

UNIVERSIDADE DO MINHO



MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA INFORMÁTICA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Definição de middleware “cloud based” para serviço a aplicações de monitorização de espaços físicos

ALUNO: JOSÉ FRANCISCO FERREIRA ALVES DE SOUSA A67724

ORIENTADO POR: ANTÓNIO NESTOR RIBEIRO

21 de Setembro de 2017

Conteúdo

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Objetivos	3
2	CONTEXTUALIZAÇÃO	4
3	ESTADO DE ARTE	6
3.1	Tecnologias	6
3.1.1	Apple Homekit	6
3.1.2	Android Things	8
3.1.3	Eclipse SmartHome	12
3.1.4	Arquitetura	15
3.2	Trabalho Relacionado	17
4	O PROBLEMA E OS SEUS DESAFIOS	22
4.1	Desafios	23
4.2	Funcionalidades	24
5	METODOLOGIA	25
5.1	Iterative and Incremental development	25
5.2	Model Driven Development	26
5.3	Static Code Analysis	26
5.4	Continuous Integration	26
6	ARQUITETURA	28
6.1	Sistema	28
6.1.1	Hub	28
6.1.2	Api	29
6.1.3	Simuladores de Dispositivos	30
6.1.4	<i>Wrapper</i> da API	30
6.1.5	Aplicação Cliente	30
6.1.6	Visão Geral	31
6.2	Análise de Domínio	32
6.3	Design	35
6.3.1	Hub	35
6.3.2	Api	45

	Conteúdo
7	IMPLEMENTAÇÃO
7.1	Tecnologias
7.2	
8	BIBLIOGRAFIA

Lista de Figuras

Figura 1	Arquitetura base dos elementos do Homekit	7
Figura 2	Exemplo de interfaces gráficas do Apple Home	8
Figura 3	Arquitetura base do Android Things	9
Figura 4	Arquitetura detalhada do Weave	10
Figura 5	Exemplo da interface gráfica do SmartHome	14
Figura 6	Exemplo dos controlos da divisão "garden"	14
Figura 7	Integração Travis & GitHub	27
Figura 8	Visão Geral dos Sistemas	31
Figura 9	Modelo de Domínio	32
Figura 10	Diagrama de classes: <i>Things</i>	36
Figura 11	Diagrama de classes: Serviços	37
Figura 12	Diagrama de classes: <i>Factories</i>	39
Figura 13	Diagrama de classes: <i>Controllers</i>	40
Figura 14	Diagrama de classes: <i>Serviços de descoberta de dispositivos</i>	41
Figura 15	Diagrama de classes: <i>Factories atualizadas para suportar serviços de descoberta</i>	42

Lista de Tabelas

Tabela 1	Tipos de itens do SmartHome	15
Tabela 2	Ações REST	46

1. Introdução

Tem surgido recentemente *frameworks* existentes nos principais sistemas operativos de dispositivos móveis, iOS e Android, que pretendem reunir e disponibilizar informações sensoriais recolhidas em diversos ambientes, mas com predominância para o “espaço casa”. Além das *frameworks* existentes nos sistemas operativos referidos existem uma série de outras APIs proprietárias dos diversos fabricantes.

O objetivo desta dissertação consiste no estudo das diferentes APIs e na proposta arquitetural de um *mashup* “cloud based” que possibilite a gestão integrada das diversas APIs assim como a oferta de uma camada de serviço aplicacional para novas aplicações. Este *middleware* deverá ter mecanismo de registo de novas APIs, criar mecanismos de registo e, ainda, recolher informações de diversas APIs proprietárias.

Inicialmente, irá ser feita uma análise do estado da arte, incluindo um estudo sobre tecnologias existentes no campo da *Internet of Things* assim como trabalhos académicos relacionados. Ambos serão utilizados como base teórica para o desenvolvimento do projeto. As tecnologias a analisar em detalhe serão o Android Things e o Weave [Goo16a], a plataforma para desenvolvimento de soluções IoT e o protocolo de comunicação desenvolvidos pela Google, o Apple Homekit [App16], o serviço base para as aplicações orientadas a casas inteligentes da Apple, e, por fim, o Eclipse SmartHome, a *framework* open-source para desenvolvimento de soluções IoT orientadas às casas inteligentes.

O *middleware* a desenvolver deverá fazer a ligação entre os dispositivos do espaço casa e as aplicações cliente, oferecendo as funcionalidades dos dispositivos através de uma API que abstrai as componentes específicas dos equipamentos. A API deverá ter os serviços necessários para a descoberta e registo dos equipamentos dos utilizadores. Todos estes serviços devem estar disponíveis num serviço cloud-based, para disponibilizar o acesso remoto, mas seguro, aos dispositivos do utilizador, e para também oferecer integração com os vários serviços e aplicações já existentes na cloud.

O serviço fará uso de edge devices, pontos de entrada para a rede do utilizador, que irão agregar os dados dos dispositivos da rede local assim como efetuar a gestão de dispositivos. O serviço cloud em vez de comunicar com os dispositivos diretamente, comunica através

do edge device. Desta maneira, tarefas como a descoberta de dispositivos e agregação de dados serão feitas localmente, poupando assim os recursos computacionais do serviço cloud. Isto portanto assemelha-se a um panorama de edge computing [Cha+14], onde os dados são processados perto da fonte da origem, neste caso, as casas dos utilizadores.

Esta camada de serviço deverá oferecer mecanismos para o registo de novas API proprietárias, de modo a que novos dispositivos que possam surgir no mercado possam ser integrados no serviço sem grandes esforços. Vários protocolos de comunicação deverão ser suportados de modo a que se estenda o número de dispositivos compatíveis. Os protocolos mais comuns nesta área são o HTTP (*Hyper Text Transfer Protocol*), MQTT (*Message Queue Telemetry Transport*) e CoAP (*Constrained Application Protocol*).

Os utilizadores deverão ter a possibilidade de configurar as interações entre os seus dispositivos através de um sistema de "triggers", onde os dispositivos serão acionados com base no valor de outros dispositivos ou até serviços web, como por exemplo, ligar as luzes de uma sala a partir das 19 horas. Esta funcionalidade é bastante importante, uma vez que deixando esta componente de parte, perde-se grande parte da automação que se quer alcançar neste ambiente.

Pretende-se demonstrar a exequibilidade da abordagem criando uma aplicação móvel (iOS ou Android) que obtenha a informação pretendida através da utilização do *middleware* desenvolvido.

1.1 Objetivos

- Efetuar estudo sobre a oferta de dispositivos e soluções IoT, como as já acima referidas (Homekit, Brillo, entre outras), identificados as suas mais valias e problemas.
- Desenvolver uma API que opere na cloud, que unifique as diversas APIs e frameworks orientadas a IoT, para que possam ser usada por outras aplicações. Esta API deve basear-se das mais valias das frameworks estudadas, tentando resolver os seus problemas.
- Permitir a extensibilidade do serviço, de maneira a que possam ser adicionadas mais APIs proprietárias, mantendo o serviço atualizado sem grandes complicações.
- Desenvolver uma aplicação mobile que faça uso desta API e que permita demonstrar as capacidades da mesma, no que toca à abstração dos serviços proprietários e à automatização de comportamentos e gestão do espaço casa

2. Contextualização

Nesta última década vem se observando um crescimento bastante acentuado do mercado de dispositivos orientados ao espaço casa. Dispositivos que permitem automatizar diversas áreas de uma casa, como os estores, as portas, as luzes, o aquecimento e até sistemas de vídeo-vigilância. O número de dispositivos e as funcionalidades dos mesmos são bastante diversos, e todos têm a capacidade de serem controlados através de sistemas de informação, como por exemplo, *smartphones*.

Tais dispositivos compõem aquilo a que muitos chamam de “casas inteligentes”, que é uma das áreas da “Internet of Things”, ou IoT abreviadamente, que basicamente representa a rede de dispositivos físicos como sensores, eletrodomésticos, atuadores entre outros. Juntamente às “casas inteligentes” juntam-se outras áreas no top 5 da IoT, as plataformas cloud de IoT, automação industrial, indústria energética e “connected cities”.

De acordo com um questionário feito pelo IEEE [IEE16] a vários profissionais das tecnologias de informação, cerca de 46% dos correspondentes estavam a trabalhar na área das IoT e outros 29% tinham planos para desenvolver soluções IoT nos próximos 18 meses. Isto vem confirmar a crescente tendência em optar estas novas tecnologias, que pretendem melhorar a interação entre os vários dispositivos “inteligentes” que compõem o mundo.

Estes novos dispositivos inteligentes são normalmente acompanhados por aplicações clientes feitas pelos próprios fabricantes, que permitem, no mínimo, ativar e desativar o dispositivo e recolher a informação sensorial do mesmo, caso tenha esta funcionalidade. Nem todos os dispositivos recolhem informação do meio, por exemplo, uma fechadura eletrónica ou um dispositivo de iluminação.

No entanto, com a crescente utilização de dispositivos nas residências dos utilizadores, a utilização de várias aplicações proprietárias para gerir cada um destes dispositivos torna-se inconveniente [Ngu+16]. Daí a conceção de frameworks para gestão de dispositivos orientados à *home-automation*. Um dos exemplos mais conhecidos é o Apple Home, que permite controlar os dispositivos instalados numa residência através de qualquer dispositivo iOS. O utilizador adiciona os dispositivos ao Homekit, a base de dados por detrás do Apple Home, e passa a ter um local centralizado onde pode gerir os aparelhos da sua residência. No en-

tanto, esta framework não está disponível noutros sistemas operativos, e apenas suporta uma distinta gama de dispositivos, não sendo totalmente aberta.

Esta variedade de dispositivos e tecnologias nesta área provoca também alguns entraves ao desenvolvimento de novas soluções, uma vez que, não existem soluções “standard” para o seu desenvolvimento. Existem implementações que utilizam vários tipos de tecnologia, tornando difícil a interoperabilidade entre estes novos produtos. De notar que uma das filosofias da IoT é a interconectividade entre estes dispositivos e sem interoperabilidade entre dispositivos, torna-se impossível de alcançar tal coisa.

Algumas tecnologias têm vindo a surgir recentemente, como o Raspberry PI, que é uma excelente placa de prototipagem, que possui um circuito com 24 pinos de GPIO, que permite controlar qualquer tipo de aparelhos através desta placa. No campo de bibliotecas de software, o Eclipse SmartHome parece ser uma tecnologia interessante, semelhante ao Homekit, mas orientada para programadores e para o desenvolvimento de novos produtos, e o Google Brillo e o Weave parecem tecnologias interessantes orientadas à IoT baseadas no ecossistema da Google.

Este exemplo da Google demonstra um cenário “cloud-based”, o que é uma grande vantagem, uma vez que parte do esforço computacional é retirado do utilizador e dos seus equipamentos, e também centraliza a sua informação num serviço que pode ser acedido de qualquer lugar, desde que possua ligação à Internet. A quantidade de oferta de serviços de alojamento cloud torna o desenvolvimento nesta área bastante mais conveniente. Além disso, provedores de serviço cloud como a Amazon oferecem serviços especializados para IoT, assim como integração total com o resto dos seus serviços, mais uma vez demonstrando como o futuro da IoT reside na cloud.

De referir, que apesar disto ser um projeto a visar o espaço casa, as conclusões e resultados podem ser aplicados também ao espaço empresarial e industrial, onde os casos de uso são semelhantes, mas com um maior volume de dados e por vezes interações específicas, como as se verificam com os equipamentos industriais. Um caso de uso onde a *home automation* encaixa bastante bem é no espaço empresarial, por exemplo, nos escritórios, onde a regulação de equipamentos como ar condicionados, alarmes, sistemas de videovigilância, portas e fechaduras são aspetos de grande importância.

3. Estado de Arte

Existem várias frameworks, bibliotecas de software e estudos feitos na área da “Internet of Things” e da cloud relevantes para este projeto. Para obter as tecnologias mais relevantes nesta área foi analisado um estudo [IEE16] feito pelo IEEE sobre tecnologias IoT utilizadas por engenheiros a nível mundial. A partir destes resultados, as tecnologias mais relevantes foram escolhidas e um resumo geral sobre as mesmas foi elaborado.

