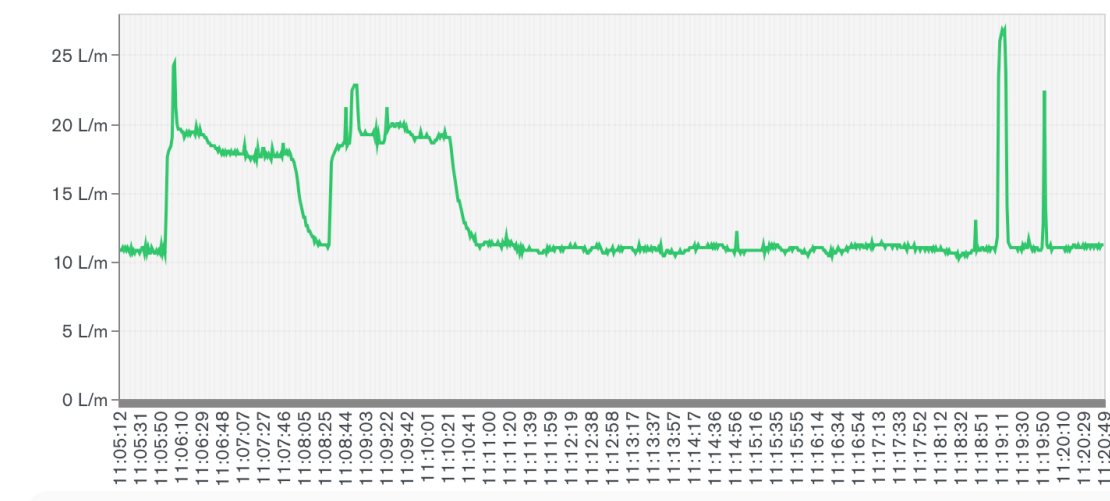


Figura 145: Padrão de consumo do 4º caso de estudo com maior detalhe.

### 4.4.3 Resumo da análise dos casos de estudo

Nesta seção será efetuada uma breve comparação entre os dados de consumo recolhidos nos três primeiros casos de estudo.

A Tabela 11 representa o consumo dos utilizadores para a realização da tarefa de tomar duche. Analisando-a, é possível encontrar utilizadores com consumos díspares, como é o caso do utilizador U5, com uma média de 116,8L por duche e uma duração de 14min e 58s. No outro extremo encontra-se o utilizador U4, com um consumo médio de 26,8L por duche e uma duração de 5min e 34s. Da análise dos consumos e respetiva duração dos dois primeiros casos, é possível estabelecer um paralelismo e deduzir que os padrões do terceiro tratam-se também de duchas, dada a semelhança.

Tabela 11: Tabela comparativa de consumos na tarefa de tomar duche.

Caso de estudo	Utilizador	1º Duche		2º Duche		3º Duche		Média	
		Duração	Consumo	Duração	Consumo	Duração	Consumo	Duração	Consumo
1º	U1	7min e 52s	46,47L	6min e 50s	36,00L	8min e 40s	55,90L	7min e 47s	46,12L
	U2	6min e 49s	19,70L	14min e 10s	77,90L	11min e 15s	50,60L	10min 34s	49,40L
	U3	6min e 31s	38,90L	6min e 51s	35,20L	4min e 35s	26,58L	5min e 59s	33,56L
2º	U4	3min e 41s	20,50L	6min e 41s	43,00L	6min e 21s	17,40L	5min e 34s	26,97L
	U5	16min e 50s	188,00L	19min e 54s	112,30L	8min e 10s	50,10L	14min e 58s	116,80L
3º	1º Padrão	4min e 26s	30,80L						
	2º Padrão	11min e 21s	84,00L						
	3º Padrão	11min e 12s	92,30L						

A Tabela 12 representa a execução da tarefa de lavar os dentes: consumos e duração. Observando os dados, é possível verificar que os utilizadores U4 e U5 têm o maior consumo de água, com 5,97L e uma duração de 1 min 22s e 6,13L e uma duração de 1min e 34s respetivamente, por tarefa. Avaliando o tempo da realização da tarefa, conclui-se que nenhum utilizador a executa de forma adequada pois, segundo [58], deverá ter uma duração entre 2min a 3min.

Tabela 12: Tabela comparativa de consumos na tarefa de lavar os dentes.

Caso de estudo	Utilizador	1ª Tarefa de lavar os dentes			2ª Tarefa de lavar os dentes			3ª Tarefa de lavar os dentes			Média		
		Duração de escovar	Duração total	Consumo	Duração de escovar	Duração total	Consumo	Duração de escovar	Duração total	Consumo	Duração de escovar	Duração total	Consumo
1º	U1	2min e 34s	2min e 58s	1,50L	47s	1min e 14s	1,60L	45s	2min e 7s	0,84L	1min e 22s	2min e 6s	1,31L
	U2	26s	1min e 5s	3,10L	26s	1min e 1s	2,70L	29s	1min e 2s	2,70L	27s	1min e 3s	2,83L
	U3	56s	1min e 4s	0,75L		7min e 4s	1,30L	3min e 16s	3min e 26s	0,70L	1min e 24s	3min e 51s	0,92L
2º	U4		43s	3,80L		1min e 31s	8,30L		1mine 52s	5,80L		1min e 22s	5,97L
	U5		1min e 24s	6,70L		2min e 10s	4,40L		1min e 7s	7,30L		1min e 34s	6,13L

De modo a avaliar a possibilidade de uma redução de consumos de água com o auxílio da Alexa para a execução de tarefas, em especial a lavagem dos dentes, foram realizados os testes descritos na secção 4.2, cujos resultados estão representados na Tabela 13. Analisando esta tabela e a anterior, verifica-se que as médias de consumo de lavagem são substancialmente inferiores utilizando a Alexa comparativamente à forma tradicional. Esta redução deve-se ao facto de os utilizadores possuírem maus hábitos na sua execução, nomeadamente deixar a torneira aberta enquanto escovam os dentes, abrirem a torneira com um fluxo excessivo ou demorarem demasiado tempo a enxaguar a boca. A utilização da Alexa permite não só ajudar a corrigir os maus hábitos como o cumprimento dos tempos mínimos recomendados para lavagem dos dentes.

Tabela 13: Tabela dos resultados obtidos no teste de consumo utilizando a Alexa.

Utilizador	1ª Tarefa de lavar os dentes			2ª Tarefa de lavar os dentes			2ª Tarefa de lavar os dentes			Média		
	Duração de escovar	Duração total	Consumo	Duração de escovar	Duração total	Consumo	Duração de escovar	Duração total	Consumo	Duração de escovar	Duração total	Consumo
1º	2min	2min e 20s	0,63L	01:55	2min 10s	0,71L	02:04	2min e 7s	0,57L	2min	2min e 12s	0,64L
2º	2min e 2s	2min e 18s	0,62L	02:03	2min e 19s	0,58L	02:02	2min e 17s	0,57L	2min e 2s	2min e 18s	0,59L

Por fim, a Tabela 14 representa a comparação entre os padrões recolhidos no 1º caso de estudo e os padrões detetados no 3º. Analisando a tabela, verifica-se que no 1º caso o enchimento do autoclismo demora em média 1min e 5s e consome 6,7L. No que toca ao 3º, verificou-se uma média de enchimento de 59s e 10,13L de consumo. Comparando os resultados dos dois casos, e partindo da informação de que um autoclismo tem capacidade para 7L a 15L [59], conclui-se que os padrões analisados no 3º caso têm uma alta probabilidade de se tratar da recarga do autoclismo.

Tabela 14: Tabela comparativa de consumos na tarefa de enchimento do autoclismo.

Caso de estudo	Tarefa	Duração	Consumo	Média	
				Duração	Consumo
1º	1º Enchimento do autoclismo	1min e 5s	6,70L	1min e 5s	6,73L
	2º Enchimento do autoclismo	56s	6,70L		
	2º Enchimento do autoclismo	1min e 14s	6,80L		
3º	4º Padrão de enchimento do autoclismo	48s	10,00L	59s	10,13L
	5º Padrão de enchimento do autoclismo	1min e 3s	10,20L		
	6º Padrão de enchimento do autoclismo	1min e 7s	10,20L		

## 5 Conclusões e Trabalho Futuro

Este projeto consistiu no desenvolvimento de um sistema inteligente de águas que permitisse recolher dados de consumo dos utilizadores e a sua interação com o mesmo, de forma a promover a consciencialização ambiental e a poupança de recursos hídricos.

Assim sendo, foram recolhidos dados de quatro casos de estudo, que totalizam consumos de 65698 litros de água e se refletem em 838878 inserções na base de dados.

Os dados recolhidos permitiram analisar os consumos de cinco utilizadores, dois do primeiro caso de estudo e três do segundo, mais especificamente na realização de duas tarefas em particular: lavar os dentes e tomar banho. A análise dos dados permite detetar padrões aquando da realização destas tarefas, assim como consumos muito diferentes consoante o utilizador em causa. Para além do estudo do consumo ao realizar as duas tarefas, foi também possível detetar o padrão referente ao enchimento do autoclismo. Partindo dos padrões detetados no primeiro e segundo caso de estudo, foram avaliados os consumos dos outros dois casos. A análise dos dados de consumo do terceiro caso de estudo permitiu detetar padrões com alta probabilidade de serem tarefas como tomar duche e o enchimento de autoclismo. O quarto caso, dada a sua especificidade e múltiplos utilizadores, por vezes em simultâneo, não permitiu detetar padrões de consumo na realização de tarefas em concreto.

Foram também realizados testes para averiguar a possível deteção de anomalias, como a torneira aberta, com baixo fluxo, a gotear, fuga no ligador e fuga provocada por um prego. Foi feita a comparação entre o padrão da rede sem fugas e os dados recolhidos dos testes com pressão e fluxo anormais, sendo possível distinguir claramente quando a torneira está aberta, assim como o baixo fluxo. Relativamente às restantes anomalias testadas, verifica-se que, em alguns casos, há uma ligeira distinção no padrão da pressão, mas no que se refere ao fluxo da água não foi detetada qualquer alteração. Ainda que tenha sido efetuada uma avaliação estatística básica que permitisse detetar anomalias e existam indicadores que apontem nessa direção, não é possível aferir essa conclusão sem um estudo estatístico avançado que detete o padrão da fuga de forma inequívoca.

O projeto implicou também o desenvolvimento de três tipos de interação com o sistema: através do website, pela aplicação móvel e com a assistente virtual Alexa. O website e a aplicação móvel permitem aos utilizadores a consulta dos consumos, acompanhar o atingir dos objetivos, saber se há anomalias na rede de águas e receber dicas de poupança para otimizar o gasto.

A interação com a Alexa permite ao utilizador a consulta de consumos, pedir a preparação de um duche, de um banho de imersão (encher a banheira) e abrir as torneiras.

Ainda relativamente à Alexa, foram desenvolvidas habilidades para o auxílio nas tarefas de lavar os dentes e as mãos. Foi efetuado um teste para avaliar o impacto do auxílio da Alexa no consumo de água aquando da lavagem dos dentes. Não só se verifica que há uma redução no consumo, como há uma promoção do tempo recomendado de escovagem de dois a três minutos, que antes não acontecia, de acordo com a análise dos padrões.

Foram executados testes de usabilidade nos três tipos de interação, tendo-se verificado que é boa em todos. Os testes permitiram detetar alguns aspetos a melhorar, como a adição de formas distintas de pedir à Alexa a execução da mesma tarefa e também mais feedback em alguns botões do website.

Para averiguar se realmente existe uma mudança de comportamentos, seria necessário expandir o tempo de testes e o número de utilizadores para a respetiva validação.

Em suma, este projeto permitiu detetar alguns padrões de consumo, mas um estudo mais longo e aprofundado no futuro permitiria fazê-lo com maior grau de confiança. É certo que a adição de uma componente de Machine Learning e de Inteligência Artificial ao projeto automatizariam o reconhecimento dos padrões de consumo.

A utilização de um assistente virtual neste tipo de sistema revelou-se adequada, ainda que tenha encontrado algumas barreiras, como a falta de familiaridade dos utilizadores, não obstante o interesse que demonstram em aprender e utilizar este tipo de interação.

Este projeto deu origem a um artigo na conferência INFORUM 2018 e uma demo na conferência EXP.AT'19.

O desenvolvimento deste projeto foi um enorme desafio, não só académico como pessoal. Ainda durante a sua realização, o conceito e os objetivos foram submetidos como uma ideia de negócio à Start Up Madeira, no âmbito do programa Start Now, que é um acelerador de startups. Tendo passado por várias fases de eliminação e de aperfeiçoamento da ideia inicial durante os últimos cinco meses, o projeto chegou até à fase final do programa.