3.1 Tecnologias

3.1.1 Apple Homekit

O Apple Homekit não é uma aplicação por si só, é uma espécie de base de dados semelhante ao Passkit e ao Healthkit também desenvolvidos pela Apple. Todas estas “kits” são utilizados pelas respetivas aplicações, neste caso o Homekit tem a aplicação Home, o PassKit tem o Passbook e o HealthKit o Health.

O Homekit neste caso tem como função armazenar uma coleção de dispositivos relativos a casas inteligentes, oferecendo ainda funcionalidades mais avançadas como *triggers*, onde é possível configurar um grupo de ações a executar com base em certos *triggers*, como a hora, a localização do utilizador ou com base nos dados de algum dispositivo. Por exemplo, é possível configurar o sistema de modo a que ele ligue as luzes e abra a porta principal quando o utilizador estiver nas imediações da casa, ou até, ligar ou desligar o aquecimento a uma certa hora do dia.

O Homekit possui também integração com a Siri, o assistente pessoal presente nos sistemas operativos da Apple, o que permite controlar os dispositivos registados no Homekit através de comandos de voz, como por exemplo, “Siri fecha a porta da garagem”.

3.1.1.1 Arquitetura

Os dados no Homekit são estruturados da seguinte forma hierárquica:

- Homes - são a unidade base de dados, que representam uma casa do utilizador. Um utilizador pode possuir várias casas geograficamente afastadas ou até dividir a sua casa em duas, como por exemplo, casa principal e anexo.
- Rooms - representam as salas ou quartos de uma casa. As salas no Homekit apenas possuem um nome que as identifica, como "sala" ou "cozinha", de maneira a que se possam executar comandos deste tipo: "ligar as luzes da sala".
- Accessories - são os dispositivos ou acessórios instalados nas casas e registados em salas específicas. Caso os acessórios não sejam registados em nenhuma sala, o Homekit coloca-os num "default room", um local especial para dispositivos sem uma sala específica.
- Services - são os serviços oferecidos por um dispositivo, como por exemplo, um serviço para ligar a luz de uma lâmpada. Os dispositivos podem também ter serviços internos, como um atualizador de sistema.

De notar que um único dispositivo pode oferecer vários serviços controlados pelo utilizador. Uma porta pode ter um serviço para a fechar e outro serviço para a abrir.

- Zones - são agrupamentos opcionais de salas, como por exemplo, "1º andar" ou "garagem". As zonas, tal como as salas, possuem apenas um nome. As zonas permitem ao utilizador utilizar comandos como, "Siri, liga as luzes do 1º andar", que irá ligar todas as luzes das salas do 1º andar.

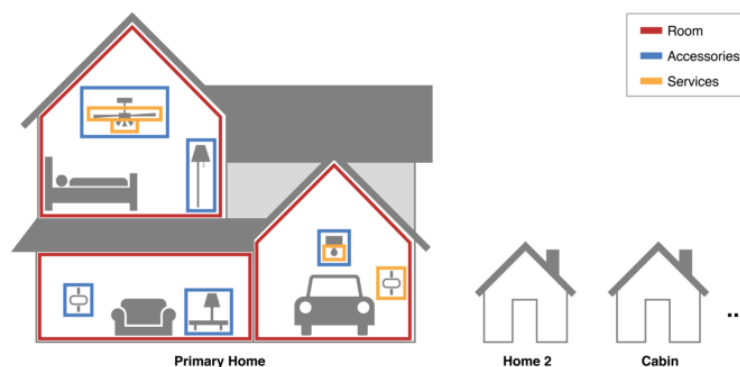


Figura 1: Arquitetura base dos elementos do Homekit

De seguida, um exemplo dos interfaces que demonstram os controlos do Apple Home, a aplicação que complementa o Homekit.

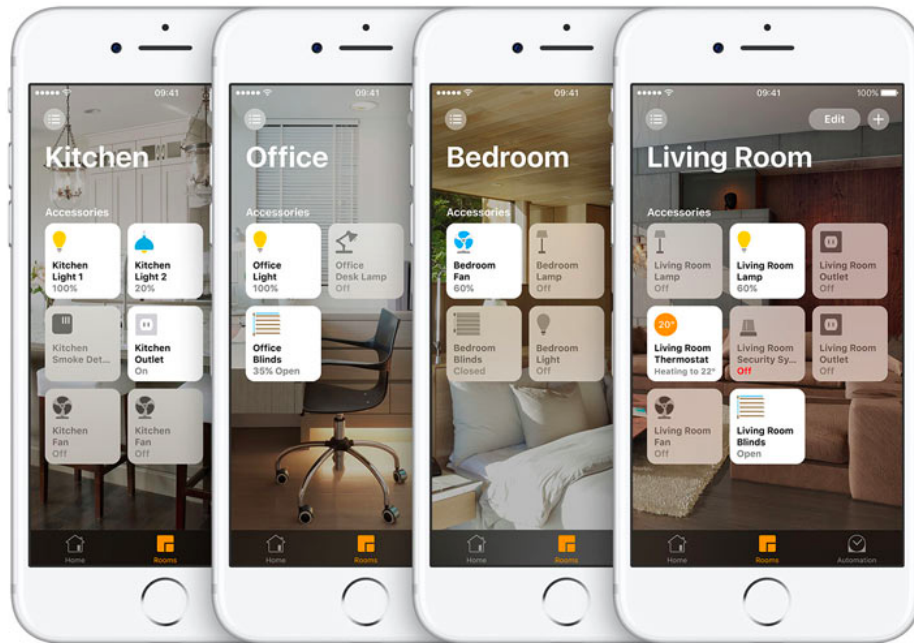


Figura 2: Exemplo de interfaces gráficas do Apple Home

3.1.1.2 API e interoperabilidade

A API oferecida pelo Homekit permite o controlo total da base de dados do utilizador mediante a autorização do mesmo. Além disto, apenas aplicações revistas pela Apple e distribuídas na AppStore é que podem aceder à API do Homekit. Isto não é entrave nenhum ao desenvolvimento no entanto, uma vez que o XCode, o ambiente de desenvolvimento da Apple, possui um módulo de simulação, onde é possível adicionar dispositivos de testes, para testar a funcionalidade de aplicações "Homekit enabled". Resumidamente, tudo o que é possível fazer através da aplicação Home, é possível através desta API programaticamente.

De notar, que a API possui apenas um SDK para Swift ou Objective-C, portanto, o desenvolvimento nesta tecnologia só pode ser feito no ecossistema da Apple, o que é um ponto a menos na interoperabilidade desta tecnologia.

3.1.2 Android Things

O Android Things, originalmente chamado de Google Brillo, é um projeto orientado à "Internet of Things" desenvolvido pela Google, que tem como objetivo fornecer um sistema operativo para sistemas embebidos assim como um protocolo de comunicação, chamado Weave, para comunicarem com a cloud e dispositivos móveis.

Este projeto é uma versão básica do sistema operativo Android, possuindo apenas os serviços "core" do mesmo, de maneira a que possua uma utilização de memória bastante reduzida, sendo ideal para sistemas embebidos, e tendo todas as ferramentas do SDK Android e interfaces programáticos de acesso aos serviços da Google.

Todos os dispositivos utilizando o Android Things podem e devem ser conectados aos serviços cloud da Google, para que estejam sempre com as últimas atualizações dos serviços do sistema operativo. Além disso, os sistemas da Google recolhem constantemente informações do funcionamento dos dispositivos, via o protocolo Weave, e assim é possível aos programadores monitorizarem várias métricas de todos os seus dispositivos, como por exemplo, crash reports.

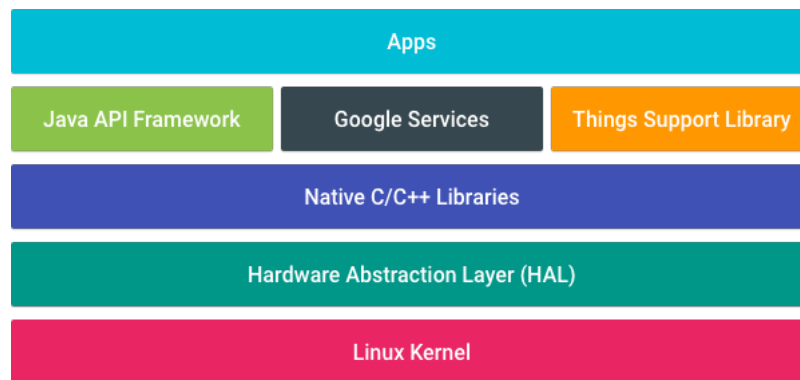


Figura 3: Arquitetura base do Android Things

3.1.2.1 Weave

O Weave é um protocolo de comunicação orientado à IoT, que permite que dispositivos desta área possam comunicar com smartphones e a cloud. O protocolo tem como objetivo abstrair as funções dos dispositivos IoT de modo a que possam ser reutilizado por várias aplicações e serviços web.

Este protocolo utiliza JSON como formato e a transmissão pode ser feita em HTTPS ou em XMPP. Além disso, este protocolo é protegido com SSL/TLS e a autenticação de dispositivos é feita utilizando OAuth 2.0 nos servidores de autenticação da Google. Utilizando este esquema de autenticação, a Google pode possibilitar a partilha destes dispositivos entre diferentes utilizadores, um pouco semelhante à partilha de documentos do Google Drive.

O Weave tem como objetivo fornecer um meio de comunicação entre dispositivos, smartphones e a cloud. A integração na cloud é um ponto muito forte, uma vez que com esta tecnologia aplicações poderão interagir com os dispositivos dos utilizadores, depois da autorização dos mesmos.

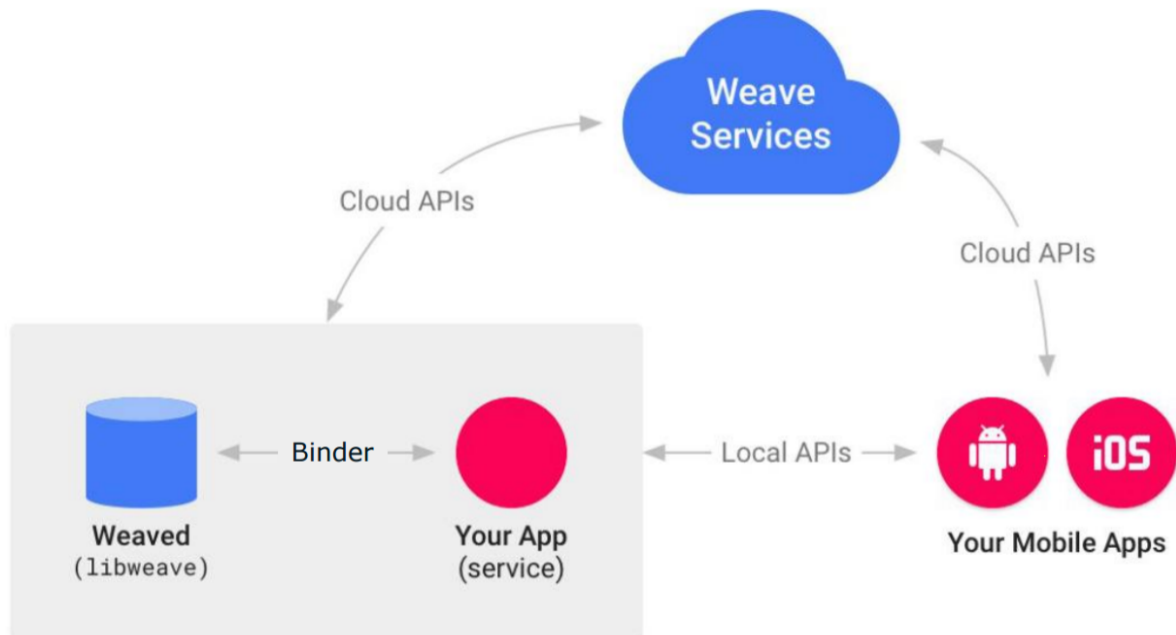


Figura 4: Arquitetura detalhada do Weave

De seguida, uma descrição das funcionalidades do Weave que se destacam:

- **Auto-configuração** - instalação de novos dispositivos podem ser feitas através de dispositivos Android (telemóveis) onde o utilizador efetua a autenticação do dispositivo e é redirecionado para a página da aplicação, caso o dispositivo a tenha.
- **Monitorização de dispositivos** - através do portal do programador dos serviços Google, é possível analisar estatísticas dos dispositivos que utilizam Weave, nomeadamente, número de dispositivos online, distribuição de versões, distribuição de modelos de dispositivo, comandos enviados por hora.
- **Over-the-air updates** - esta funcionalidade apenas funciona em dispositivos que utilizem o sistema operativo Brillo e consiste na atualização automática de dispositivos a partir do portal do programador da Google.
- **Crash reports** - os programadores podem consultar o número de crashes ocorridos nos seus dispositivos assim como o número de utilizadores afetados e um log detalhado do crash em si.
- **Dev Console** - é possível interagir com dispositivos protótipos, podendo testar comandos Weave sem ter que construir uma aplicação cliente. Muito útil para testar a fazer debug dos dispositivos antes de os colocar em produção.
- **Home Assistant** - utilizando os serviços cloud do Weave, é possível fazer integração com o Home Assistant da Google, uma inteligência artificial que pode ser comandada

com comandos voz. Desta maneira, o utilizador pode controlar os seus dispositivos através da sua própria voz, sem ter que recorrer à utilização física das aplicações.

3.1.2.2 API e Interoperabilidade

O Weave possui uma API que pode ser utilizada quer por dispositivos, quer por aplicações clientes nos dispositivos móveis ou até browsers web no desktop. Os utilizadores devem autorizar o acesso das aplicações clientes aos seus dispositivos, e depois disso, as aplicações clientes podem então interagir com os serviços do utilizador. O *libweave* possui wrappers em várias linguagens nomeadamente Java e Go, além da versão original em C/C++.

Quanto ao Android Things, este oferece os serviços core do sistema operativo Android via o SDK em Java do mesmo, tal como se fosse uma aplicação mobile, mas apenas com os serviços core, não possuindo serviços como os contactos, telefone, mensagens, entre outros. O SDK providencia em vez disso, interfaces para acesso a serviços da Google, nomeadamente:

- **Chromecast** - serviço de streaming de telemóveis, tablets e computadores para dispositivos com suporte a esta tecnologia, por exemplo, sistemas de som ou televisões;
- **Google Drive** - serviço de armazenamento de arquivos e edição de documentos;
- **Firebase** - plataforma cloud da Google para suporte ao desenvolvimento de aplicações, contendo várias funcionalidades como: *analytics*, *crash reporting*, base de dados tempo real, configuração remota de aplicações e armazenamento de ficheiros;
- **GoogleFit** - plataforma de monitorização de saúde e *fitness* que recolhe dados de várias aplicações e dispositivos do utilizador para elaborar um perfil do utilizador com a sua performance em várias atividades físicas;
- **Instance ID** - serviço de validação de aplicações para Android, iOS ou extensões do navegador Chrome. Esta API permite gerar tokens para autenticar o acesso a recursos *server side*. Este mecanismo garante que os recursos *server side* possam ser apenas acedidos pelas aplicações clientes registadas neste serviço;
- **Awareness and Location** - esta API utiliza os sensores presentes no dispositivo para obter informações sobre os utilizadores das mesmas assim como o ambiente em geral;
- **Nearby** - este serviço expõe métodos de *publish* e *subscribe* baseados na proximidade. Dispositivos próximos podem então recorrer a esta API para efetuarem comunicação em tempo real. Este serviço permite também efetuar *service discovery*, sendo possível reconhecer dispositivos na rede local.

- **Places** - através deste serviço é possível aceder a varias informações sobre locais no mundo, distribuídos por categorias, podendo por exemplo, localizar supermercados num raio de 5km à volta do utilizador;
- **Mobile Vision** - esta API é um serviço de reconhecimento facial, podendo identificar rostos humanos em fotos, vídeos e transmissões em direto. A API também é capaz de identificar elementos detalhados dos rostos humanos, detetando se uma pessoa esta de olhos fechados ou a sorrir por exemplo.

O sistema operativo pode ser instalado numa gama de placas de prototipagem seleccionadas, como o Intel Edison ou o Raspberry Pi 3, mas também pode ser compilado e instalado em qualquer tipo de dispositivo.

O projeto situa-se em *open-beta*, e pode ser acedido via o portal para programadores da Google [Goo16a].

3.1.3 Eclipse SmartHome

O EclipseSmart Home é uma framework para o desenvolvimento de produtos direcionados a casas inteligentes. É “open-source” e completamente livre ao público geral. A filosofia dos criadores desta framework assenta no facto que a única maneira de ter uma framework verdadeiramente extensível, aberta e preparada para a evolução constante deste mercado, é tornando a mesma “open-source”, para que qualquer indivíduo possa contribuir e para que não existam exclusividades proprietárias, como acontece noutras frameworks da área.

Esta framework é compatível com qualquer tipo de sistema que consiga correr a Java-VirtualMachine. É uma framework OSGi 4.2+, sendo compatível com por exemplo o RaspberryPI, e um número de outras placas de prototipagem. Isto é uma grande vantagem no desenvolvimento, já que é possível efetuar o desenvolvimento para esta framework em MacOS, Linux e Windows.

O SmartHome é orientado aos fabricantes de hardware, que podem preparar os seus dispositivos para serem compatíveis com soluções SmartHome, aos fabricantes de aplicações, que podem desenvolver as suas soluções para serem baseadas no SmartHome e tendo assim compatibilidade com uma vasta gama de dispositivos já existentes no mercado. Por fim, os programadores, que podem desenvolver extensões para o SmartHome que serão compatíveis com qualquer tipo de produto que utilize o SmartHome como base e até poderão disponibilizar estas extensões em plataformas comerciais.

De acordo com o inquérito [IEE16] a programadores realizado pela IEEE sobre tecnologias utilizadas nesta área, o Eclipse SmartHome é a tecnologia mais utilizada, provando a grande comunidade por detrás desta framework.

Esta framework é bastante completa, sendo compatível com grande parte das soluções IoT existentes no mercado, e é além disso, completamente extensível. Existem vários *plugins* desenvolvidos pela comunidade que oferecem compatibilidade para todo o tipo de dispositivos.

De seguida, um pequeno resumo sobre as *features* desta framework:

- **Configuração Textual** - é possível configurar os dispositivos presentes num sistema a base de ficheiros texto. O Eclipse SmartHome possui uma DSL própria, e oferece ao mesmo tempo uma aplicação para editar ficheiros que utilizam esta linguagem, o SmartHome Designer, que oferece mecanismos *auto-completion* e de validação.
- **Áudio e Voz** - o SmartHome oferece mecanismos de *Text-to-speech* e de *Speech-to-text* que permitem aos utilizadores, teoricamente, controlar o sistema utilizando comandos voz, utilizando o *Human Language Interpreter* desenvolvido pela Eclipse. De momento, os idiomas suportados são o Inglês e o Alemão.
- **Rest API** - a framework oferece uma Rest API que permite a serviços externos interagirem com o sistema via pedidos HTTP. A API permite listar e configurar dispositivos e ainda oferece suporte a *Server Sent Events*[Hic15], para que as aplicações clientes possam ser notificadas em tempo real de alterações dentro do sistema.
- **Regras** - essencial para qualquer sistema de *home-automation*, com esta framework é possível definir regras que automatizam o sistema, por exemplo, fechar os estores quando o vento está acima de uma certa velocidade ou fechar as portas da garagem a partir de uma certa hora.

A framework deixa definir estas regras textualmente, um exemplo:

```
ON item_id state changed
  IF item_id.state == desired_value
    THEN item_id2.state = desired_value2
```

- **Internacionalização** - todos os elementos desta framework podem ser internacionalizados, desde que sejam providenciados os corretos ficheiros, neste caso, ficheiros de propriedades i18n Java.
- **Interfaces Gráficas** - esta framework oferece bastantes elementos para o desenvolvimento de interfaces gráficas, como ícones, widgets, entre outros. Além disso, existem mecanismos para definir interfaces através de ficheiros texto. Estes ficheiros são *site-maps*, que define que dispositivos e que informações sobre os mesmos e mecanismos de controlo aparecem no interface gráfico.

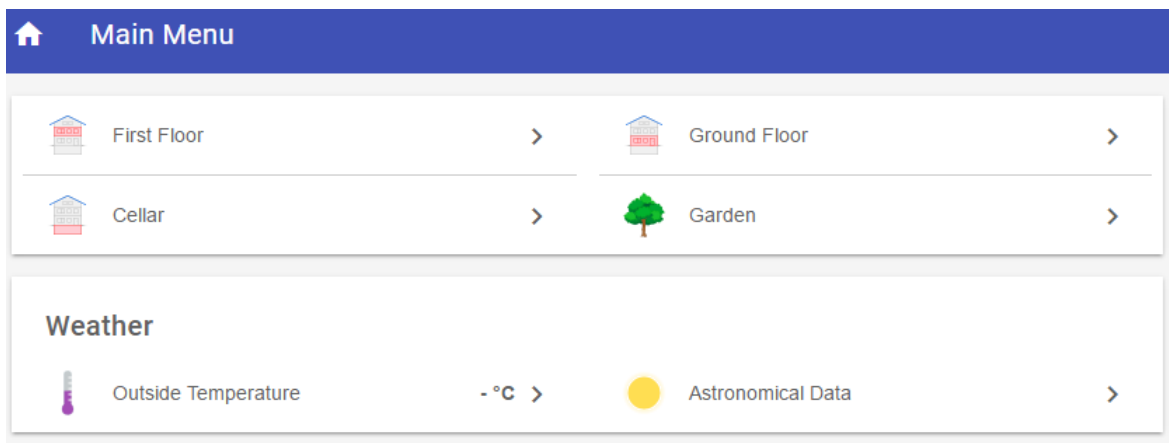


Figura 5: Exemplo da interface gráfica do SmartHome



Figura 6: Exemplo dos controlos da divisão "garden"

3.1.4 Arquitetura

O Eclipse SmartHome diferencia a sua arquitetura em dois paradigmas, o paradigma físico, que representa o estado físico do sistema, ou seja, dos dispositivos e serviços ligados aos SmartHome, e o paradigma funcional, que representa as funcionalidades do sistema disponíveis ao utilizador. Resumidamente, o paradigma físico é útil para a configuração do sistema e resolução de problemas, e o paradigma funcional é útil para a interação entre os utilizadores e o sistema.

A nível aplicacional, o paradigma físico é representado por **Things** e o paradigma funcional é representado por **Items**.

Things são entidades que podem ser adicionadas fisicamente ao um sistema e que podem fornecer várias funcionalidades ao mesmo tempo. **Things** podem ser tanto equipamentos reais que se podem adicionar um sistema como serviços web, como um serviço de meteorologia por exemplo. As **Things** oferecem a sua funcionalidade através de **Channels**.

Items representam as funcionalidades utilizadas pelas aplicações, neste caso, os interfaces gráficos e a lógica de automação. Estes **Items** são porventura ligados a **Thing Channels** através de links.

De seguida, os tipos de **Items** presentes nesta framework:

Itemname	Description	Command types
Color	Color information (RGB)	OnOff, IncreaseDecrease, Percent, HSB
Contact	Item storing status of e.g. door/window contacts	OpenClose
DateTime	Stores date and time	
Dimmer	Item carrying a percentage value for dimmers	OnOff, IncreaseDecrease, Percent
Group	Item to nest other items / collect them in groups	
Number	Stores values in number format	Decimal
Player	Allows to control players (e.g. audio players)	PlayerPause, NextPrevious, RewindFastforward
Rollershutter	Typically used for blinds	UpDown, StopMove, Percent
String	Stores texts	String
Switch	Typically used for lights (on/off)	OnOff

Tabela 1: Tipos de items do SmartHome

Os vários dispositivos e serviços web são então disponibilizados na framework recorrendo a **Bindings**, que disponibilizam estes serviços através dum conjunto de **Things**.