Este projeto não termina com a conclusão deste relatório. Os dados estatísticos de consumo de recursos hídricos a nível mundial são preocupantes e as potencialidades que este projeto expôs tornam-no cada vez mais relevante numa sociedade sensível às questões ambientais.

A conjugação destes fatores é um claro indicador de que este trabalho pode passar de um projeto académico a uma solução que faça parte do quotidiano dos consumidores.

## Referências

- [1] J. Chase, «The evolution of the internet of things», *Tex. Instrum.*, pp. 1–5, 2013.
- [2] «Os contadores domiciliários de água». [Em linha]. Disponível em: [https://www.cm-albufeira.pt/sites/default/files/public/RepositorioDocumentos/caderno03\\_contadores\\_agua\\_0.pdf](https://www.cm-albufeira.pt/sites/default/files/public/RepositorioDocumentos/caderno03_contadores_agua_0.pdf). [Acedido: 25-Jun-2018].
- [3] «3 Types of Water Meters Explained | DoItYourself.com». [Em linha]. Disponível em: <https://www.doityourself.com/stry/3-types-of-water-meters-explained>. [Acedido: 22-Jun-2018].
- [4] «ELECTROMAGNETIC FLOW METER | Flow Knowledge | KEYENCE America». [Em linha]. Disponível em: <https://www.keyence.com/ss/products/process/flowknowledge/types/electromagnetic.jsp>. [Acedido: 22-Jun-2018].
- [5] «The Learning Water Meter - FLUID». [Em linha]. Disponível em: <http://www.fluidwatermeter.com/#get-fluid>. [Acedido: 29-Jun-2018].
- [6] «Long-range low-power smart water meter AQUA 1 | WAVIoT LPWAN». [Em linha]. Disponível em: <http://dgmatics.com/product/smart-devices/waviot-smart-water-meter-swm-1>. [Acedido: 29-Jun-2018].
- [7] «MULTICAL® 21 / flowIQ® 21xx». [Em linha]. Disponível em: [https://www.kamstrup.com/en-en/products-solutions/water-meters/residential-water-meter#](https://www.kamstrup.com/en-en/products-solutions/water-meters/residential-water-meter#/)/. [Acedido: 29-Jun-2018].
- [8] «Sensus Products: ally® Water Meters». [Em linha]. Disponível em: <https://sensus.com/products/ally-water-meters/>. [Acedido: 05-Jul-2018].
- [9] «Sensus Communication Networks: FlexNet (International)». [Em linha]. Disponível em: <https://sensus.com/communication-networks/sensus-technologies/flexnet-international/>. [Acedido: 05-Jul-2018].
- [10] «MyShower | A Ducha Sensorial». [Em linha]. Disponível em: <http://www.myshower.com.br/>. [Acedido: 30-Jun-2018].
- [11] «SJ-F200N digital faucet-Foshan SUNDREAM Electronics Co.,Ltd». [Em linha]. Disponível em: <http://www.sundream.com.cn/products/ThermostaticProducts/26.html>. [Acedido: 30-Jun-2018].
- [12] «BNSTAR – Internet of Things – Internet of Water». [Em linha]. Disponível em: <http://www.bnstar.io/en/>. [Acedido: 29-Jun-2018].
- [13] «Command Bar - Polk Audio». [Em linha]. Disponível em: <https://en.polkaudio.com/products/command-sound-bar-int>. [Acedido: 14-Jun-2018].
- [14] «ecobee4 | ecobee | Smart Home Technology». [Em linha]. Disponível em: <https://www.ecobee.com/ecobee4/>. [Acedido: 14-Jun-2018].
- [15] «Alexa Skills Kit - Build for Voice with Amazon». [Em linha]. Disponível em: <https://developer.amazon.com/alexa-skills-kit>. [Acedido: 13-Jun-2018].
- [16] «Build Skills with the Alexa Skills Kit | ASK». [Em linha]. Disponível em: <https://developer.amazon.com/docs/ask-overviews/build-skills-with-the-alexa-skills-kit.html>. [Acedido: 13-Jun-2018].
- [17] Tetsuya Yokotani e Yuya Sasaki, «Comparison with HTTP and MQTT on required network resources for IoT», em *2016 International Conference on Control, Electronics, Renewable Energy and Communications (ICCEREC)*, 2016, pp. 1–6.
- [18] «Introduction | Introduction to Bluetooth Low Energy | Adafruit Learning System». [Em linha]. Disponível em: <https://learn.adafruit.com/introduction-to-bluetooth-low-energy/introduction>. [Acedido: 08-Fev-2019].
- [19] «Bluetooth Vs. Bluetooth Low Energy: What's The Difference?» [Em linha].

- Disponível em: <https://www.link-labs.com/blog/bluetooth-vs-bluetooth-low-energy>. [Acedido: 08-Fev-2019].
- [20] «IEEE 802.15.1». [Em linha]. Disponível em: <http://www.ieee802.org/15/pub/TG1.html>. [Acedido: 28-Jan-2019].
- [21] «Understanding Bluetooth Security», *Decipher*. [Em linha]. Disponível em: <https://duo.com/decipher/understanding-bluetooth-security>. [Acedido: 08-Fev-2019].
- [22] «What is Zigbee? | Zigbee Alliance». [Em linha]. Disponível em: <https://www.zigbee.org/what-is-zigbee/>. [Acedido: 08-Fev-2019].
- [23] «IEEE 802.15.4». [Em linha]. Disponível em: <http://www.ieee802.org/15/pub/TG4.html>. [Acedido: 28-Jan-2019].
- [24] V. Rudresh, «ZigBee Security: Basics (Part 1)», 01-Nov-2017. .
- [25] «Security in ZigBee communications», *INCIBE-CERT*, 26-Abr-2016. [Em linha]. Disponível em: <https://www.incibe-cert.es/en/blog/security-zigbee-communications>. [Acedido: 08-Fev-2019].
- [26] «Safer, Smarter Homes Start with Z-Wave», *Z-Wave*. [Em linha]. Disponível em: <https://www.z-wave.com/>. [Acedido: 08-Fev-2019].
- [27] «What is Z-Wave | Vesternet». [Em linha]. Disponível em: <https://www.vesternet.com/what-is-z-wave/>. [Acedido: 08-Fev-2019].
- [28] J. Lee, Y. Su, e C. Shen, «A Comparative Study of Wireless Protocols: Bluetooth, UWB, ZigBee, and Wi-Fi», em *IECON 2007 - 33rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 2007, pp. 46–51.
- [29] B. Ray, «ZigBee Vs. Bluetooth: A Use Case With Range Calculations». [Em linha]. Disponível em: <https://www.link-labs.com/blog/zigbee-vs-bluetooth>. [Acedido: 08-Fev-2019].
- [30] C. Gomez, J. Oller, e J. Paradells, «Overview and Evaluation of Bluetooth Low Energy: An Emerging Low-Power Wireless Technology», *Sensors*, vol. 12, n. 9, pp. 11734–11753, Set. 2012.
- [31] S. Lee, H. Kim, D. Hong, e H. Ju, «Correlation analysis of MQTT loss and delay according to QoS level», em *The International Conference on Information Networking 2013 (ICOIN)*, 2013, pp. 714–717.
- [32] «MQTT Essentials: Client, Broker and Connection Establishment». [Em linha]. Disponível em: <https://www.hivemq.com/blog/mqtt-essentials-part-3-client-broker-connection-establishment>. [Acedido: 13-Jun-2018].
- [33] «MQTT Essentials: Client, Broker and Connection Establishment». [Em linha]. Disponível em: <https://www.hivemq.com/blog/mqtt-essentials-part-3-client-broker-connection-establishment>. [Acedido: 13-Jun-2018].
- [34] Mark Masse, *REST API Design Rulebook: Designing Consistent RESTful Web Service Interfaces*, First. 2011.
- [35] K. A. Nguyen, O. Sahin, R. A. Stewart, e H. Zhang, «Smart Technologies in Reducing Carbon Emission: Artificial Intelligence and Smart Water Meter», em *Proceedings of the 9th International Conference on Machine Learning and Computing*, New York, NY, USA, 2017, pp. 517–522.
- [36] V. Srinivasan, J. Stankovic, e K. Whitehouse, «WaterSense: Water Flow Disaggregation Using Motion Sensors», em *Proceedings of the Third ACM Workshop on Embedded Sensing Systems for Energy-Efficiency in Buildings*, New York, NY, USA, 2011, pp. 19–24.
- [37] A. Sikora, P. Villalonga, e K. Landwehr, «Extensions to Wireless M-Bus Protocol for Smart Metering and Smart Grid Application», em *Proceedings of the International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics*, New York, NY, USA, 2012, pp. 399–404.
- [38] M. J. Mudumbe e A. M. Abu-Mahfouz, «Smart water meter system for user-centric

consumption measurement», em *2015 IEEE 13th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, 2015, pp. 993–998.

[39] M. Magat, «Smart water metering», ... *J. Aust. Water* ....

[40] R. Barbosa, «Sistema de monitorização de consumo de água utilizando tecnologia Sigfox», 2017.

[41] R. M. Willis, R. A. Stewart, D. P. Giurco, M. R. Talebpour, e A. Mousavinejad, «End use water consumption in households: impact of socio-demographic factors and efficient devices», *J. Clean. Prod.*, vol. 60, pp. 107–115, Dez. 2013.

[42] A. Royo, «Un sistema de gestión inteligente de agua en Madrid permite reducir su consumo hasta un 50%», *iAgua*, 30-Jan-2017. [Em linha]. Disponível em: <https://www.iagua.es/noticias/espana-estados-unidos-reino-unido/libelium/17/01/30/sistema-gestion-inteligente-agua-madrid>. [Acedido: 25-Jul-2018].

[43] J. E. Froehlich, E. Larson, T. Campbell, C. Haggerty, J. Fogarty, e S. N. Patel, «HydroSense: Infrastructure-mediated Single-point Sensing of Whole-home Water Activity», em *Proceedings of the 11th International Conference on Ubiquitous Computing*, New York, NY, USA, 2009, pp. 235–244.

[44] J. Fogarty, C. Au, e S. E. Hudson, «Sensing from the Basement: A Feasibility Study of Unobtrusive and Low-cost Home Activity Recognition», em *Proceedings of the 19th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, New York, NY, USA, 2006, pp. 91–100.

[45] J. Dai, M. Li, S. Sahu, M. Naphade, e F. Chen, «Multi-granular Demand Forecasting in SmarterWater», em *Proceedings of the 13th International Conference on Ubiquitous Computing*, New York, NY, USA, 2011, pp. 595–596.

[46] T. Erickson, M. Podlaseck, S. Sahu, J. D. Dai, T. Chao, e M. Naphade, «The Dubuque Water Portal: Evaluation of the Uptake, Use and Impact of Residential Water Consumption Feedback», em *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA, 2012, pp. 675–684.

[47] R. M. Willis, R. A. Stewart, K. Panuwatwanich, S. Jones, e A. Kyriakides, «Alarming visual display monitors affecting shower end use water and energy conservation in Australian residential households», *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 54, n. 12, pp. 1117–1127, Out. 2010.

[48] «R\$ 25.78 |Flow Meter Ssensor Water Fuel Flowmeter Counter Indicator with temperature probe Swimming Pool 1 30L/Min G3/4 DN20 em Medidores de Fluxo de Ferramentas no AliExpress.com | Alibaba Group», *aliexpress.com*. [Em linha]. Disponível em: [https://pt.aliexpress.com/item/Flow-Meter-Ssensor-Water-Fuel-Flowmeter-Counter-Indicator-with-temperature-probe-Swimming-Pool-1-30L-Min/32808333342.html?src=ibdm\\_d03p0558e02r02&sk=&aff\\_platform=&aff\\_trace\\_key=&af=&cv=&cn=&dp=](https://pt.aliexpress.com/item/Flow-Meter-Ssensor-Water-Fuel-Flowmeter-Counter-Indicator-with-temperature-probe-Swimming-Pool-1-30L-Min/32808333342.html?src=ibdm_d03p0558e02r02&sk=&aff_platform=&aff_trace_key=&af=&cv=&cn=&dp=). [Acedido: 10-Fev-2019].

[49] H. Khemani, «How Solenoid Valve Works? Parts of Solenoid Valves», *Bright Hub Engineering*, 18-Nov-2009. .

[50] «About motorized control valves, types, options and applications», *HPAC Magazine*. [Em linha]. Disponível em: <https://www.hpacmag.com/features/motorized-control-valves/>. [Acedido: 10-Fev-2019].

[51] «Unique Operating Dynamics of Trunnion-Mounted Ball Valves». [Em linha]. Disponível em: <http://www.valvemagazine.com/magazine/sections/features/8859-unique-operating-dynamics-of-trunnion-mounted-ball-valves.html>. [Acedido: 10-Fev-2019].

[52] «2-way CWX-15N stainless steel electric valve motorized water ball valve 5v 12v 24v for drinking water,water shut off system - Coowor.com». [Em linha]. Disponível em: <https://tfbhjt.coowor.com/shop/product-detail/20160829150848EX3S.htm?jsessionid=11E2EC3E48DD2AAFD12566336CFA4F1F>. [Acedido: 10-Fev-2019].

- [53] A. I. Martins, A. F. Rosa, A. Queirós, A. Silva, e N. P. Rocha, «European Portuguese Validation of the System Usability Scale (SUS)», *Procedia Comput. Sci.*, vol. 67, pp. 293–300, 2015.
- [54] «Escovagem dos dentes». [Em linha]. Disponível em: [https://www.saudeoral.min-saude.pt/isisoPnpsoRepo/Folheto\\_Escovagem\\_Dentes\\_Como\\_Fazer\\_i007736.pdf](https://www.saudeoral.min-saude.pt/isisoPnpsoRepo/Folheto_Escovagem_Dentes_Como_Fazer_i007736.pdf). [Acedido: 12-Fev-2019].
- [55] «Ecocasa». [Em linha]. Disponível em: [https://www.ecocasa.pt/agua\\_content.php?id=40](https://www.ecocasa.pt/agua_content.php?id=40). [Acedido: 12-Fev-2019].

## 6 Anexos

### 6.1 Anexo A – Requisitos do sistema

ID Req	Tipo de requisito	Nome do requisito	Descrição
REQ-01	NF Segurança	Autenticação da aplicação	A aplicação deverá permitir ao utilizador autenticar-se através de credencias válidas
REQ-02	NF Segurança	Autenticação do site	A site deverá permitir ao utilizador autenticar-se através de credencias válidas
REQ-03	NF Segurança	Comunicações encriptadas	Comunicações encriptadas entre dispositivos
REQ-04	NF Segurança	Autenticação por tokens nas APIs	Utilizar a autenticação por tokens nas APIs
REQ-05	Funcionais	Consultar consumos - Totais	Consultar os consumos totais da casa
REQ-06	Funcionais	Consultar consumos - Por compartimento	Consultar consumos de água por compartimento, por exemplo cozinha, WC
REQ-07	Funcionais	Metas de consumo	Permitir definir uma meta de consumo para casa. Por exemplo consumo de 0,150 m <sup>3</sup> por cada duche efetuado
REQ-09	Funcionais	Recomendações - Geral	Efetuar recomendações para atingir o consumo alvo
REQ-10	Funcionais	Recomendações - Por equipamento	Efetuar recomendações para atingir o consumo alvo no equipamento
REQ-11	Funcionais	Corte de água remoto	Permitir o corte de água de forma remota.
REQ-12	Funcionais	Regulação de caudal	Permite ao utilizador regular o fluxo de água de forma a diminuir o consumo
REQ-13	Funcionais	Notificações de anomalias	Caso seja detetada uma anomalia, notifica o utilizador
REQ-14	Funcionais	Alerta temperatura alta	O utilizador é notificado de que a temperatura utilizada excede o recomendado
REQ-15	NF Fiabilidade	Armazenamento da informação localmente	A informação recolhida do estado da rede terá de ser armazenada localmente, e para o efeito poderá ser utilizado um cartão SD.
REQ-16	NF Usabilidade	Interação por voz	Possibilidade de utilizador interagir através da voz com o sistema. A interação poderá ser o pedido de abertura de uma torneira, uma consulta dos consumos e a execução de uma tarefa, entre outros.
REQ-16	Funcionais	Armazenamento da informação recolhida	Armazenar a informação dos sensores numa base de dados

## 6.2 Anexo B – API Load Balancer e Servidor principal

User		▼
POST	/users	↑
GET	/users/{user_id}	↑
POST	/users/{user_id}	↑
Application		▼
GET	/users/{user_id}/application	↑
POST	/applications	↑
DELETE	/applications/{application_id}	↑
GET	/applications/{application_id}	↑
Device		▼
POST	/application/{application_id}/device	↑
POST	/devices	↑
GET	/devices/{device_id}	↑
DELETE	/devices/{device_id}	↑
GET	/devices/applications/{application_id}	↑
GET	/devices/search/{device_name}	↑
GET	/devices/location/{location_id}	↑
GET	/devices/{device_id}/components	↑
Component		▼
POST	/components	↑
GET	/components/{component_id}	↑
DELETE	/components/{component_id}	↑
GET	/components/{component_id}/sensors	↑
GET	/components/{component_id}/actuators	↑
Location		▼
GET	/locations	↑
POST	/locations	↑
GET	/location/{location_id}	↑
DELETE	/location/{location_id}	↑

## Observation

GET	/sensors/{sensor_id}/observations	↕
POST	/sensors/{sensor_id}/observations	↕
POST	/observations	↕
GET	/observations/{observation_id}	↕
DELETE	/observations/{observation_id}	↕
GET	/observations/by/{application_id}	↕
GET	/observations/{start_date}/{end_date}/by/{application_id}	↕
GET	/observations/{start_date}/{end_date}/by/{application_id}/sum	↕
GET	/observations/{start_date}/{end_date}/by/{application_id}/avg/per/{type}	↕

## Sensor

POST	/components/{component_id}/sensors	↕
POST	/sensors	↕
GET	/sensors/{sensor_id}	↕
DELETE	/sensors/{sensor_id}	↕

## Actuator

POST	/components/{component_id}/actuators	↕
GET	/actuators/{actuator_id}	↕
DELETE	/actuators/{actuator_id}	↕

## Action

POST	/actuators/<actuator_id>/actions	↕
GET	/actions/{action_id}	↕
DELETE	/actions/{action_id}	↕
GET	/actions/by/{action_id}	↕
GET	/actions/{start_date}/{end_date}/by/{application_id}	↕

## Unit

GET	/units	↕
POST	/measures/<measure_id>/units	↕
POST	/parameters/<parameter_id>/units	↕
GET	/units/{unit_id}	↕
DELETE	/units/{unit_id}	↕

## Parameter



GET	/parameters	↕
POST	/parameters	↕
GET	/parameters/{parameter_id}	↕
DELETE	/parameters/{parameter_id}	↕

## Measure



GET	/measures	↕
POST	/measures	↕
GET	/measures/{measure_id}/unit	↕
GET	/measures/{measure_id}	↕
DELETE	/measures/{measure_id}	↕

## 6.1 Anexo C – API gestor de dados

User		⌵
POST	/users	⌴
GET	/users/{user_id}	⌴
POST	/users/{user_id}	⌴
Application		⌵
GET	/users/{user_id}/application	⌴
POST	/applications	⌴
DELETE	/applications/{application_id}	⌴
GET	/applications/{application_id}	⌴
Device		⌵
POST	/application/{application_id}/device	⌴
POST	/devices	⌴
GET	/devices/{device_id}	⌴
DELETE	/devices/{device_id}	⌴
GET	/devices/applications/{application_id}	⌴
GET	/devices/search/{device_name}	⌴
GET	/devices/location/{location_id}	⌴
GET	/devices/{device_id}/components	⌴
Component		⌵
POST	/components	⌴
GET	/components/{component_id}	⌴
DELETE	/components/{component_id}	⌴
GET	/components/{component_id}/sensors	⌴
GET	/components/{component_id}/actuators	⌴
Location		⌵
GET	/locations	⌴
POST	/locations	⌴
GET	/location/{location_id}	⌴
DELETE	/location/{location_id}	⌴

## Observation ▼

GET	/sensors/{sensor_id}/observations	↕
POST	/sensors/{sensor_id}/observations	↕
POST	/observations	↕
GET	/observations/{observation_id}	↕
DELETE	/observations/{observation_id}	↕
GET	/observations/by/{aplication_id}	↕
GET	/observations/{start_date}/{end_date}/by/{aplication_id}	↕
GET	/observations/{start_date}/{end_date}/by/{aplication_id}/sum	↕
GET	/observations/{start_date}/{end_date}/by/{aplication_id}/avg/per/{type}	↕

## Sensor ▼

POST	/components/{component_id}/sensors	↕
POST	/sensors	↕
GET	/sensors/{sensor_id}	↕
DELETE	/sensors/{sensor_id}	↕

## Actuator ▼

POST	/components/{component_id}/actuators	↕
GET	/actuators/{actuator_id}	↕
DELETE	/actuators/{actuator_id}	↕

## Action ▼

POST	/actuators/<actuator_id>/actions	↕
GET	/actions/{action_id}	↕
DELETE	/actions/{action_id}	↕
GET	/actions/by/{action_id}	↕
GET	/actions/{start_date}/{end_date}/by/{aplication_id}	↕

## Unit ▼

GET	/units	↕
POST	/measures/<measure_id>/units	↕
POST	/parameters/<parameter_id>/units	↕
GET	/units/{unit_id}	↕
DELETE	/units/{unit_id}	↕

Parameter



GET	/parameters	↕
POST	/parameters	↕
GET	/parameters/{parameter_id}	↕
DELETE	/parameters/{parameter_id}	↕

Measure



GET	/measures	↕
POST	/measures	↕
GET	/measures/{measure_id}/unit	↕
GET	/measures/{measure_id}	↕
DELETE	/measures/{measure_id}	↕

## 6.1 Anexo D – Protótipos de baixa fidelidade

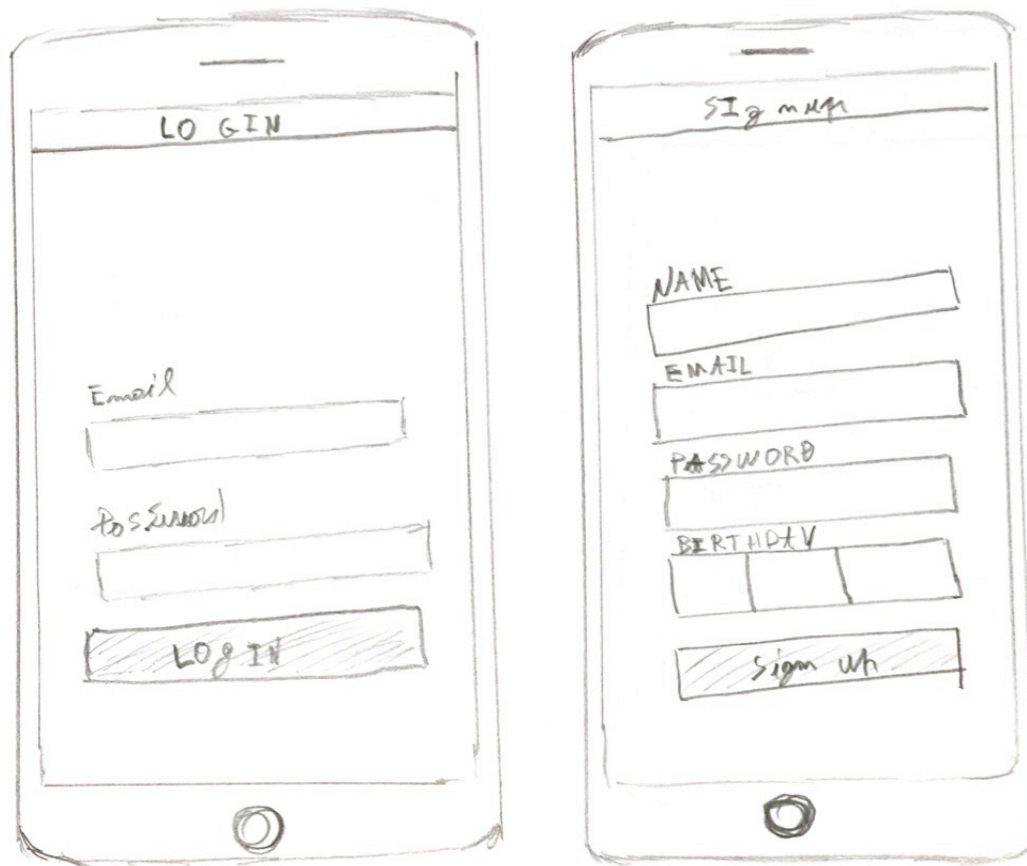


Figura 146: Protótipos de baixa fidelidade da vista login e signup da aplicação móvel