Além disso, o SmartHome alia este mecanismo com o seu serviço de **Inbox & Discovery**, que permite à framework procurar dispositivos compatíveis na rede e a adicionar-los a uma **Inbox**, para posterior configuração.

No entanto, a verdadeira configuração dos sistemas são feitos através de configuração textual, onde se podem especificar as **Things** dum sistema, juntamente com as suas configurações, como por exemplo, endereços IPs e afins. Além disto, também são especificados que tipos de **Items** irão ser retirados dos **Thing Channels**

De seguida, um pequeno exemplo de como a **Binding** do YahooWeather funciona.

A **binding** disponibiliza o serviço de meteorologia sobre o formato de um **thing**, que tem como parametros de configuração a **location**, local a analisar, e o outro parâmetro é o **refresh**, que define a taxa de atualização em segundos dos dados da meteorologia.

Esta **thing** possui então 3 **channels**:

Channel ID	Item Type	Description
temperature	Number	The current temperature in degrees Celsius
humidity	Number	The current humidity in %
pressure	Number	The current pressure in millibar (hPa)

Comparando esta situação a um paradigma orientado a objeto, os **channels** são semelhantes a métodos e a **thing** representa um objeto, com os **items** a atuar quase como tipos de dados.

De seguida, a configuração textual deste exemplo:

Things

Configuração do serviço de meteorologia.

```
yahooweather:weather:berlin [ location=638242 ]
```

Items

Definição do **Item Temperature**, que irá conter a temperatura retornada pelo serviço de meteorologia.

Number Temperature

"Outside Temperature"

```
{ channel="yahooweather:weather:berlin:temperature" }
```

Sitemap

Definição do interface gráfico associado a este exemplo. Neste caso iremos ter um menu chamado *Main Menu* e um elemento com o valor presente no **Item Temperature**

```
sitemap demo label="Main Menu"
{
    Frame {
        Text item=Temperature
    }
}
```

3.2 Trabalho Relacionado

A "Internet of Things" é já um campo com extensos estudos e investigações. Nesta secção irão ser analisados alguns artigos de relevância para este projeto.

No campo de middleware e camadas de serviço orientadas a IoT, Nastic et al. [NTD16] têm como objetivo o desenvolvimento de um *middleware* para o provisionamento de sistemas IoT cloud, para uma maior flexibilidade do consumo de recursos computacionais. Os investigadores avaliam a exequibilidade deste projeto utilizando aplicações do mundo real, neste caso, aplicações de gestão e controlo de edifícios.

As vantagens da computação em cloud são muitas, nomeadamente o provisionamento de recursos computacionais *on-demand*, onde os utilizadores podem dinamicamente alocar recursos para as suas necessidades. Este modelo computacional permite reduzir os custos de infraestrutura para a manutenção de sistemas de informação, recorrendo a estes serviços cloud em vez de infraestruturas locais físicas. Dadas estas vantagens era de esperar que grande parte das soluções IoT tirassem partido destas soluções, no entanto, grande parte das soluções IoT estão a recorrer aos serviços cloud para virtualização de *edge devices* como *IoT gateways*, acabando por adotar uma abordagem de "edge computing".

Apesar desta abordagem fazer o correto uso do fácil provisionamento de recursos computacionais através da virtualização de dispositivos, este método não é flexível, uma vez que cada dispositivo virtualizado é criado para executar uma tarefa específica, impedindo que os recursos na cloud sejam consumidos de forma genérica sendo necessário criar novos mecanismos de configuração e deployment, específicos para cada caso de uso. Este artigo tem como objetivo então tentar conceber um middleware de provisionamento de sistemas cloud

orientados à IoT, completamente abstrato e genérico que pode ser utilizado numa variedade de casos de uso.

Grande parte das abordagens de provisionamento de recursos cloud não providenciam soluções totais para as características dos sistemas que fazem uso das infraestruturas cloud, nomeadamente a variedade, a distribuição geográfica e dimensão destes. Muitas vezes durante a implementação de tais sistemas é preciso recorrer a vários softwares de provisionamento para alocar recursos na cloud, além disso, muitas vezes é necessário a configuração manual dos “edge devices”, e por vezes, presença física no local para configurar tais dispositivos.

Este trabalho de investigação acaba por propor uma arquitetura para um middleware de provisionamento de recursos cloud, que permite a configuração automática de edge devices. O middleware providencia mecanismos para o provisionamento e auto-configuração de “edge devices”, assim como a habilidade para os customizar e configurar de acordo com as necessidades de cada utilizador. Os “edge devices” efetuam assim a comunicação com os dispositivos IoT na sua rede e a “cloud” trata da gestão e configuração destes “edge devices”.

Ainda no panorama do “edge computing”, Nakamura et al. [Nak+16] referem que se está a tornar possível, com a tecnologia de hoje em dia, recolher qualquer tipo de informação do ambiente. Isto leva a que se queira recolher os dados gerados continuamente por estes dispositivos IoT em tempo real. O objetivo deste estudo consiste então no desenvolvimento de um middleware onde se processe estas streams de dados em tempo real e de forma distribuída.

O middleware fornece as seguintes funções:

- Distribuição de tarefas invocadas pelas aplicações clientes para sub-tarefas e a execução distribuída destas sub-tarefas pelos dispositivos IoT;
- Distribuição das streams de dados através de dispositivos IoT;
- Análise em tempo real das streams de dados;
- Integração de sensores e atuadores.

O middleware foi testado num Raspberry Pi para demonstrar a sua performance.

Muita das soluções existentes consistem no uso da cloud para recolher e processar todos os dados emitidos por estes dispositivos IoT. Desta forma os dados tem que ser processados antes de poderem ser devolvidos de volta às aplicações clientes, demorando mais tempo e utilizando mais poder computacional. Este modelo não é muito adequado para comunicação e feedback em tempo real, sendo portanto necessário uma alternativa, que utilize o poder

computacional dos próprios dispositivos para processar estes dados, sem ser preciso o uso de um sistema cloud complexo, assemelhando-se ao paradigma de Edge Computing.

Esta abordagem ainda faz mais sentido hoje em dia, uma vez que os dispositivos IoT estão cada vez mais evoluídos no que toca a recursos computacionais, e assim, utiliza-se estes recursos em vez de sobrecarregar os serviços cloud.

Também foram feitos extensos estudos sobre os problemas existentes no campo da IoT no que toca a funcionalidades e segurança. Ngu et al. referem na sua investigação [Ngu+16] a necessidade e a importância do middleware, a camada de ligação entre os dispositivos IoT e as aplicações clientes, referindo um exemplo do mundo real. Além disso, é feita uma comparação de vários middlewares, e de seguida uma análise detalhada dos desafios e das tecnologias necessárias para o desenvolvimento desta camada de serviço.

Esta investigação refere, como era de esperar, os desafios que advêm de desenvolver soluções IoT, nomeadamente a vasta heterogeneidade dos dispositivos IoT, ou por outras palavras, os dispositivos utilizam vários protocolos de comunicação diferentes e oferecem APIs distintas tornando o desenvolvimento nesta área mais complexo do que o necessário.

As arquiteturas existentes para middlewares IoT podem ser divididas nas três seguintes classes:

- ***Service Oriented Architectures*** - disponibiliza uma vasta gama de dispositivos e equipamentos IoT como serviços;
- ***Cloud-based*** - disponibiliza um serviço limitado em número e tipos de dispositivos, no entanto, coleciona e interpreta os dados dos dispositivos com facilidade pois os casos de uso estão bem definidos *apriori*;
- ***Actor-based*** - coloca ênfase na arquitetura "plug and play" de dispositivos IoT, distribuindo os dispositivos com atores reutilizáveis na rede.

Como é óbvio, um dos componentes mais importantes é a camada de "service discovery", que é responsável por recolher e configurar dispositivos presentes na rede onde o middleware está a operar. Esta camada de serviço deve também recuperar a conexão de dispositivos que eventualmente a possam perder. Isto tem bastante importância, uma vez que, é bastante incómodo ter que configurar manualmente todos os dispositivos IoT numa rede.

Por fim esta investigação reflete sobre a segurança e privacidade dos dados em middlewares IoT, referindo que é um dos mais importantes aspetos desta tecnologia. O artigo refere possíveis soluções e trabalhos da área que tentam resolver estes assuntos:

- ***Lightweight device authentication*** - para dispositivos low-power a autenticação pode ser uma operação moderadamente pesada em termos computacionais, o artigo refere

algumas pesquisas com alvo a resolver este problema. Isto aplica-se a qualquer tipo de solução para qualquer tipo de possível falha de segurança. Por vezes as soluções existentes são um pouco pesadas para estes dispositivos IoT com recursos escassos

- *Denial of service attacks* - estes ataques tem como objetivo esgotar os recursos computacionais, principalmente memória e CPU, da camada de middleware. O artigo refere alguns trabalhos na área com soluções para este objetivo
- *End-to-End security* - apesar de existirem protocolos de comunicação seguros na Internet, tais protocolos podem ser um pouco pesados e não indicados para a IoT. O trabalho refere algumas soluções de outros artigos.

Concluindo, os autores referem que a chave para desenvolver um sistema seguro é começar de raiz com a segurança e privacidade dos dados do sistema em mente, e não construindo a aplicação e introduzindo os mecanismos de segurança depois. Todo este artigo foi bastante útil, porque apresentou uma vasta gama de assuntos e problemas que os middlewares devem ter em conta, e portanto, será algo a rever no futuro.

Um problema da IoT é o elevado número de dispositivos concorrentes a reportarem dados e estatísticas aos serviços cloud, levando a que os protocolos de comunicação mais utilizados, como o HTTP por exemplo, se tornem desadequados a este ambiente de baixo consumo energético e de recursos computacionais limitados. P. Bellavista e A. Zanni [BZ16] tem como visão a utilização de protocolos orientados à IoT, neste caso o MQTT e o CoAP, para melhorar a escalabilidade e a eficiência das plataformas IoT cloud. Os investigadores também referem a emergência de soluções de edge computing, recorrendo a edge devices para “pré-processar” os dados emitidos pelos dispositivos IoT.

Ambos os protocolos foram desenvolvidos especialmente para aplicações na área da IoT, motivados pela necessidade de efetuar comunicação em larga escala utilizando o menor número de recursos possíveis, portanto são otimizados para as mensagens serem extremamente pequenas em tamanho, recorrendo a cabeçalhos otimizados para o efeito.

O MQTT, *Message Queue Telemetry Transport* é um protocolo de comunicação “publish-subscribe” baseado em TCP, onde cada mensagem possui um tópico, e vários clientes podem subscrever esse tópico para receber todas as mensagens publicadas utilizando esse tópico. Digamos que um tópico é semelhante a um URL. Os clientes enviam as mensagens para um “MQTT broker”, que irá distribuir depois as mensagens pelos “subscribers”. Uma funcionalidade bastante icónica do MQTT é o nível variável de “Quality of Service”, existindo 3 níveis diferentes, QoS 0, QoS 1 e QoS 2. Com cada nível de QoS a fiabilidade aumenta, mas a performance diminui.

O CoAP, *Constrained Application Protocol*, é um protocolo de comunicação baseado em UDP, muito semelhante ao HTTP, mas otimizado para ambientes de recursos computacio-

nais escassos e com a otimização da utilização da largura de banda de dados disponível. O protocolo foi desenvolvido com a arquitetura REST em mente, sendo portanto muito fácil de migrar sistemas desenvolvidos em HTTP para este protocolo. Este protocolo tem ainda suporte para a descoberta de serviços e recursos na rede, assim como mecanismos de "publish-subscribe", semelhantes ao MQTT. Leonard Richardson aborda a utilização de CoAP no desenvolvimento de *Restful Web APIs*, no seu livro [Ric13], demonstrando as capacidades deste protocolo.

Conhecer ambos estes protocolos é bastante importante, porque a utilização destes protocolos verifica uma adesão crescente, portanto o middleware a projetar durante esta tese deverá ser capaz de suportar todos estes protocolos emergentes.