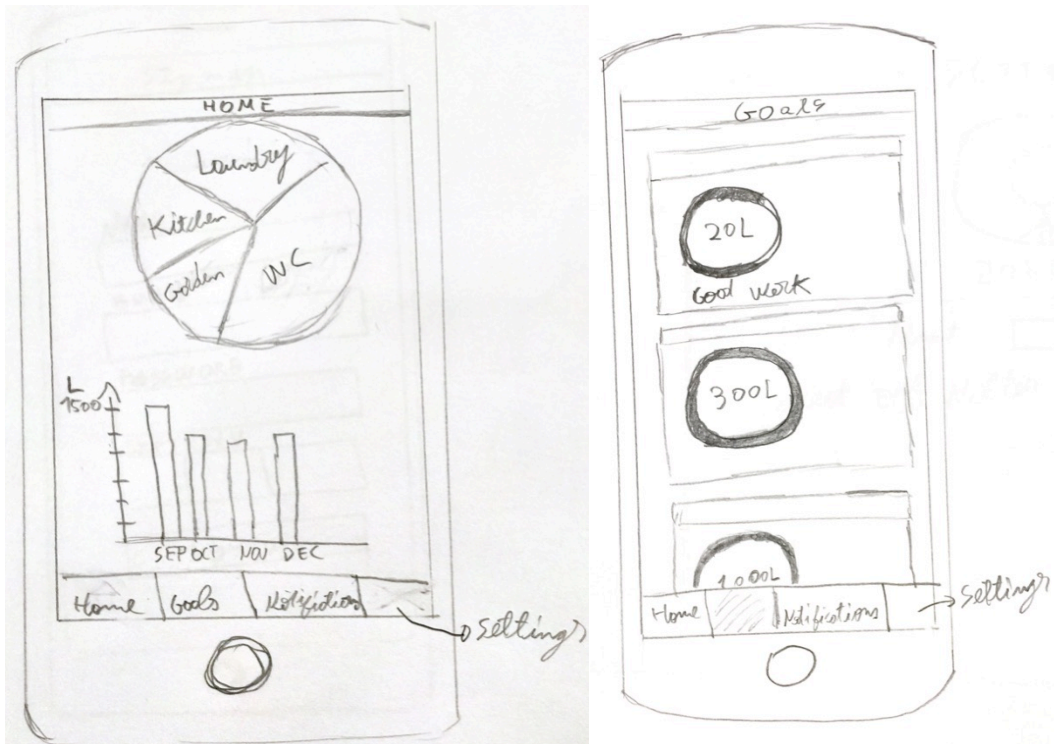


Figura 147: Protótipos de baixa fidelidade da vista Home e Goals da aplicação móvel

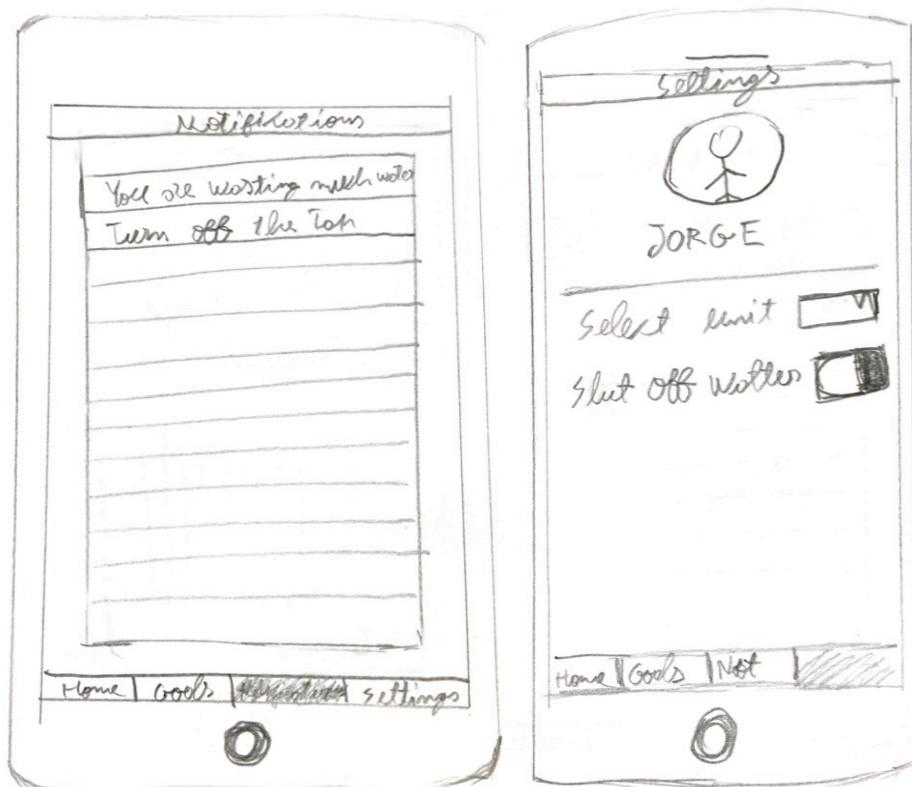


Figura 148: Protótipos de baixa fidelidade da vista Notifications e Settings da aplicação móvel