No que toca à *home automation* em si, extensos estudos e trabalhos foram publicados, por exemplo, [DRD16] e [Azn+16] demonstram a utilização do Raspberry PI no desenvolvimento de sistemas de *home automation* acessíveis via navegador web e aplicação móvel. A segurança e os perigos ao meio ambiente também são aspetos importantes que não devem ser postos de parte, por exemplo, [Azn+16] tece várias considerações sobre os problemas que as baterias utilizadas nos dispositivos IoT causam ao meio ambiente. Frequências rádio são também analisadas e ultimamente determinadas como seguras, nomeadamente a frequência normal das redes WiFi.

Em grande parte do trabalho realizado nesta área, as funcionalidades são um ponto forte como é óbvio, mas a eficiência e poupança de energia são também fatores bastante importantes, sendo as várias formas de comunicação *wireless* escrutinadas para encontrar as mais eficientes e de menor custo, como se pode ver em [AR16].

4. O Problema e os seus Desafios

O problema consiste na diversidade e heterogeneidade das APIs e serviços IoT, levando a muitos entraves no desenvolvimento de aplicações nesta área, e, para além disso, uma vez que cada dispositivo possui a sua própria API proprietária, o desenvolvimento de novas aplicações torna-se moroso e mais complexo. As soluções existentes não são orientadas ao espaço casa especificamente, e as poucas que estão orientadas a este, são proprietárias e possuem restrições de sistemas operativos, não sendo totalmente abertas. As soluções open-source existentes normalmente requerem muita configuração e perícia tecnológica para a sua utilização e não são otimizadas para utilização em ambientes cloud, sendo de acesso exclusivo na rede local.

O objetivo deste projeto é portanto elaborar uma camada de serviço, middleware ou seja, que efetue a ligação entre os vários dispositivos do espaço casa e as aplicações clientes, abstraindo o espaço casa e os seus dispositivos para um acesso uniforme a estes recursos. Este componente deverá efetuar toda a gestão dos dispositivos das casas dos utilizadores, assim como outros serviços básicos de relevo para esta área, nomeadamente, auto configuração e descoberta de dispositivos na rede, monitorização do espaço casa e automação e programação dos dispositivos, de modo a que estes possam executar ações sem o input direto dos utilizadores. O sistema deverá suportar o registo de vários utilizadores e a adição das suas casas, assim como os dispositivos nelas presentes, ao sistema. O serviço deverá portanto ser acessível via Internet.

Outro objetivo, mais a nível de funcionalidades e benefícios dados ao utilizador, consiste na criação de cenários e tarefas automatizadas. Um cenário consiste num conjunto de estados pré definidos a ser aplicados aos dispositivos de um espaço casa, por exemplo, desligar todas as luzes de uma divisão e fechar uma porta. Assim, conjuntos de estados aplicados várias vezes pelo utilizador podem ser agrupados, poupando o mesmo de manualmente aplicar os estados um a um. As tarefas automatizadas consistem na alteração dos estados dos dispositivos sem necessitar a interação direta do utilizador. Estas tarefas podem ser aplicadas com base no tempo, por exemplo, fechar as portas às 21:00 todos os dias, ou através do estado de outro dispositivo, como por exemplo, ligar as luzes da garagem caso o sensor de movimento lá colocado registe movimento.

Uma proposta para o desenvolvimento é recorrer a *edge devices* para abstrair as implementações e interfaces dos dispositivos da rede local do utilizador, um princípio de *edge computing*. Estes *edge devices* efetuam a ligação entre os vários dispositivos do espaço casa e o serviço *cloud*, removendo a parte da descoberta de novos dispositivos e configuração dos mesmos, colocando-a nos sistemas locais. Para implementar este *edge device*, algo como o Raspberry PI poderá ser utilizado, ou qualquer tipo de placa de prototipagem disponível no mercado.

Idealmente, existirá um *edge device* por casa, que se deverá auto-configurar e começar a pesquisar novos dispositivos compatíveis, já existentes na rede. Os *edge devices*, também podendo ser apelidados de *home gateways*, deverão então gerir e abstrair todos os controlos dos dispositivos conectados a si, fornecendo uma API bem estruturada para controlo destes mesmos. O serviço *cloud* tem como função permitir ao utilizador aceder aos seus dispositivos via o *home gateway*, mesmo não estando na rede local. Um dos objetivos é possibilitar o controlo dos *edge devices* mesmo sem conectividade à Internet, desde que o utilizador esteja presente na mesma rede destes dispositivos. De notar, que para aceder aos *home gateways* e através disso, aos dispositivos do utilizador, é necessário efetuar autenticação, uma vez que cada *home gateway* estará associado a um utilizador àqueles que este der permissão.

4.1 Desafios

O desafio principal é o suporte às várias APIs dos dispositivos e a abstração das mesmas. Será necessário elaborar um mecanismo que torne dois dispositivos semelhantes, mas de fabricantes diferentes e com APIs distintas, efetivamente o mesmo para as aplicações clientes, ou seja, disponibilizar as APIs do mesmo tipo de dispositivo de uma forma unificada, independentemente da API do dispositivo. Por exemplo, dois tipos de termostatos, com funcionalidades semelhantes, mas de fabricantes diferentes e com APIs e protocolos diferentes, seja abstraído num recurso tipo termostato, que possui um conjunto de métodos bem definidos para serem invocados pelas aplicações clientes.

Vai ser preciso ter em conta a conectividade entre os dispositivos e o *middleware*, dado que maior parte dos consumidores possuem *routers* configurados e controlados pelas ISPs, operando em modo NAT e com uma *firewall* que bloqueia o acesso externo a recursos dentro da rede. Alguns dispositivos utilizam UPNP para efetuar *port forwarding*, para tornar estes dispositivos acessíveis de qualquer rede externa. No entanto, UPNP possui várias falhas a nível de segurança, e este processo é um pouco instável, não funcionando em certas condições (variável de acordo com o *router* e ISP). A solução em vista é *network tunneling*, que irá ser detalhada mais à frente nesta dissertação.

Outros desafios são a segurança de todo o *middleware*, que é um ponto importantíssimo uma vez que estamos a lidar com residências de seres humanos, e deixar os seus dispositivos inseguros é problema muito grave. A eficiência e a escalabilidade do serviço são fatores a ter em conta, é necessário assegurar que o serviço tenha a possibilidade de crescer horizontalmente com o aumento de número de utilizadores. Além de tudo isto, será também importante manter boas práticas de desenvolvimento e arquiteturais, uma vez que um serviço deste género pode crescer bastante no que toca ao tamanho e complexidade do código, de maneira a que a manutenção do código seja mais fácil.

Por fim, o último desafio será a simulação e a demonstração da interação com os dispositivos. Devido a problemas óbvios de financiamento e de recursos, não será possível adquirir muitos dispositivos existentes no mercado, portanto, uma das soluções será tentar encontrar emuladores ou implementações *stub* dos dispositivos reais, como por exemplo, este [Ste16] emulador do Philips HUE. Caso algum tipo de dispositivos não possuam emuladores, esses mesmo serão implementados por conta própria.

4.2 Funcionalidades

Definido o problema e encontrados os desafios principais, irão agora ser delineadas as funcionalidades principais que deverão ser encontradas no *middleware* e por ventura na aplicação de demonstração.

- Gestão de utilizadores básica, incluindo registos e autenticação
- Gestão e manipulação de dispositivos IoT
- Agrupamento de dispositivos em localizações (espaço casa)
- Abstração dos detalhes de implementação de cada dispositivo. O modo de operação deverá ser independente do tipo de dispositivo utilizado
- Configuração de novos dispositivos deverá ser assistida e automatizada, através dum *scanner* de dispositivos compatíveis
- Gestão e configuração de cenários
- Gestão e configuração de tarefas automatizadas, à base de expressões temporais ou com base no estado de outros dispositivos
- Garantir acesso aos dispositivos através da Internet, removendo a necessidade da presença na rede local onde os dispositivos estão instalados

5. Metodologia

Como todos os projetos de software bem estruturados e desenhados, serão utilizadas práticas e metodologias já existentes e comprovadas no mundo real. Neste capítulo irão ser demonstrados alguns dos elementos utilizados.

5.1 Iterative and Incremental development

Esta prática consiste numa combinação de práticas incrementais e iterativas, onde essencialmente um produto de software é separado em componentes, sendo que cada um destes componentes é iterativamente implementado. Essencialmente, esta metodologia de desenvolvimento irá ter os seguintes passos, para a elaboração de cada componente:

- Requisitos - definição dos requisitos do sistema
- Design/Arquitetura - desenho da arquitetura do sistema
- Implementação - implementação dos elementos definidos na arquitetura
- Testes - testes unitários e de integração
- Avaliação - avaliação do sistema dum ponto de vista funcional e técnico

Durante a idealização da arquitetura, o sistema irá ser dividido em pequenos componentes ou sistemas que resultam no projeto final, sendo que cada um sistema irá ser implementado um de cada vez, seguindo esta metodologia. Na essência, esta metodologia é uma combinação da metodologia *Waterfall* e incremental, desenvolvendo pequenas partes do sistema de cada vez.

5.2 Model Driven Development

Ideal para sistemas de grande complexidade, durante o desenvolvimento dos componentes de software deste projeto irão ser utilizados diagramas para descrever o comportamento do sistema num alto nível. Utilizando modelos de domínio e diagramas de classe, entre outros, será possível descrever a um alto nível de abstração, a estrutura e o comportamento do sistema de software antes da sua implementação.

Esta metodologia tem grandes vantagens, sendo uma delas a facilitação do trabalho em equipa e a colaboração com outros, uma vez que é mais fácil explicar conceitos através de um diagrama em vez de um excerto de código. Além disso, dado que os diagramas não estão necessariamente ligados a uma dada tecnologia ou linguagem de programação, teremos uma grande vantagem na altura de migrar o sistema para outra tecnologia, caso seja necessário. Além disso, existem aplicações no mercado, capazes de transformar modelos em código, reduzindo o tempo de implementação necessário.

Neste preciso caso, será utilizado UML para desenhar os diagramas, uma linguagem de modelação bastante utilizada na indústria, possuindo várias ferramentas capazes de transformar diagramas em código.

5.3 Static Code Analysis

Sistemas de software de grande dimensão devem seguir os mesmos standards sintáticos e arquiteturais em toda o código. Para efetuar esta verificação, foram utilizadas ferramentas de análise de código, que permitem detetar *code smells* e más práticas arquiteturais para prevenir *bugs* e falhas de segurança. Também ajudam a manter o estilo do código uniforme, para melhorar a sua legibilidade e compreensibilidade.

5.4 Continuous Integration

Todos os componentes do sistema irão ser mantidos num sistema de controlo de versões, nomeadamente o *git*, utilizando o serviço de *hosting* do *GitHub*, para manter todos os repositórios na *cloud*. Utilizando o *GitHub*, é possível efetuar várias integrações com outras ferramentas de *testing* e *deployment* que nos permitem seguir esta metodologia de *continuous integration*.

Continuous integration é o nome que se dá à prática de continuamente testar e integrar o código do software nos sistemas onde eles irão operar. O *workflow* utilizado irá fazer uso do *GitHub*, um sistema de *hosting* de *git*, o sistema de controlo de versões a ser utilizado, e, finalmente, do *Travis*, uma plataforma de execução de testes automáticos.

Utilizando estes recursos é possível testar a última versão do código assim que ele é *pushed* para o repositório remoto. Basicamente, assim que um novo *commit* é *pushed* para o *GitHub*, o *Travis* corre os testes dessa nova versão do software, reportando o resultado para o *GitHub*. Além dos testes, também são executadas nesta fase as ferramentas de análise de código, retornando uma *build* errónea caso elas detetem problemas.