LOGIN

EMAIL

PASSWORD

LOGIN

sign up

Figura 149: Protótipo de baixa fidelidade da vista de Login do website

SIGN UP

NAME

EMAIL

PASSWORD

BIRTHDAY

SIGN UP

Figura 150: Protótipo de baixa fidelidade da vista de Signup do website

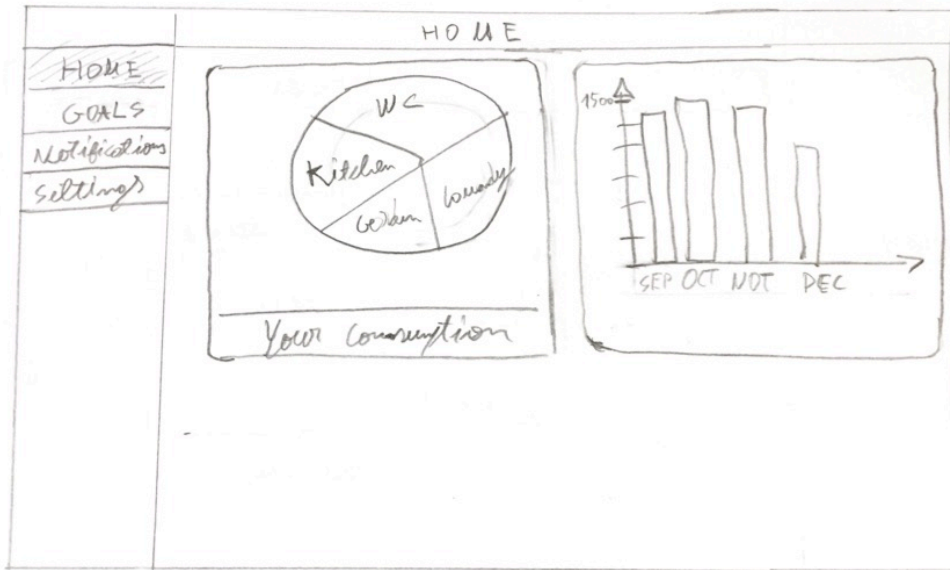


Figura 151: Protótipo de baixa fidelidade da vista Home do website

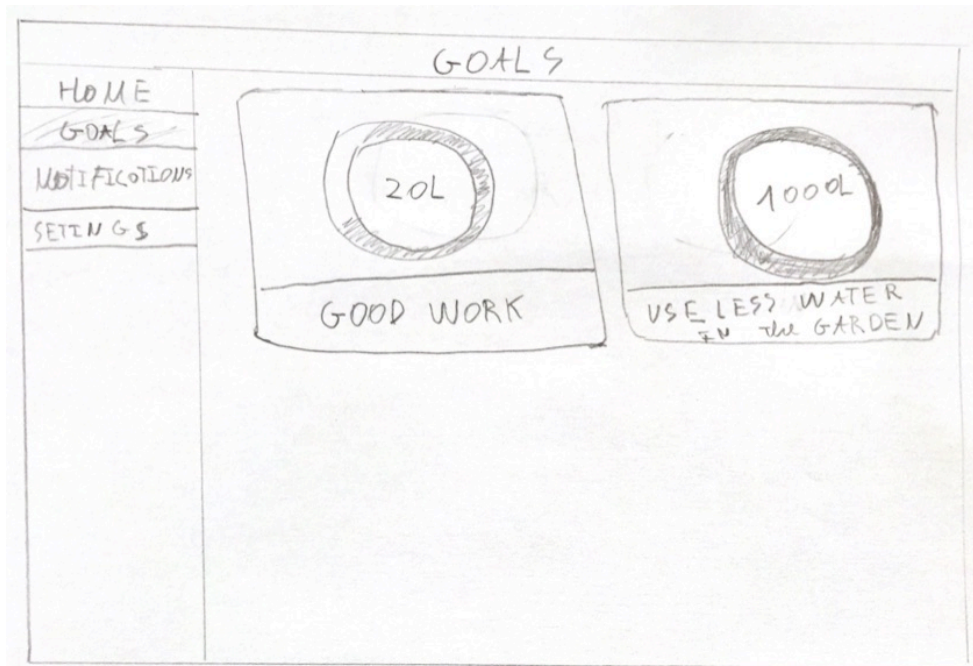


Figura 152: Protótipo de baixa fidelidade da vista Goals do website

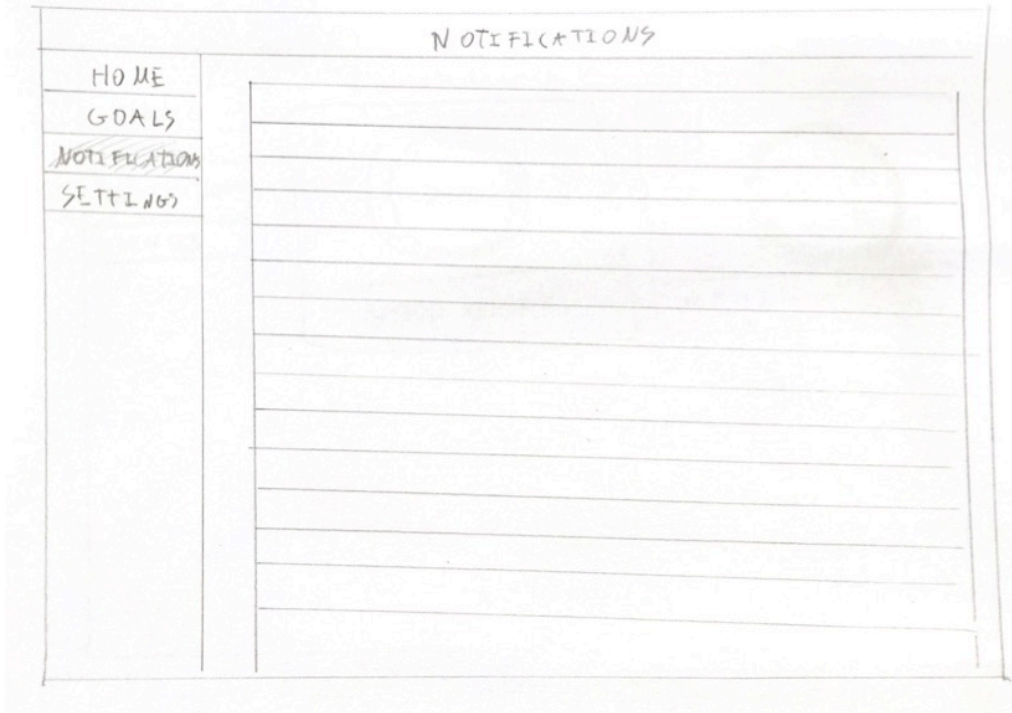


Figura 153: Protótipo de baixa fidelidade da vista Notifications do website

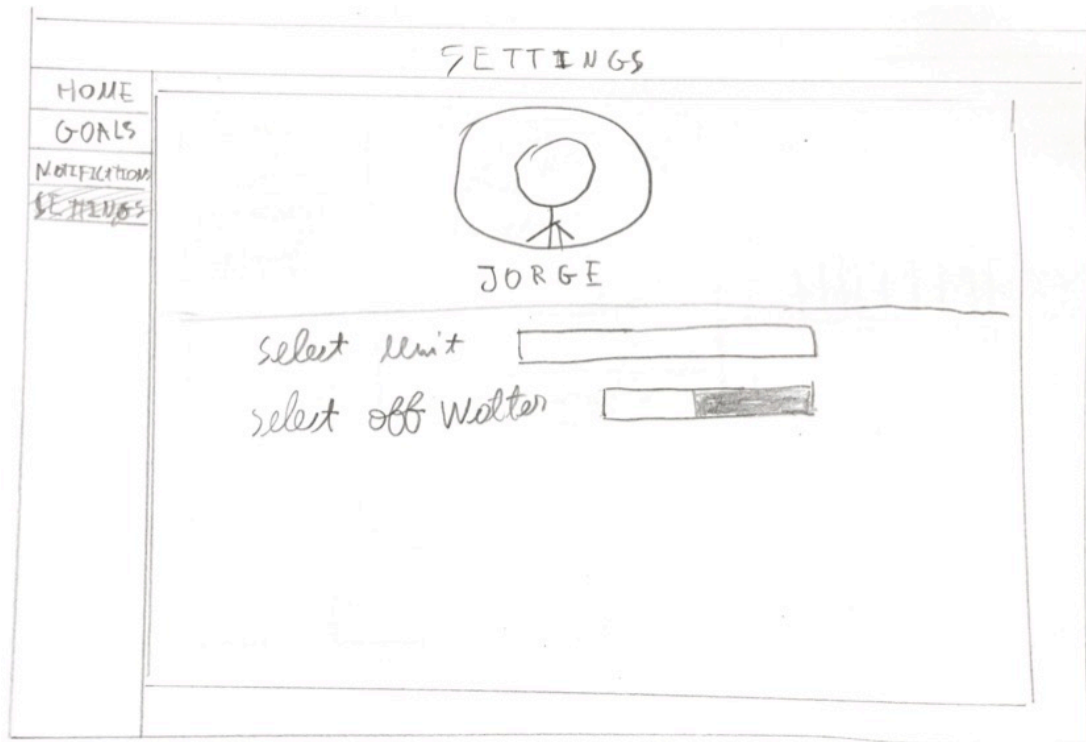


Figura 154: Protótipo de baixa fidelidade da vista Settings do website

## 6.2 Anexo E – Protótipos de alta fidelidade

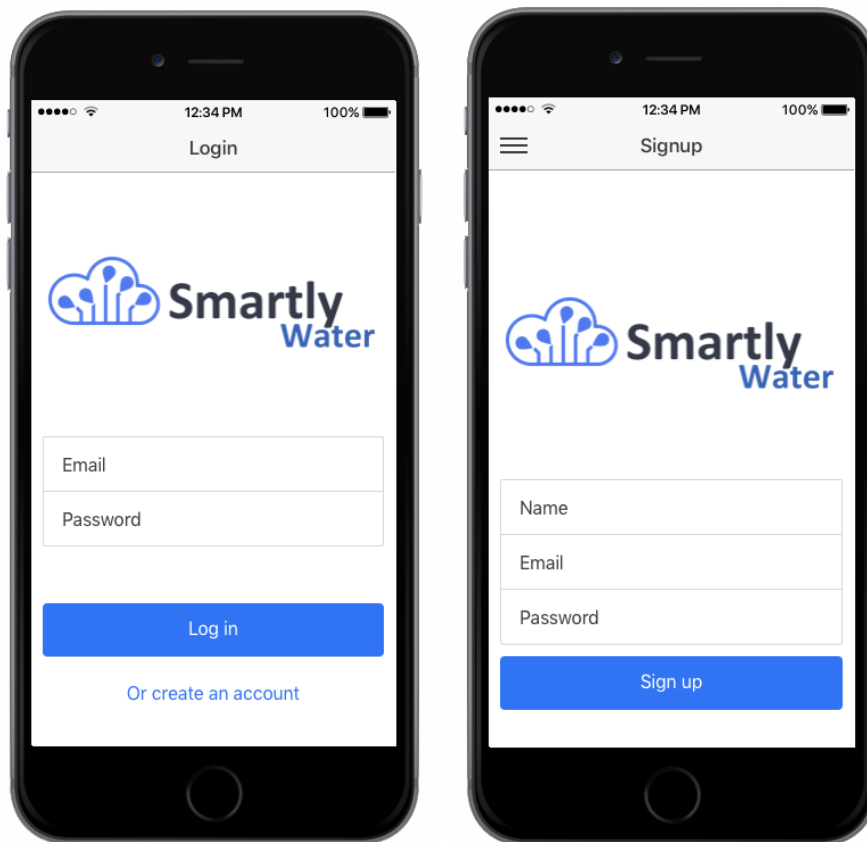


Figura 155: Protótipo de alta fidelidade da vista Login e Signup da aplicação móvel

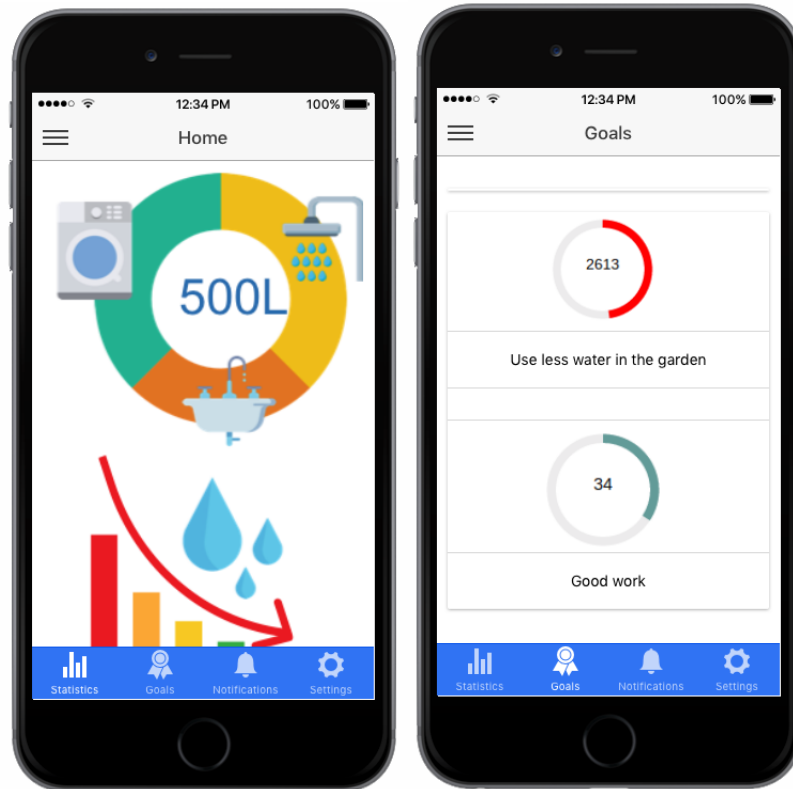


Figura 156: Protótipo de alta fidelidade da vista Home e Goals da aplicação móvel

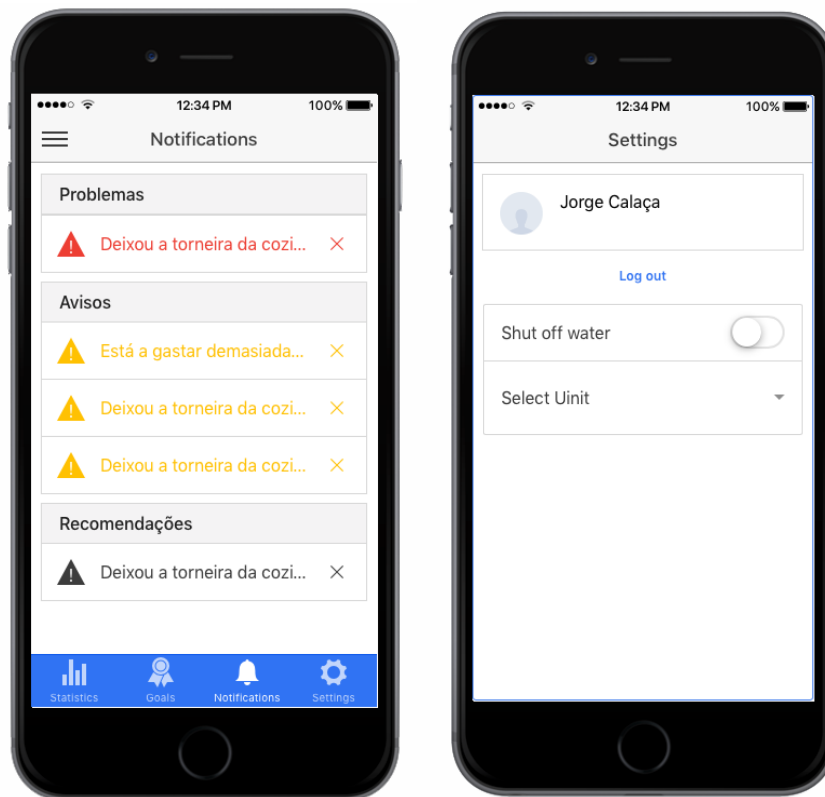


Figura 157: Protótipo de alta fidelidade da vista Notifications e Settings do aplicação móvel

## 6.1 Anexo F – Diagrama ER

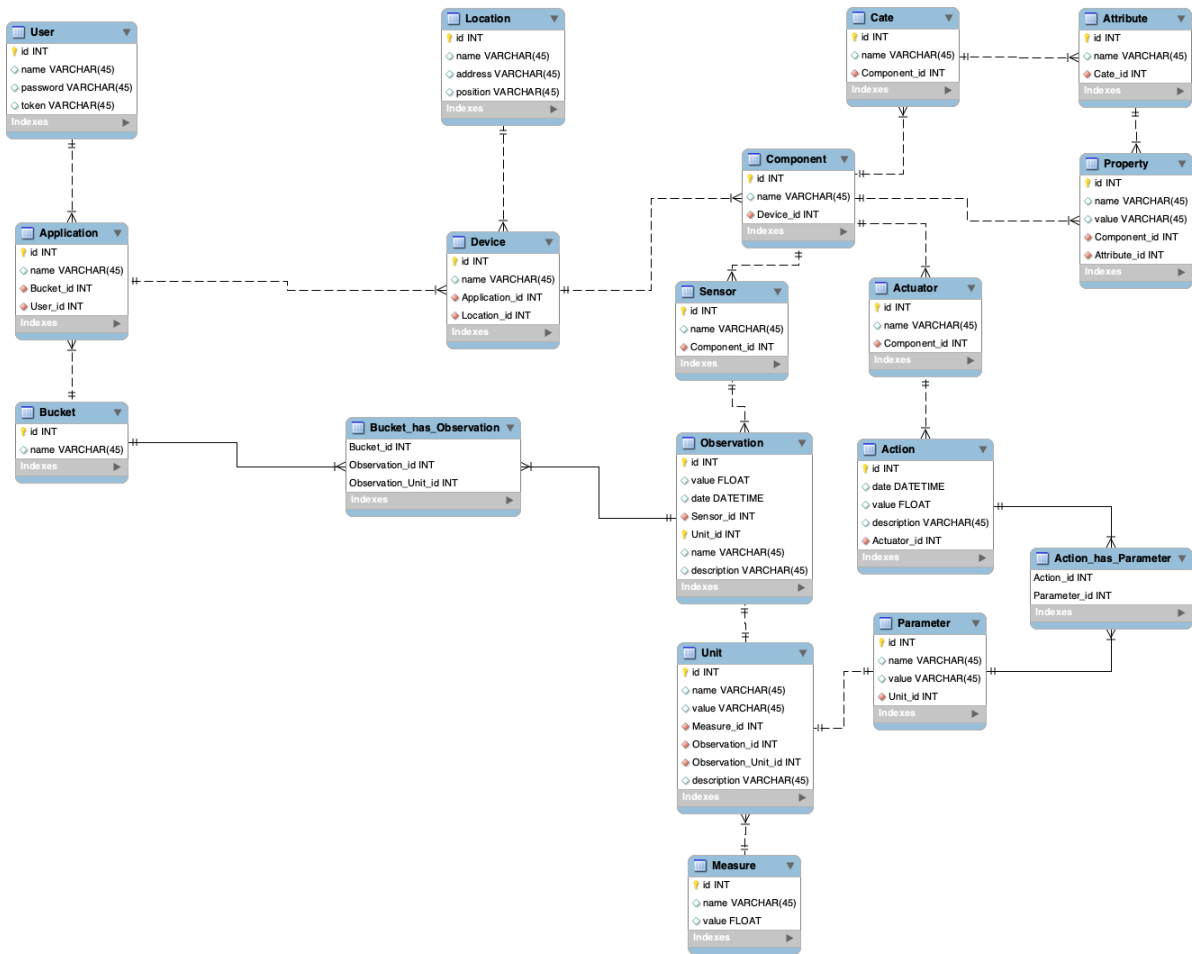


Figura 158: Diagrama ER

## 6.2 Anexo G – Artigo “Latência num sistema de IoT com Assistente Virtual”

### Latência num sistema de IoT com Assistente Virtual

Jorge Calaça<sup>1</sup>, Karolina Baras<sup>1</sup>, and Leonel Nóbrega<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Madeira-ITI, Universidade da Madeira, <sup>2</sup> Universidade da Madeira, Caminho da  
Penteada, 9020-105 Funchal, Portugal  
2063210@student.uma.pt, {karolina.baras, lnobrega}  
@staff.uma.pt

**Abstract.** A Internet das coisas (IoT) tem vindo a ganhar um grande interesse nos últimos anos, possibilitando o surgimento de novos dispositivos que permitem obter mais informação e mais controle sobre os ambientes que nos rodeiam. Uma das consequências desta proliferação de dispositivos é a dificuldade de interagir com eles dada a diversidade e dado que muitas vezes estão invisíveis ou estão em locais de difícil acesso. Neste trabalho, exploramos a utilização do assistente “Alexa” da Amazon para permitir a interação com um sistema de automação de uma rede de águas residencial, constituído por sensores e atuadores instalados na rede de água, e avalia-se a latência associada às comunicações e à interação com o assistente, comparando com uma interação tradicional. O objetivo é determinar se a latência global do sistema permite obter tempos de reação às instruções de voz dentro de parâmetros considerados adequados a uma utilização viável com esta forma de interação. Serão abordados os protocolos de comunicação MQTT e HTTP, denotando a melhor abordagem em termos de desempenho. O estudo dos protocolos passará pela sua avaliação nas comunicações entre Wemos D1 R2 e Raspberry Pi, assim como a comunicação com a “Alexa”.

**Keywords:** IoT, MQTT, HTTP, Virtual assistant.

#### 1 Introdução

Estima-se que o número de dispositivos conectados à Internet atingirá 50 mil milhões até 2020 [1]. Estes dispositivos deixaram de ser unicamente computadores, smartphones e tablets, passando a ser objetos do nosso quotidiano que nos permitem comunicar e interagir através da internet. A Internet das coisas está a transformar as nossas casas, trabalhos e cidades. Atualmente, dada a expansão, temos dispositivos IoT como fechaduras inteligentes, luzes inteligentes, semáforos inteligentes, entre outros.

O mercado Intelligent Virtual Assistant (IVA) foi estimado em 2016 com um valor de US \$ 1005,2 milhões [2]. Um assistente virtual é um software inteligente que permite ajudar os utilizadores em determinadas tarefas. Estas tarefas podem ser das mais variadas, desde o envio de uma mensagem a controlar o carro ou a casa. Existem diversos assistentes no mercado, nomeadamente Google Assistant, Apple Siri, Microsoft’s Cortana e Amazon Echo (“Alexa”).

A expansão da IoT (Internet of Things) tem vindo a lançar diversos desafios pelo número de dispositivos e pela frequência e quantidade de dados que são trocados entre os diferentes elementos que constituem estes sistemas. Em particular, a latência associada às comunicações pode ser um aspeto que imponha condicionamentos na execução de operações que envolvam atuadores. As comunicações a avaliar utilizarão os protocolos MQTT e HTTP devido à sua grande popularidade. Serão abordados os protocolos pela generalidade. Este estudo visa auxiliar os desenvolvedores na eleição do protocolo mais conveniente para o seu projeto IoT. Dado esse objetivo, será efetuada uma comparação entre os protocolos MQTT e HTTP, salientando as principais vantagens e desvantagens. Pretende-se ainda avaliar a latência associada às comunicações com o assistente virtual “Alexa”. Será utilizado um sistema que visa a automatização da rede de águas doméstica e manuseamento através da “Alexa”. O sistema albergará sensores que permitiram conhecer o estado da rede e atuadores para alterá-lo. Através do sistema será possível o utilizador controlar torneiras, analisar consumos e detetar fugas.

Este trabalho é constituído por uma introdução aos protocolos MQTT, HTTP e assistente virtual “Alexa”. Seguindo-se uma secção Projeto, onde se aborda o sistema utilizado e suas componentes. Uma terceira secção Metodologia, que aborda os testes realizados no âmbito deste projeto. Seguindo-se uma secção Resultados, esta é constituída pelos resultados obtidos pelos testes. Por fim, temos o capítulo Discussão, este aborda as conclusões tiradas a partir dos resultados e estudos efetuados por terceiros.

## 1.1 MQTT

O MQTT é um protocolo TCP/IP de transporte de mensagens desenvolvido pela IBM, baseado no padrão arquitetural publicador/subscritor. O seu desenvolvimento foi pensado para dispositivos remotos com largura de banda de rede limitada. Este suporta 3 níveis de Quality of Service (QoS). O nível 0 é utilizado para sistemas que necessitem enviar as mensagens uma única vez, sem a garantia da sua entrega. A implementação do nível 1 é indicada para sistemas em que a duplicação de mensagens não tenha importância, mas garantia de entrega sim. Já o nível 2 permite a garantia de receção de uma única mensagem. O protocolo é constituído por subscritores, publicadores e um broker [3][4]. Na Fig. 1 é possível verificar um esquema do funcionamento do MQTT.

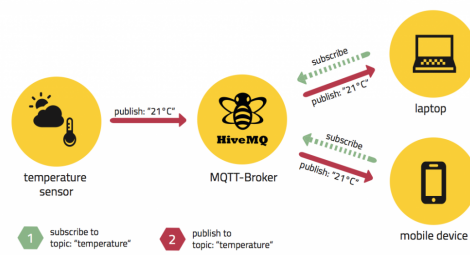


Fig. 1. Esquema ilustrativo do funcionamento do MQTT [5]

### 1.2 HTTP

O Hyper Text Transfer Protocol (HTTP) é um protocolo de transferência de dados muito conhecido e utilizado. Este protocolo utiliza o padrão arquitetural cliente/servidor, em que os clientes e servidores utilizam o método request-response para comunicarem entre si, isto é, os clientes enviam pedidos HTTP e servidores respondem com respostas HTTP [6]. Na

Fig. 2 é possível verificar um esquema do seu funcionamento. Os clientes geralmente efetuam pedidos do tipo GET ou POST.

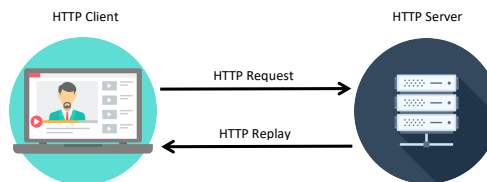


Fig. 2. Esquema da comunicação HTTP

### 1.3 "Alexa"

A "Alexa" é um assistente virtual inteligente desenvolvido pela Amazon. A interação com o assistente pode ser realizada mediante um dispositivo chamado Amazon Echo ou através da aplicação móvel disponível para os sistemas operativos Android e iOS. Nos últimos tempos têm surgido novos dispositivos com o suporte a "Alexa", nomeadamente *sound bars* e termostatos inteligentes [7][8]. O assistente suporta o desenvolvimento de *skills* ou habilidades por terceiros. As *skills* suportam a comunicação através do protocolo HTTPS e AWS (Amazon Web Services) Lambda ARN (Amazon

Resource Name). O desenvolvimento de uma habilidade pode ser mediante de AWS Lambda ou API REST JSON. Na Fig. 3 é possível verificar um esquema do funcionamento da “Alexa” e as suas abordagens de desenvolvimento. O AWS Lambda é um serviço alojado na Cloud da Amazon baseado em Node.js e que suporta como linguagem de programação Node.js (JavaScript), Java (Java 8 compatible), Python, C# (.NET Core) ou Go. Já o desenvolvimento da API REST terá de ser através um *web service* e hospedado na *cloud*. Este serviço terá de suportar pedidos e respostas HTTP [10][11].

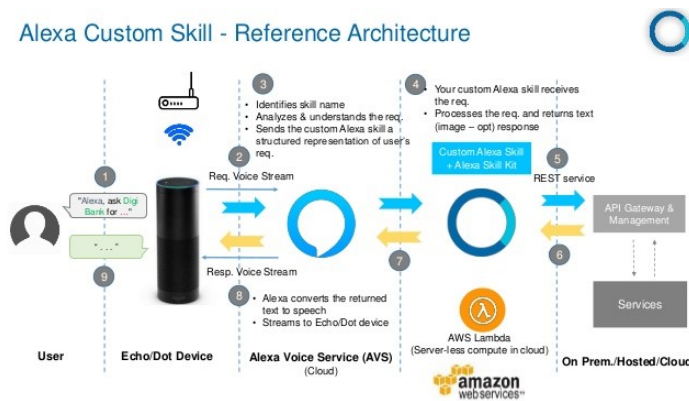


Fig. 3. Arquitetura da “Alexa” [12]

## 2 Projeto

O projeto escolhido tem como objetivo autonomizar a rede de águas doméstica. Este é constituído por Raspberry Pi 3 Model B, Wemos D1 R2, Echo dot, sensores e atuadores tal como está representado na Fig. 4. Os sensores fornecem dados como a temperatura, o consumo, a velocidade e o fluxo de água. Os atuadores, por sua vez, têm a função de regular e cortar o fluxo de água e regular a temperatura. Utilizou-se o Wemos com o intuito de manusear os atuadores e receber a informação proveniente dos sensores. Utilizou-se o assistente virtual “Alexa” da Amazon, que permite criar uma interface de comunicação através de voz. Desta forma, é possível saber os consumos, o estado da rede, a temperatura da água, entre outros através de instruções de voz. O Raspberry Pi alberga o servidor principal, que recebe a informação do Wemos, sendo também responsável pela gestão da mesma. Através do servidor principal é possível enviar pedidos ao Wemos, tais como “abrir uma válvula”.

O Raspberry inclui um segundo servidor responsável pela gestão da *skill* da “Alexa”. Esse servidor traduz os pedidos à “Alexa” em pedidos ao servidor principal e também traduz as respostas do servidor principal em respostas, isto é, traduz a resposta em uma fala da “Alexa”.

Na Fig. 5 podemos verificar a arquitetura do sistema e os protocolos utilizados nas comunicações. Dessa forma verificamos que o servidor principal comunica com o Wemos e com o servidor secundário através do protocolo MQTT ou HTTP. O servidor secundário comunica com a *skill* através do protocolo HTTPS e uma API REST.

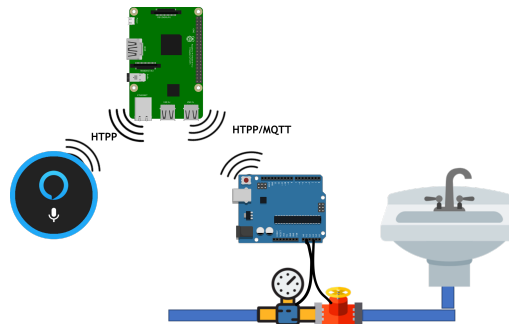


Fig. 4. Esquema das componentes do sistema.

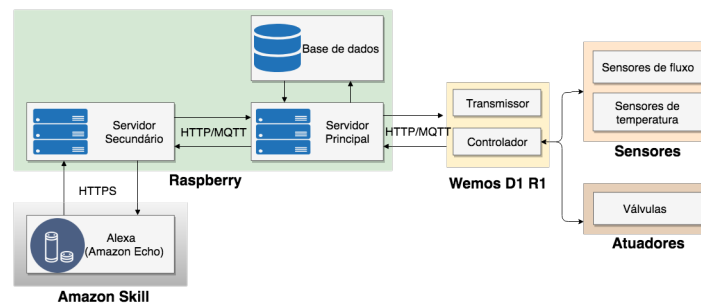


Fig. 5. Arquitetura do sistema

## 2.1 Implementação do protocolo MQTT

A implementação do protocolo MQTT no sistema passou pela instalação de um broker Mosquitto no Raspberry e pela criação de publicadores e subscritores no Wemos, servidor principal e servidor secundário. O servidor principal contém subscritores para os tópicos “smartWater/sensor” e “smartWater/request”. O tópico “smartWater/sensor” é utilizado para enviar informação do Wemos para o Servidor principal, já o “smartWater/request” é utilizado para fazer pedidos ao sistema. Finalmente, o envio

de informação para o Wemos é executado através do tópico “smartWater/actuator”. Foi implementado nível 2 de Quality of Service (QoS).

## 2.2 Implementação do protocolo HTTP

O protocolo HTTP foi implementado através de uma API REST no Wemos e no servidor principal. A API permite efetuar pedidos ao servidor principal e ao Wemos. Os pedidos podem ser do tipo POST ou GET, os pedidos POST são utilizados para alteração do estado dos atuadores e os pedidos GET são utilizados para coletar informação dos sensores. Um pedido POST tem a estrutura “http://ip/smartwater/actuator/tap/open”, já o pedido GET utiliza a estrutura “http://ip/smartWater/consumption/today”.