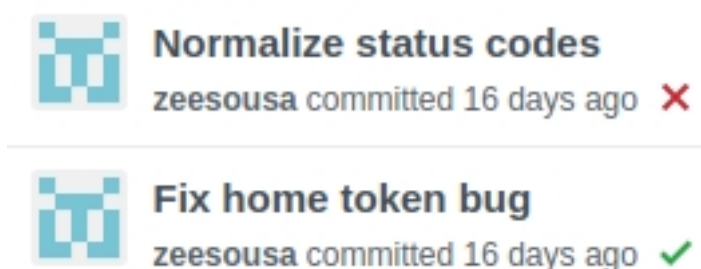


Figura 7: Integração Travis & GitHub

Neste exemplo, o *commit* "Fix home token bug" passou os testes definidos enquanto que o último *commit* "Normalize status codes" falhou os testes.

Os componentes do sistema que necessitarem de um sistema de *hosting* irão recorrer ao *Heroku*, uma *platform as a service*, que permite correr qualquer tipo de serviço web sem custos. A única limitação consiste no adormecimento dos serviços, ou seja, todos os serviços grátis "adormecem" ao fim de 30 minutos sem receberem qualquer tráfego.

O *Heroku* é semelhante ao *Travis* na medida em que sempre que deteta um novo *commit* no *GitHub* tenta efetuar o *deploy* dessa nova versão. Neste caso, como também temos o *Travis* no nosso *workflow*, o *Heroku* aguarda que os testes passem antes de dar *deploy* ao código. Assim, asseguramos que temos sempre uma versão estável do sistema ativa.

É possível definir *pipelines* avançadas no *Heroku*, podendo ter sistemas de *staging* e sistemas de *production* ao mesmo tempo. Por exemplo, um sistema de *staging* pode ter passado nos testes mas ainda está na fase de avaliação, enquanto que um sistema de *production* já está pronto para utilização final. Além disso, também é possível ter uma aplicação por cada *feature branch* presente no *GitHub*, criando uma aplicação para cada *pull request* ativo. Neste caso, temos apenas uma aplicação de *staging* e uma para cada *pull request* ativo.

6. Arquitetura

Delineado os objetivos, vamos proceder para a elaboração da arquitetura do serviço, falando dos componentes num alto nível de abstração antes de mergulhar nos detalhes tecnológicos e de implementação. Aqui vamos detalhar com mais rigor as funcionalidades base do sistema assim como as entidades que o compõem.

6.1 Sistema

O *middleware*, devido ao seu tamanho e à sua complexidade, não será composto apenas por um único elemento de software, sendo composto por vários elementos mais concisos, cada um resolvendo um conjunto de problemas. Neste caso iremos dividi-lo em duas partes, *hub* e *api*, dois componentes de software que fornecem APIs RESTful, uma para uso interno e outra para uso externo respetivamente, ambas seguindo as recomendações de Leonard Richardson no seu livro sobre serviços web *RESTful* [Ric13]. Além destes dois elementos que compõem o *middleware*, também serão desenvolvidas as simulações dos dispositivos, pequenas aplicações que irão simular o funcionamento dos diversos tipos de dispositivos, e por fim, uma aplicação cliente que faça uso de todas as funcionalidades oferecidas por esta plataforma.

6.1.1 Hub

O *hub* consiste no conceito *edge device* que já foi abordado anteriormente, um dispositivo que fornece uma interface para interagir com os dispositivos do utilizador. Este componente deverá fornecer camadas de compatibilidade para diversos tipos de dispositivos, de modo a resolver o problema relativo à heterogeneidade dos dispositivos IoT.

Este componente será pré-instalado e configurado em dispositivos que deverão depois ser fornecidos aos utilizadores (num caso de utilização em massa). Neste caso de demons-

tração acadêmica, será utilizado um Raspberry PI para simular este dispositivo. O serviço irá correr como um *daemon* nestes dispositivos, sendo iniciado durante o processo de *boot*.

Este componente deverá fornecer uma API HTTP RESTful, que permita interagir com os dispositivos no espaço casa, de acesso exclusivo à *api*. O *hub* deverá ter métodos *GET* e *PUT*, para manipular os dispositivos. Este métodos deverão ser acompanhados de parâmetros que identificam um dispositivo, como por exemplo, endereço IP, porta de acesso, e outros parâmetros exclusivos a um dispositivo. Estes parâmetros deverão ser obtidos em parte pelo sistema de descoberta de dispositivos presente neste componente, que procura no espaço casa dispositivos compatíveis, retornando os seus parâmetros de acesso.

O *hub* é portanto *stateless*, ou seja, não armazena nenhum tipo de informação ao longo do seu funcionamento, essa função está ao encargo da *api*, que vamos detalhar já de seguida. Além disso, este componente irá ser exposto através de um software de *tunneling*, que como já foi visto anteriormente, é uma melhor opção do que UPNP e *port-forwarding* para a exposição de recursos em redes locais.

6.1.2 Api

A *api* contém toda a lógica relacionada com utilizadores, casas, dispositivos e a manipulação de cenários e tarefas. Este componente é o típico servidor aplicacional com acesso a base de dados que contém toda a lógica de negócio do sistema. A *api*, tal como o *hub*, deverá fornecer uma API HTTP, seguindo também uma arquitetura *REST*. Esta API será de acesso público, contrastando com a API do *hub* que é de acesso exclusivo ao *middleware*.

Dado que o *hub* é um componente *stateless*, a *api* deverá armazenar os parâmetros de acesso aos dispositivos. Além disso, todas as funcionalidades do *hub* devem ser acessíveis a partir da API, efetuando reencaminhamento das aplicações clientes para o *hub*.

Tudo isto irá consistir num sistema de tamanho médio composto essencialmente de operações *CRUD*, tornando-se mais complexo na área das tarefas automatizadas, onde provavelmente se deverá investir em alguma *framework* de *background jobs* para monitorizar e controlar dispositivos assincronamente, sem criar carga adicional no servidor aplicacional.

Obviamente, os recursos irão pertencer a uma entidade "utilizador", sendo necessário algum tipo de autenticação para aceder aos mesmos, que em princípio será *token-based*.

6.1.3 Simuladores de Dispositivos

Estes simuladores têm como função emular o funcionamento de dispositivos do mundo real. Isto permite proceder a uma demonstração completa sem ter que adquirir vários tipos de dispositivos diferentes. Neste preciso caso os dispositivos deverão fornecer APIs HTTP Restful, um standard bastante utilizado na indústria. Para demonstrar a compatibilidade de vários protocolos, também serão desenvolvidos alguns exemplos em CoAP.

6.1.4 *Wrapper* da API

É boa prática que após o desenho e conceção de uma API à base de HTTP e JSON se desenvolvam *wrappers* para as linguagens de programação mais comuns. Um *wrapper* essencialmente converte as chamadas à API utilizando HTTP para métodos ou funções da linguagem respetiva.

Por exemplo, temos um recurso *foo* disponível numa API HTTP *Restful*, para efetuar a sua obtenção deveria ser feito algo como:

```
HTTP GET -> /foo/1
```

Um *wrapper* converteria estas comunicações HTTP para métodos de uma linguagem de programação. Um *wrapper* em Java provavelmente atuaria da seguinte maneira:

```
FooApiWrapper api = new FooApiWrapper(remoteHost);  
  
Foo foo = api.getFoo(1);
```

Internamente o *wrapper* faria a chamada à API remota e devolveria o resultado respetivo, um objeto em vez de uma resposta HTTP, fazendo toda a serialização automaticamente. Isto permite retirar uma grande porção de código que se iria repetir em todas as aplicações clientes. Neste caso, irá ser desenvolvido um *wrapper* para a *api* do *middleware* na linguagem que for utilizada na aplicação cliente.

6.1.5 Aplicação Cliente

Como prova de conceito irá ser desenvolvida uma aplicação *mobile*, em linguagem e sistema operativo mais à frente. A aplicação deverá fazer uma demonstração de todas as funcio-

nalidades e operações que o *middleware* implementa. Estas funcionalidades estão detalhadas na [secção 2](#) do capítulo 4. Todos esses pontos serão aplicados ao resultado final da aplicação.

De notar que esta aplicação apenas foi desenvolvida para efeitos de demonstração, portanto, grande parte desta dissertação será, como é óbvio, sobre o *middleware* e os seus componentes. Foi efetuado um esforço significativo para implementar boas práticas arquiteturais e de programação em todo o software desenvolvido, mas a aplicação cliente poderá ficar um pouco aquém dos restantes elementos.

6.1.6 Visão Geral

Um espaço casa deverá possuir um *hub* instalado, e a *api* comunica com os dispositivos do espaço através deste equipamento. Com isto separamos uma componente complexa da *api*, a camada de compatibilidade entre os diversos modelos de dispositivos, tornando todo o sistema mais manutenível.

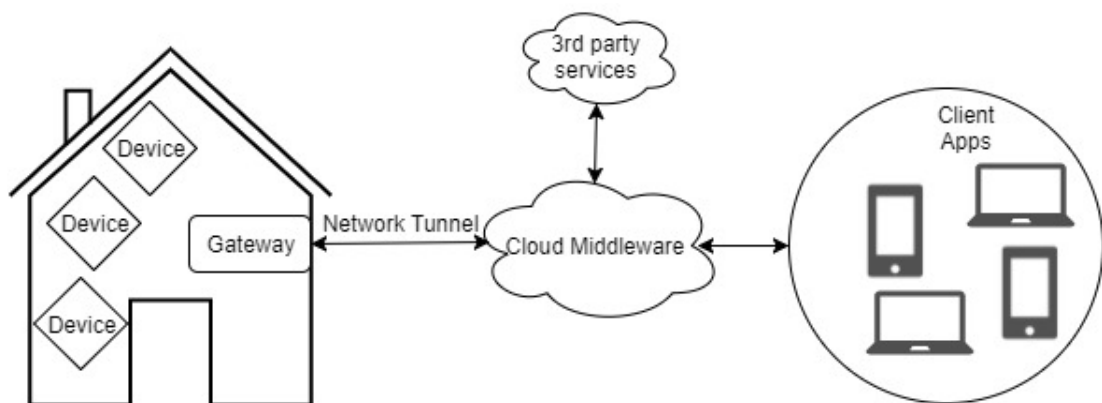


Figura 8: Visão Geral dos Sistemas

Aqui o acesso aos dispositivos será abstraído graças ao *software* que irá operar no *gateway/hub*. Apenas a *api* irá ter acesso ao *hub*, sendo que irá ser desenvolvido algum mecanismo de segurança de maneira a que se rejeite o acesso indevido ao *hub* dos utilizadores. De notar que apesar deste mecanismo de segurança proteger o *hub*, os dispositivos deverão ter as suas próprias medidas de segurança, garantidas pelos seus fabricantes.

As aplicações clientes e serviços de terceiros poderão aceder ao *middleware* recorrendo à API HTTP ou utilizando os *wrappers* desenvolvidos.

6.2 Análise de Domínio

Nesta fase identificam-se as classes conceptuais essenciais para resolver o problema em questão e implementar as funcionalidades desejadas. Utilizando esta abordagem, apenas se identificam conceitos do mundo real, ou seja, segundo o paradigma dos utilizadores, num alto nível de abstração. Este domínio aplica-se mais ao componente *api*, que, essencialmente, representa o *core* da funcionalidade do *middleware*.

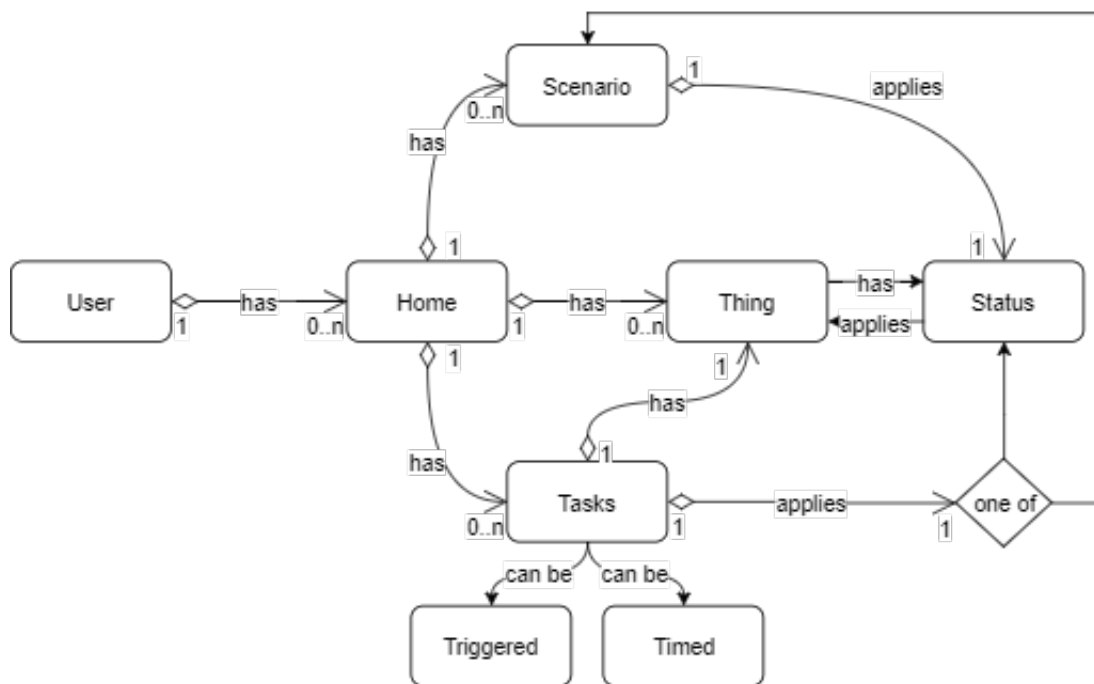


Figura 9: Modelo de Domínio

Resumidamente, o sistema possui vários utilizadores, sendo que cada um deles possui, portanto, uma ou mais casas e cada casa possui por sua vez um conjunto de dispositivos. Além disso, cada casa possui também os seus cenários e tarefas, podendo estas últimas serem ativadas com base em expressões temporais ou condicionantes baseadas noutros dispositivos do sistema. De seguida será apresentado um pequeno dicionário com o significado e função de cada entidade:

User

Representa o utilizador, que, como é normal, possui um email e uma password para autenticação. O utilizador é a entidade base do sistema, ou seja, qualquer outra entidade está diretamente ou indiretamente ligada a um utilizador.

Os dados do utilizador também serão utilizados como base para a autenticação e autorização. Ou seja, um utilizador não podem interagir com as entidades de outro utilizador.

Home

Representa a casa de um utilizador, contém dados para aceder à rede local e interage com os dispositivos lá instalados. Além disso, esta entidade também deverá possuir uma referência ou um identificador do *hub* instalado no espaço casa, algo que permite ao *middleware* saber onde e como comunicar com os dispositivos desse espaço.

Todas as restantes entidades possuem uma associação direta ou indireta a um espaço casa.

Thing

Representa os dispositivos, contendo os dados necessários para efetuar comunicação com o mesmo. O *hub* aceita uma lista de parâmetros para efetuar comunicação com um dispositivo compatível, mas como este é *stateless*, não tem capacidade para os armazenar. Essa função pertence à *api*, e é com recurso a esta entidade que se irá alcançar o objetivo pretendido.

Cada *thing* possui dois parâmetros obrigatórios: tipo e subtipo. O tipo representa a funcionalidade geral do dispositivo, por exemplo, uma luz, uma fechadura ou um termóstato. O subtipo é referente à implementação do dispositivo, ou por outras palavras, o modelo do dispositivo. Neste caso a divisão entre tipos:

- Things::Light - lâmpadas, dispositivos de iluminação
- Things::Lock - fechaduras, portas, portões
- Things::Thermostat - termostatos
- Things::Weather - estações meteorológicas, serviços de meteorologia
- Things::MotionSensor - sensores de movimento, alarmes

Quanto aos subtipos, irão existir os seguintes:

- Light - rest, coap, hue
- Lock - rest
- Thermostat - rest
- Weather - rest, owm
- MotionSensor - rest

Os subtipos *rest* correspondem às simulações de dispositivos desenvolvidas no âmbito deste projeto. O *coap* é também uma simulação, só que utiliza CoAP em vez de HTTP. O subtipo *hue* corresponde às lâmpadas do *Philips Hue* enquanto que o *owm* corresponde ao serviço remoto de meteorologia *OpenWeatherMap*.

Status

Representa o estado de um dispositivo. Os dispositivos retornam estas entidades mas estas também podem ser aplicadas ao dispositivo, efetivamente alterando o seu estado.

Isto permite-nos utilizar a arquitetura REST para alterar o estado dum dispositivo com base nos verbos HTTP, *PUT* e *GET*, onde o primeiro altera o estado e o segundo obtém o estado de um dispositivo.

Scenario

Representa um conjunto de estados que podem ser aplicados em conjunto. Tal como já foi referido anteriormente, podemos juntar estados que normalmente são aplicados ao mesmo tempo, como, desligar as luzes todas antes de o utilizador ir dormir, num só cenário que pode ser aplicado, simplificando muito a utilização da aplicação.

Task

Representam as tarefas, entidades que representam uma aplicação dum estado ou de um cenário com base numa condição (triggered ou timed). Isto permite definir as interações já referidas na introdução do problema, como, aplicar o cenário "desligar luzes" às 23:00, ou, ligar a luz da garagem quando o sensor de movimento lá colocado detetar movimento.

Como foi possível reparar nos exemplos referidos, temos dois tipos de tarefas, que serão agora apresentadas.

Triggered

Representam as tarefas condicionais, que são aplicadas com base no estado de um outro dispositivo presente neste sistema, como no exemplo acima referido, ligar a luz da garagem quando o sensor de movimento lá colocado detetar movimento.

Timed

Representam tarefas que são aplicadas com base numa dada expressão temporal. A tarefa "aplicar o cenário desligar luzes às 23:00" é deste tipo.

6.3 Design

De todos os componentes já referidos, apenas o *hub* e a *api* tiveram direito a um grande esforço no que toca ao desenho e elaboração da sua arquitetura utilizando diagramas, como dita o *model driven development*. Os outros componentes como os simuladores de dispositivos são bastante simples e concisos, e não fazem parte do *scope* da dissertação, são apenas ferramentas para demonstração. O mesmo se aplica à aplicação cliente e a componentes relacionados à demonstração, que apenas são um *front-end* para demonstração do *middleware*.

6.3.1 Hub

Como já foi visto anteriormente, o *hub* tem como função agregar as APIs dos vários dispositivos de um espaço casa, numa API HTTP RESTful a ser consumida pelo *core* do *middleware*, a *api*. No geral, foi concebida uma arquitetura seguindo o padrão MVC. Neste caso, o *model* são os dispositivos, as *views* os estado dos mesmos, já os *controllers* aceitam os mais diversos parâmetros para estabelecer a comunicação com um dispositivo.

Things

Inicialmente foram definidas classes base para os diversos tipos de *things* suportadas. Estas classes representam o estado de um dispositivo, indicando por exemplo se uma porta está fechada ou se uma luz está ligada. Serão suportadas os 5 tipos de *things* já definidas no modelo de domínio: termóstato, sensor de movimento, fechadura, luz, estação de me-

teorologia. As *things* são classes imutáveis, ou seja, o seu conteúdo não pode ser alterado dinamicamente, servindo apenas para representar um estado.

As *things* não possuem muita funcionalidade em comum, mas foram mesmo assim integradas num interface que possui dois métodos de utilidade. A partir de uma *thing* deveremos obter a sua representação textual, por exemplo, a classe *Lock* tem a representação textual *lock*. Também deveremos obter a *factory* que cria os serviços (definição dos mesmos mais à frente) que interagem com os dispositivos respetivos.

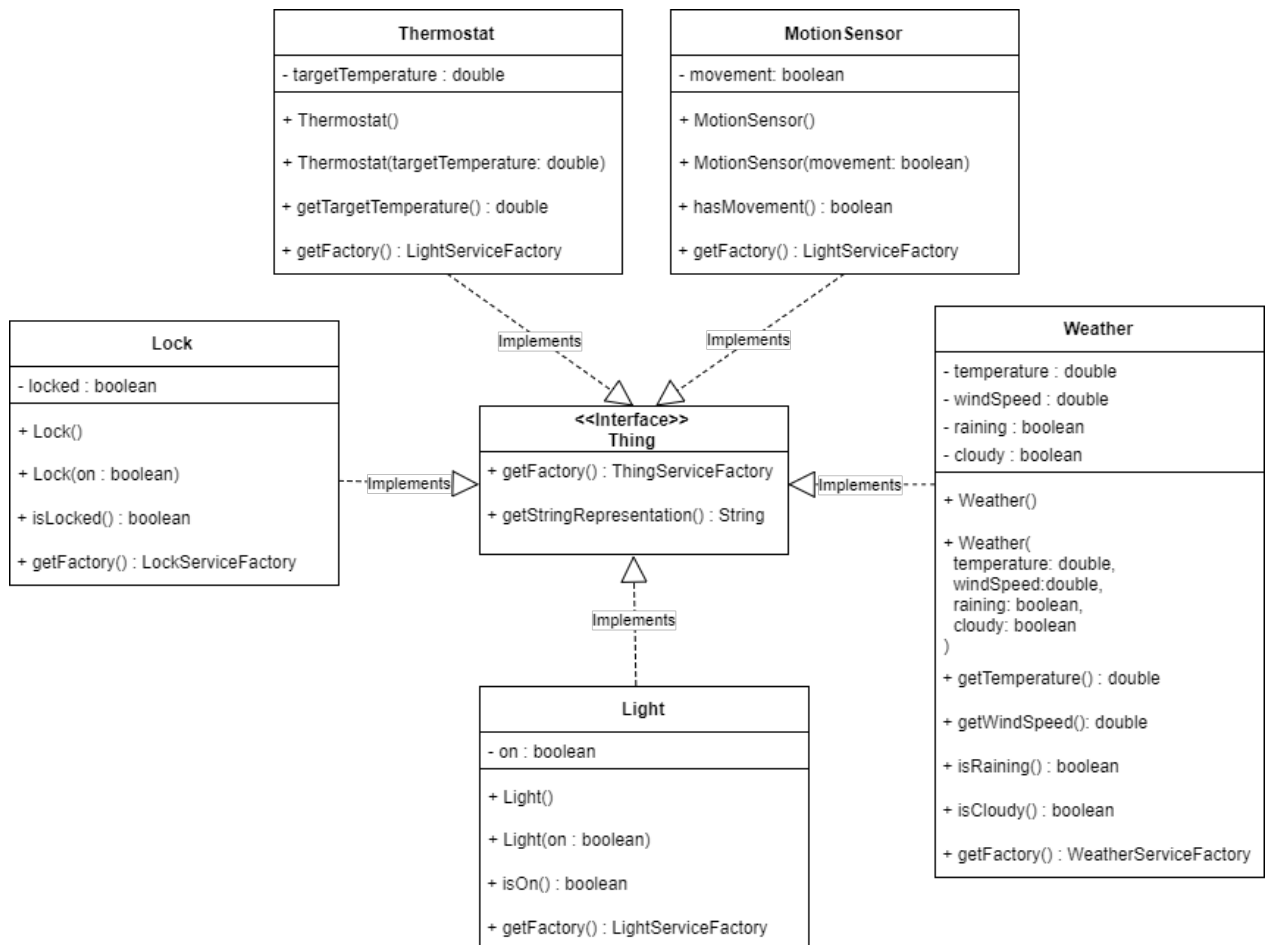


Figura 10: Diagrama de classes: *Things*

Serviços

Posto isto, teremos agora que idealizar a comunicação com os dispositivos. Neste caso faremos o uso de serviços, classes que possuem métodos para interagir com um dispositivo específico. Os serviços podem partilhar funcionalidade, como métodos para comunicação HTTP, e portanto esse tipo de funcionalidades estão encapsuladas em classes abstratas auxi-

liares. Neste caso além do serviço base, temos também o serviço HTTP e CoAP, que possuem métodos auxiliares para comunicar com dispositivos que utilizem os protocolos respectivos.