## 2.3 Rede

O sistema foi implementado numa rede com a estrutura representada na Fig. 6. O Wemos foi conectado através de Wifi com a frequência 2,4g e protocolo 802.11n. No que toca ao raspberry este foi conectado por ethernet a 100 Mbps.

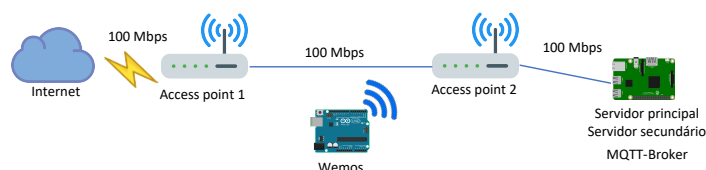


Fig. 6. Topologia da rede

## 3 Metodologia

Dado que o objetivo do projeto é avaliar a latência associada às comunicações e à interação com o assistente “Alexa”, foram realizados diversos tipos de teste nas ligações do sistema. As ligações avaliadas podem ser vistas na Fig. 7, estas são a ligação entre Servidor Principal e o Servidor Secundário, e a ligação entre Servidor Principal e o Wemos.

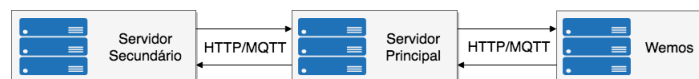


Fig. 7. Ligações entre servidores e Wemos

De forma a avaliar o desempenho das conexões foram testados individualmente os protocolos MQTT e HTTP. Para cada protocolo testou-se separadamente cada segmento de ligação, isto é, testou-se a ligação entre Servidor Principal e Servidor Secundário e a ligação entre Servidor Principal e o Wemos. Realizou-se três tipos de teste: teste com 1 pedido, teste com vários pedidos e teste de abertura de uma torneira com a “Alexa”.

O teste com 1 pedido consistiu no envio de uma mensagem com a data do pedido. Após o pedido ser retornado, calculou-se o intervalo de tempo entre o envio e a receção. Os pedidos foram efetuados de 20 em 20 segundos durante 10 minutos. Realizou-se o teste três vezes.

O teste da ligação **Servidor Principal e o Servidor Secundário** com protocolo MQTT, passou pela publicação de uma mensagem no tópico “smartWater/request” pelo Servidor Secundário e a mesma retornou pelo Servidor Principal. No protocolo HTTP o teste consistiu num pedido POST na rota “192.168.1.200/smartwater/actuator/tap/open”.

No que toca à ligação entre o **Servidor Principal e o Wemos** no protocolo MQTT, publicou-se uma mensagem no tópico “smartWater/actuator” pelo Servidor Principal e esta retornou através da publicação no tópico “smartWater/request” por parte do Wemos. No protocolo HTTP efetuou-se um pedido POST na rota “192.168.1.14/smartWater/tap/open” pelo Servidor Principal.

Os testes com vários pedidos foram realizados de forma semelhante ao teste anterior, sendo a única diferença o envio de 10 ou 4 pedidos a cada 20 segundos. Os testes tiveram a duração de 10 min e foram realizados 3 vezes. A realização dos testes com 4 pedidos deve-se ao facto do Wemos ter demonstrado uma excessiva carga de processamento com 10 pedidos.

Realizou-se ainda o teste de abertura de uma torneira com a “Alexa”. Este teste consistiu num utilizador mediante a voz solicitando ao assistente “Alexa” a abertura da torneira. A abertura da torneira foi requerida através da frase “*Alexa, tell smartWater to open the tap*”. Cada teste foi gravado em vídeo desde o momento da solicitação até obter o feedback da “Alexa” de que a torneira se encontrava aberta. Após os testes, dividiu-se os vídeos em trechos, isto é, um trecho com o utilizador a dizer a frase, um trecho de processamento, e outro trecho do feedback da “Alexa”. Os trechos representam os tempos de cada ação. As divisões foram realizadas mediante a análise das ondas sonoras. Este teste realizou-se 15 vezes. É possível verificar um exemplo de um teste no [link seguinte](https://drive.google.com/open?id=1Ptp2Dsdnw5x9B1CoWsEtQsSWJij4rC4) <https://drive.google.com/open?id=1Ptp2Dsdnw5x9B1CoWsEtQsSWJij4rC4>.

#### 4 Resultados

Nesta secção serão revelados os resultados obtidos pelos diversos testes.

O primeiro teste efetuado foi com **1 pedido**. Este realizou-se com o protocolo HTTP e MQTT. Na fig. 8 é possível verificar os histogramas obtidos através dos testes na ligação **Servidor Secundário com Servidor Principal**. O eixo do X representa o intervalo de tempo em milissegundos entre o envio e a receção, e o eixo do Y representa

o número de pedidos. Analisando os dados chegou-se à conclusão que um pedido MQTT tinha uma mediana de 0,053s enquanto um pedido HTTP tinha 0,030s. Obteve-se uma média de 0,054s no MQTT e 0,030s no HTTP e 0,009s no desvio padrão nos testes com o MQTT e 0,002s nos testes com o HTTP. Analisando os histogramas é possível verificar que existe uma maior dispersão dos tempos no MQTT comparativamente aos do HTTP.

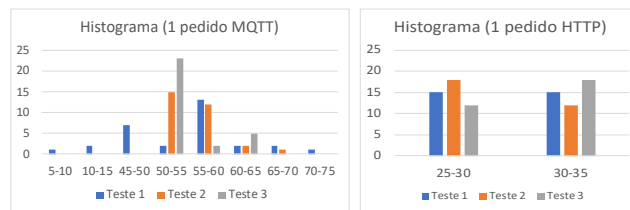


Fig. 8. Teste com 1 pedido entre o Servidor Secundário e o Servidor Principal

Na ligação entre o **Servidor Principal** e o **Wemos** obteve-se uma mediana de 0,077s no protocolo MQTT e 0,032s no HTTP. Quanto à média os testes revelaram 0,077s no MQTT e 0,056s no HTTP. No que toca ao desvio padrão obteve-se 0,053s no MQTT e 0,032s no HTTP. Comparando esta ligação com a ligação entre o Servidor Secundário e o Servidor Principal é possível verificar que o tempo da comunicação subiu ligeiramente, sendo o aumento mais significativo no protocolo MQTT. O desvio padrão sofreu um grande aumento na ligação entre o Servidor Principal e o Wemos face à ligação entre o Servidor Secundário e o Servidor Principal. Na Fig. 9 é possível verificar os histogramas da ligação entre o Servidor Principal e o Wemos:

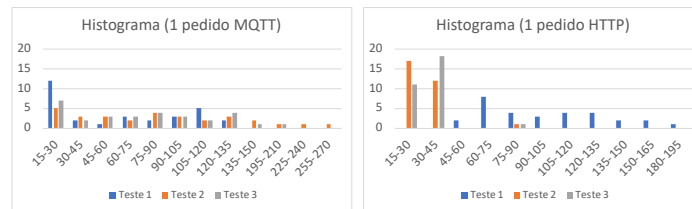
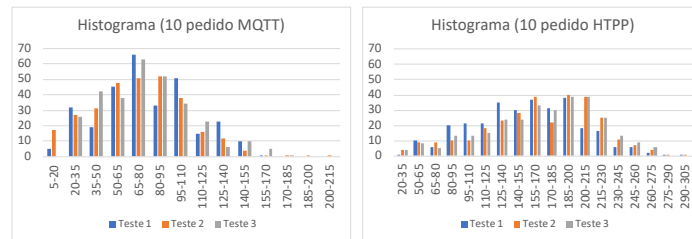


Fig. 9. Teste com 1 pedido entre a ligação Servidor Principal e o Wemos

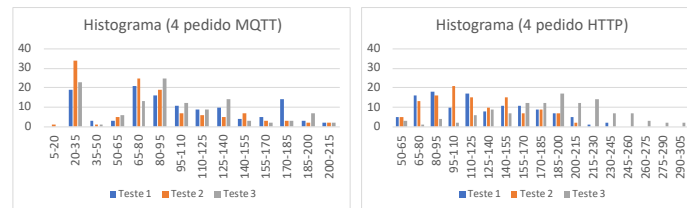
Nos testes com **10 pedidos**, na ligação entre o **Servidor Secundário** e o **Servidor Principal** obteve-se 0,074s de mediana no MQTT e 0,158s no HTTP. Obteve-se a média de 0,077s no MQTT e 0,154s no HTTP. O desvio padrão nesta ligação foi de 0,033s no MQTT e 0,050s no HTTP. Comparando este teste com o teste de 1 pedido podemos aferir que os papéis se inverteram, ou seja, o MQTT passou a ter um desempenho superior ao HTTP. Na Fig. 10 encontram-se os histogramas relativos aos dados obtidos no teste:



**Fig. 10.** Teste com 10 pedidos o entre a Servidor Secundário e o Servidor Principal

A ligação entre o **Servidor Principal** e o **Wemos** com o protocolo HTTP revelou tempos insustentáveis na ordem dos 12s. Por esse motivo diminuiu-se o número de pedidos para 4 a cada 20s.

Nos testes com 4 pedidos na ligação **Servidor principal** e o **Wemos** obteve-se uma mediana de 0,084s no MQTT e 0,141s no HTTP. Os testes revelaram uma média de 0,92s no MQTT e 0,145s no HTTP. Relativamente ao desvio padrão os testes revelaram 0,051s no MQTT e 0,053s no HTTP. Os histogramas encontram-se na Fig. 11.



**Fig. 11.** Teste com 4 pedidos entre a ligação Servidor Principal e o Wemos

Finalmente, os testes de abertura de uma torneira com a “Alexa”, analisando a Fig. 12 podemos verificar que os testes revelaram uma média de 3,4s, no tempo que um utilizador leva a dizer a frase “*Alexa tell smartWater to open the tap*”. Podemos ainda verificar que os testes revelaram uma média de 3,8s desde o momento que o utilizador pronunciou a frase até à abertura da torneira. Obteve-se uma média de 3,6s desde o momento que a torneira está aberta até a “Alexa” responder “*Tap is open*”. Note-se que a “Alexa” só transmite a frase após a torneira terminar o ciclo de abertura. Assim conclui-se que em média um utilizador demora 10,8s a abrir uma torneira através da “Alexa”.

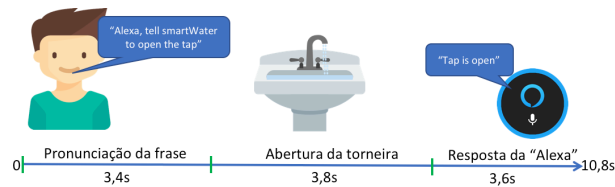


Fig. 12. Esquema de médias do teste de abertura de uma torneira com a "Alexa".

## 5 Discussão

Comparando os protocolos MQTT e HTTP, quando efetuado um único pedido, conclui-se que o HTTP possibilita um melhor desempenho. Quando comparados nos testes de 10 pedidos, revela-se que o MQTT é melhor. Os resultados obtidos dos testes com 10 pedidos com o protocolo HTTP, revelaram que em dispositivos de baixo processamento como o Wemos D1 R2, torna-se inviável a sua implementação quando o sistema necessita mais do que 4 pedidos consecutivos. Analisando os resultados dos testes com 4 pedidos infere-se que o MQTT obtém uma melhor performance face ao HTTP. Vários estudos foram efetuados para comparar o desempenho de protocolos da camada de aplicação MQTT, HTTP, CoAP e outros. Uma das conclusões foi que MQTT tinha uma menor carga no sistema face ao HTTP, resultando num melhor desempenho em dispositivos com recursos limitados [13]. Noutro estudo [14] concluiu-se que o MQTT não só tem um melhor desempenho, mas também um menor consumo energético em relação ao HTTP. Em outro estudo [15] concluiu-se que o MQTT tinha uma menor latência em redes locais face ao HTTP. O mesmo estudo revelou que em redes remotas o HTTP tem uma menor latência comparado com o MQTT.

Num estudo [16] que visava avaliar a performance do MQTT em dispositivos de baixo custo, os autores concluíram que dependente do broker escolhido obtém-se diferentes débitos de dados e consumo de recursos. O mesmo estudo concluiu que o broker Mosquitto tem uma melhor performance em termos de utilização de recursos face ao Mosca, Ponte e Apollo. É de salientar que o broker utilizado para realizar este estudo foi o Mosquitto.

Com isto constata-se que quando é necessário suportar pedidos consecutivos o MQTT revela-se como a melhor opção, enquanto que para pedidos espaçados o HTTP é melhor.

Analisando os resultados obtidos nos testes de abertura de uma torneira através do sistema, constata-se que o protocolo não terá uma grande influência no tempo total de resposta. A maior influência deve-se ao tempo de pronúncia do comando e ao tempo de processamento. O tempo de pronúncia da frase poderá ser reduzido na utilização de uma frase mais curta. Em *skills* embutidas na "Alexa", as palavras "tell SmartWater" não seriam necessárias, bastando dizer "Alexa open the tap". Isso levaria a uma redução do tempo em 2s. No entanto, as *skills* só são embutidas quando consideradas vitais pela Amazon, ou seja, *skills* no top das mais utilizadas pelos utilizadores da "Alexa".

O tempo de processamento poderá ser reduzido utilizando um Echo Button ao invés da frase, dessa forma ganhava-se o tempo de processamento da “Alexa”. O Echo Button é um botão físico que permite aos utilizadores invocar uma ação predefinida na *skill* da “Alexa”. A utilização do botão permitiria que o tempo de abertura da torneira se aproximasse ao da abertura de uma torneira manualmente, isto em situações em que o utilizador já se encontra perto da torneira. A vantagem da incorporação de um botão face a utilização tradicional, é a possibilidade de poder continuar a abrir a torneira através da “Alexa”, o mesmo não acontece se o utilizador fechar manualmente a torneira, visto que anularia as ações do atuador. Não seria indicado para situações em que o utilizador não tem as mãos livres.

O sistema possui dois tipos de feedback para o utilizador, o feedback de torneira a abrir e a resposta da “Alexa”. O feedback da torneira é indicado quando a torneira está visível para o utilizador, isto é, quando o utilizador está muito próximo. O feedback da “Alexa” é indicado para utilizações em que o utilizador ainda está a dirigir-se para a torneira, ou seja, a torneira ainda não está no campo de visão do utilizador. Analisando estes dois tipos de utilização, é espectável dizer que em casos em que o utilizador ainda está a dirigir-se para a torneira é possível tornar a abertura competitiva em termos temporais comparativamente à abertura mecânica. Se pensarmos numa utilização em torneiras de duche é espectável que o utilizador tenha preferência na abertura por voz ao invés da mecânica, isto devido à possibilidade de abertura remota.

## 6 Conclusão

O sistema de automação da rede de água doméstica e controlo através da “Alexa”, permitiu avaliar a latência associada às comunicações e à interação com o assistente, comparando com uma interação tradicional. Dessa forma foi possível comprovar que o protocolo MQTT se adequa a utilizações que necessitam de enviar um maior volume de dados. O HTTP, por sua vez, adequa-se a sistemas em que o volume de dados baixo, isto é, que não exista a necessidade de resposta a vários pedidos consecutivos.

A utilização da interação por voz adiciona uma forma inovadora de aceder aos serviços disponibilizados por estes sistemas, criando uma visão futurista sobre a utilização e interação com a próxima geração de sistemas inteligentes, mas, por outro lado, abre vários desafios no que toca a tempos de interação. Os testes realizados permitem concluir que este tipo de interação é adequado, embora exista a necessidade de um período de adaptação aos atrasos entre ação/execução devido à latência global existente nestes sistemas.

Num trabalho futuro seria importante avaliar o comportamento do assistente noutras tarefas, tais como, a preparação de um banho, o auxílio na lavagem da louça ou na lavagem dos dentes. Em suma, conclui-se que este tipo de interação adequa-se mais em utilizações em que o utilizador tenha as mãos ocupadas ou pretenda executar uma dada ação à distância.

### Agradecimentos

Este trabalho é apoiado por FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia, no âmbito do projeto UID/EEA/50009/2013.

### Referências

1. Chase, J.: The evolution of the internet of things. *Tex. Instrum.* 1–5 (2013).
2. Intelligent Virtual Assistant Market Size | IVA Industry Report, 2018-2024, <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/intelligent-virtual-assistant-industry>, last accessed 2018-06-14.
3. Lee, S., Kim, H., Hong, D., Ju, H.: Correlation analysis of MQTT loss and delay according to QoS level. In: *The International Conference on Information Networking 2013 (ICOIN)*. pp. 714–717 (2013).
4. MQTT Essentials: Client, Broker and Connection Establishment, <https://www.hivemq.com/blog/mqtt-essentials-part-3-client-broker-connection-establishment>, last accessed 2018-06-13.
5. MQTT Essentials Part 2: Publish & Subscribe, <https://www.hivemq.com/blog/mqtt-essentials-part2-publish-subscribe>, last accessed 2018-06-10.
6. Mark Masse: REST API Design Rulebook: Designing Consistent RESTful Web Service Interfaces. (2011).
7. Command Bar - Polk Audio, <https://en.polkaudio.com/products/command-sound-bar-int>, last accessed 2018-06-13.
8. ecobee4 | ecobee | Smart Home Technology, <https://www.ecobee.com/ecobee4/>, last accessed 2018-06-13.
9. Alexa Skills Kit - Build for Voice with Amazon, <https://developer.amazon.com/alexa-skills-kit>, last accessed 2018-06-13.
10. Build Skills with the Alexa Skills Kit | ASK, <https://developer.amazon.com/docs/ask-overviews/build-skills-with-the-alexa-skills-kit.html>, last accessed 2018-06-13.
11. Alexa App Development | KRM Associates Inc, <https://www.krminc.com/alexa-app-development/>, last accessed 2018-06-06.
12. Yokotani, T., Sasaki, Y.: Comparison with HTTP and MQTT on required network resources for IoT. In: *2016 International Conference on Control, Electronics, Renewable Energy and Communications (ICCEREC)*. pp. 1–6 (2016).
13. HTTP vs MQTT performance tests, <https://flespi.com/blog/http-vs-mqtt-performance-tests>, last accessed 2018-06-13.
14. Marques, V. de F., Kniess, J.: Uma Avaliação de Desempenho de Protocolos de Camada de Aplicação para Internet das Coisas. Presented at the IX Computer on the Beach May 10 (2018).
15. Torres, A., Rocha, A., Souza, J.: Análise de Desempenho de Brokers MQTT em Sistema de Baixo Custo. Presented at the XXXVI Congresso da Sociedade Brasileira de Computação April 9 (2016).

## 6.1 Anexo H – Questionário de usabilidade da Aplicação Móvel

1. **1. Gênero: \***

*Mark only one oval.*

- Feminino  
 Masculino  
 Other: \_\_\_\_\_

2. **2. Indique a sua faixa etária: \***

*Mark only one oval.*

- 18 ou menos  
 19 a 29  
 30 a 39  
 40 a 49  
 50 a 59  
 60 ou mais

3. **3. Dos seguintes sistemas operativos com qual é que se sente mais familiarizado? \***

*Mark only one oval.*

- iOS  
 Android  
 Windows phone  
 Other: \_\_\_\_\_

4. **4. Acho que gostaria de utilizar este produto com frequência. \***

*Mark only one oval.*

1      2      3      4      5

---

Discordo fortemente                  Concordo fortemente

---

5. **6. Considerei o produto mais complexo do que necessário. \***

*Mark only one oval.*

1      2      3      4      5

---

Discordo fortemente                  Concordo fortemente

---

6. **7. Achei o produto fácil de utilizar. \***

*Mark only one oval.*

	1	2	3	4	5	
Discordo fortemente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo fortemente

7. **8. Acho que necessitaria de ajuda de um técnico para conseguir utilizar este produto. \***

*Mark only one oval.*

	1	2	3	4	5	
Discordo fortemente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo fortemente

8. **9. Considerarei que as várias funcionalidades deste produto estavam bem integradas. \***

*Mark only one oval.*

	1	2	3	4	5	
Discordo fortemente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo fortemente

9. **10. Achei que este produto tinha muitas inconsistências. \***

*Mark only one oval.*

	1	2	3	4	5	
Discordo fortemente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo fortemente

10. **11. Suponho que a maioria das pessoas aprenderia a utilizar rapidamente este produto. \***

\*

*Mark only one oval.*

	1	2	3	4	5	
Discordo fortemente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo fortemente

11. **12. Considerarei o produto muito complicado de utilizar. \***

*Mark only one oval.*

	1	2	3	4	5	
Discordo fortemente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo fortemente

12. **13. Senti-me muito confiante a utilizar este produto. \***

*Mark only one oval.*

	1	2	3	4	5	
Discordo fortemente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo fortemente

13. **14. Tive que aprender muito antes de conseguir lidar com este produto. \***

*Mark only one oval.*

	1	2	3	4	5	
Discordo fortemente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo fortemente

---

## 6.2 Anexo I – Questionário de usabilidade do Website

1. **1. Gênero: \***

*Mark only one oval.*

- Feminino  
 Masculino  
 Other: \_\_\_\_\_

2. **2. Indique a sua faixa etária: \***

*Mark only one oval.*

- 18 ou menos  
 19 a 29  
 30 a 39  
 40 a 49  
 50 a 59  
 60 ou mais

3. **3. Acho que gostaria de utilizar este produto com frequência. \***

*Mark only one oval.*

	1	2	3	4	5	
Discordo fortemente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo fortemente

4. **4. Considerei o produto mais complexo do que necessário. \***

*Mark only one oval.*

	1	2	3	4	5	
Discordo fortemente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo fortemente

5. **5. Achei o produto fácil de utilizar. \***

*Mark only one oval.*

	1	2	3	4	5	
Discordo fortemente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo fortemente

6. **6. Acho que necessitaria de ajuda de um técnico para conseguir utilizar este produto. \***

*Mark only one oval.*

	1	2	3	4	5	
Discordo fortemente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo fortemente

7. **7. Considerarei que as várias funcionalidades deste produto estavam bem integradas. \***

*Mark only one oval.*

	1	2	3	4	5	
Discordo fortemente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo fortemente

8. **8. Achei que este produto tinha muitas inconsistências. \***

*Mark only one oval.*

	1	2	3	4	5	
Discordo fortemente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo fortemente

9. **9. Suponho que a maioria das pessoas aprenderia a utilizar rapidamente este produto. \***

*Mark only one oval.*

	1	2	3	4	5	
Discordo fortemente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo fortemente

10. **10. Considerarei o produto muito complicado de utilizar. \***

*Mark only one oval.*

	1	2	3	4	5	
Discordo fortemente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo fortemente

11. **11. Senti-me muito confiante a utilizar este produto. \***

*Mark only one oval.*

	1	2	3	4	5	
Discordo fortemente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo fortemente

12. **12. Tive que aprender muito antes de conseguir lidar com este produto. \***

*Mark only one oval.*

	1	2	3	4	5	
Discordo fortemente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo fortemente

## 6.1 Anexo J – Questionário da Skill da Alexa

1. **1. Gênero: \***

*Mark only one oval.*

- Feminino  
 Masculino  
 Other: \_\_\_\_\_

2. **2. Indique a sua faixa etária: \***

*Mark only one oval.*

- 18 ou menos  
 19 a 29  
 30 a 39  
 40 a 49  
 50 a 59

3. **3. Dos seguintes assistentes virtuais, quais os que já utilizou?**

*Check all that apply.*

- Ok google  
 Siri  
 Alexa  
 Cortana  
 Bixby  
 Nenhum  
 Other: \_\_\_\_\_

4. **4. Acho que gostaria de utilizar este produto com frequência. \***

*Mark only one oval.*

	1	2	3	4	5	
Discordo fortemente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo fortemente

5. **5. Considerarei o produto mais complexo do que necessário. \***

*Mark only one oval.*

	1	2	3	4	5	
Discordo fortemente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo fortemente

6. **6. Achei o produto fácil de utilizar. \***

*Mark only one oval.*

	1	2	3	4	5	
Discordo fortemente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo fortemente

7. **7. Acho que necessitaria de ajuda de um técnico para conseguir utilizar este produto. \***

*Mark only one oval.*

	1	2	3	4	5	
Discordo fortemente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo fortemente

8. **8. Considerei que as várias funcionalidades deste produto estavam bem integradas. \***

*Mark only one oval.*

	1	2	3	4	5	
Discordo fortemente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo fortemente

9. **9. Achei que este produto tinha muitas inconsistências. \***

*Mark only one oval.*

	1	2	3	4	5	
Discordo fortemente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo fortemente

10. **10. Suponho que a maioria das pessoas aprenderia a utilizar rapidamente este produto. \***

*Mark only one oval.*

	1	2	3	4	5	
Discordo fortemente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo fortemente

11. **11. Considerei o produto muito complicado de utilizar. \***

*Mark only one oval.*

	1	2	3	4	5	
Discordo fortemente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo fortemente

12. **12. Senti-me muito confiante a utilizar este produto. \***

*Mark only one oval.*

	1	2	3	4	5	
Discordo fortemente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo fortemente

13. **13. Tive que aprender muito antes de conseguir lidar com este produto. \***

*Mark only one oval.*

	1	2	3	4	5	
Discordo fortemente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo fortemente

---