Para cada subtipo de uma *thing* deve existir um serviço. Como já vimos anteriormente, um subtipo representa um modelo específico do dispositivo, e como cada subtipo exige um tipo de comunicação e interação diferente, é portanto necessário ter um serviço para cada um. No diagrama abaixo vemos os serviços para os subtipos da *thing* do tipo *light*, *coap* e *rest*.

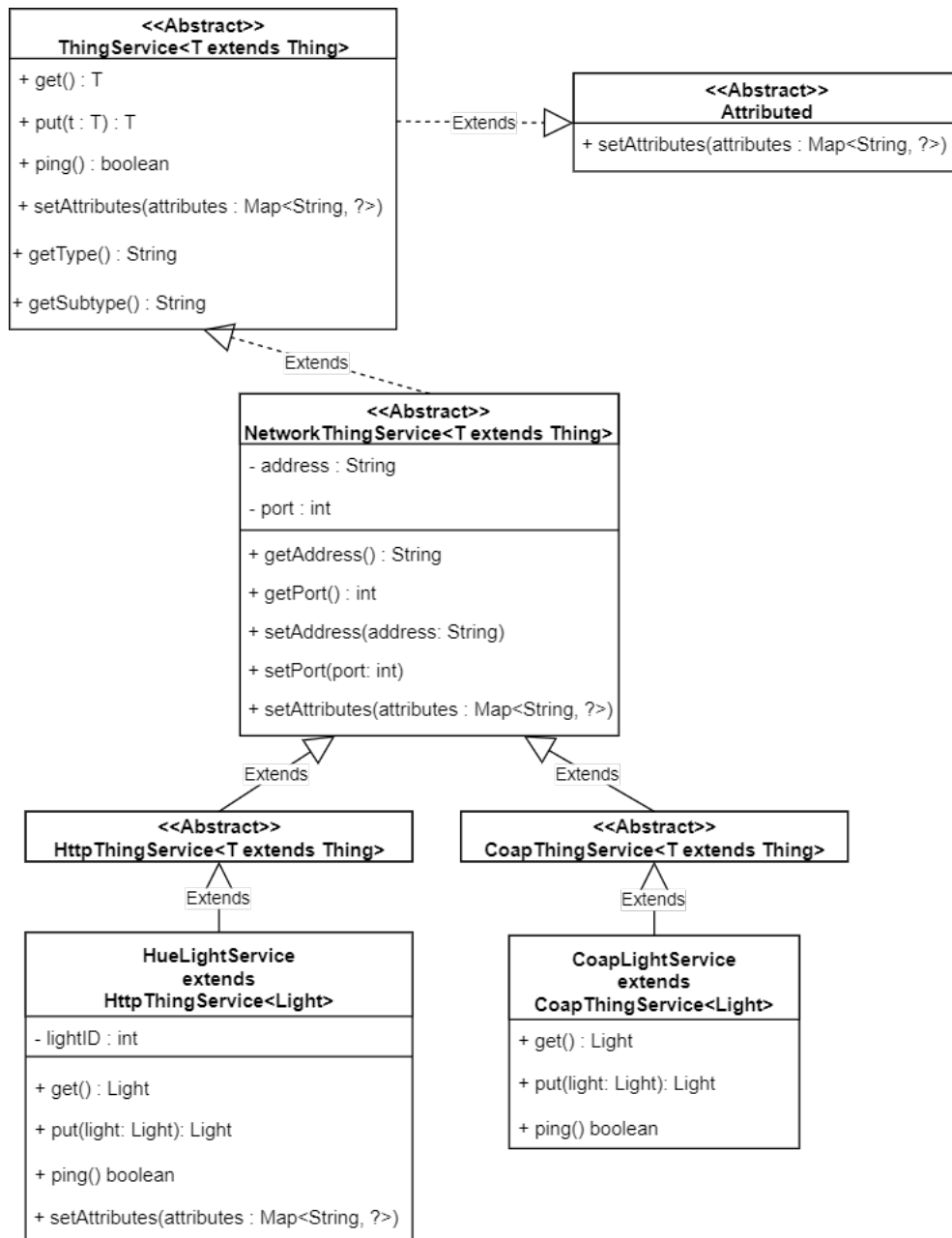


Figura 11: Diagrama de classes: Serviços

Os restantes serviços serão de seguida enumerados, indicando as classes abstratas em que se baseiam:

- *rest light* -> *RestLightService* -> *HttpThingService*<Light>
- *rest lock* -> *RestLockService* -> *HttpThingService*<Lock>
- *rest thermostat* -> *RestThermostatService* -> *HttpThingService*<Thermostat>
- *rest weather* -> *RestWeatherService* -> *HttpThingService*<Weather>
- *owm weather* -> *OWMWeatherService* -> *ThingService*<Weather>
- *rest motionsensor* -> *RestMotionSensor* -> *HttpThingService*<MotionSensor>

Os serviços possuem todos os parâmetros para efetuar comunicação com um dispositivo, nomeadamente o seu endereço, porta de acesso, entre outros. Estes parâmetros são fornecidos ao *hub* nas chamadas à sua API e por ventura são passados aos serviços. O método *setAttributes*, fornecido pela classe abstrata *Attributed*, aceita um *array* associativo, ou por outras palavras, um *map*, que contém todos os atributos necessários para o seu funcionamento. Caso falem atributos ou os atributos tenham formatos invalidos, deverá ser lançado um erro ou uma exceção ou um qualquer mecanismo da linguagem para assinalar *inputs* inválidos. Apesar dos *setters* e dos *getters* presentes nos serviços, este método permite definir os atributos apenas tendo uma instância de *ThingService*, sem sabendo a classe concreta da instância.

As instâncias concretas dos serviços não são de acesso público, apenas o interface base e as extensões abstratas são de acesso público. Decidiu-se proceder desta maneira para reduzir o acoplamento entre os serviços e as outras partes da aplicação, nomeadamente os *controllers* que recebem parâmetros das chamadas à API e comunicam com os dispositivos, utilizando os serviços para isso. Portanto, todos os serviços serão instanciados através de *factories*, que recebem um subtipo e devolvem uma instância dum serviço referente ao subtipo dado. Mais uma vez, é por esta razão que definiu-se o método *setAttributes*, para efetuar o *assign* dos atributos sem ter acesso à classe específica de uma instância de um serviço.

A classe auxiliar *Attributed* em termos lógicos basicamente assinala isto que já foi exposto, uma classe que permite mudar o seu estado interno, ou por outras palavras, os seus atributos, através de um *map* entre o nome do atributo e o seu valor. Esta comportamento foi extraído do serviço porque é utilizado noutros pontos da aplicação, nomeadamente a descoberta de serviços, que utiliza este mecanismo pelas mesmas razões acima citadas.

Os dispositivos do tipo base *NetworkThingService* requerem todos um endereço e uma porta, que poderão ser passados à instância de um serviço através dos seus *setters*, no entanto, não podemos fazer tal coisa, porque apenas interagimos com instâncias do tipo *ThingService*,

devido ao acesso privado das classes concretas. Para resolver isso utilizamos o método *setAttributes*, como já se falou anteriormente. Classes que adicionem parâmetros adicionais, como o *HueLightService*, que adicionam o parâmetro *lightID* devem voltar a implementar o método *setAttributes* para acomodar o novo parâmetro.

Factories

Devido à abordagem à base de "um serviço para um subtipo", iremos ter várias classes concretas para cada um dos subtipos de dispositivos, portanto, irá ser utilizado o padrão *abstract factory*, onde teremos várias fábricas de serviços, uma fábrica por tipo de dispositivo, para simplificar o processo de instanciação de serviços. Por exemplo, a fábrica do tipo "luz" é responsável por instanciar todos os serviços suportados por este tipo de dispositivo, aceitando um subtipo como parâmetro. As fábricas de objetos também devem ter um método de utilidade para ver se um dado subtipo é suportado, além disso, o método *create* deve, obviamente, finalizar com um erro quando o subtipo não é suportado.

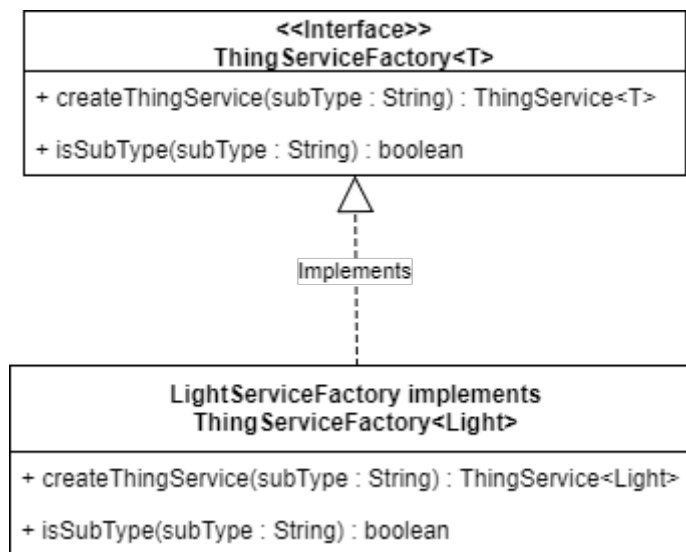


Figura 12: Diagrama de classes: *Factories*

Neste diagrama apenas está representado a *LightServiceFactory*, mas todos os outros tipos de dispositivos tem fábricas com assinaturas semelhantes. O método *create* retorna os serviços definidos acima, mas sem exportar os detalhes da classe concreta. Caso o método *create* seja chamado com o subtipo *hue* numa fábrica do tipo *LightServiceFactory* a fábrica retorna um *HueLightService* abstraído no interface *ThingService<Light>*.

O interface base *ThingServiceFactory* irá ter uma função vital nos *controllers*, permitindo efetuar *dependency injection* nestes, simplificando a operação dos mesmos. Assim, um *con-*

troller genérico consegue operar com qualquer tipo de dispositivo, baseado na *factory* que o compõe.

Controllers

Seguindo a arquitetura MVC, já temos os componentes que representam o *model*, neste caso as *things* e os serviços, faltando os *controllers* e as *views*. Os *controllers* têm como função aceitar parâmetros provenientes da chamada à API, gerando alterações nos *models*, ou mais concretamente, nos dispositivos. Além de gerar alterações, os *controllers* também podem gerar as tais *views*, representações dos estados dos dispositivos.

Tal como foi explicado no *design* das *factories*, os *controllers* irão funcionar à base de *dependency injection*, sendo compostos por uma *ThingServiceFactory*, que irá ditar o tipo de dispositivos com que o *controller* lida. Assim, tendo apenas uma definição base de um *controller*, conseguimos trabalhar com todo o tipo de dispositivos, em vez de criar um *controller* para cada tipo de dispositivo. Todo o objetivo de lidar com os genéricos, classes parametrizadas, é atingir esta abstração, onde um *controller* consegue lidar com vários tipos e subtipos de dispositivos, abstraindo todo este processo de seleção de serviços e passagem de parâmetros.

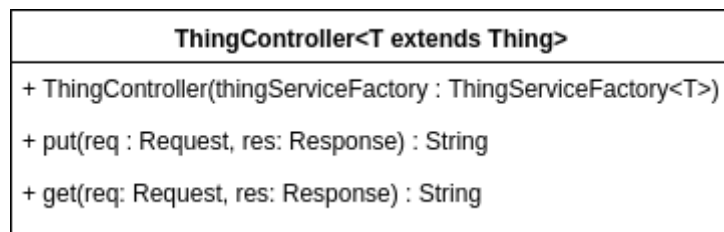


Figura 13: Diagrama de classes: *Controllers*

O *ThingController* é instanciado com uma *ThingServiceFactory*, e possui dois métodos *get* e *put*, que correspondem aos verbos HTTP GET e PUT, seguindo assim uma metodologia *restful*, onde temos os recursos (*things*) e utilizamos verbos HTTP para interagir com os recursos. O método *put* tem como objetivo alterar o estado de um dispositivo dado um *request* e uma *response*, objetos que representam um pedido e uma resposta HTTP, normalmente objetos de uma qualquer *framework* de desenvolvimento de servidores web. O método *get* serve apenas para retornar o estado atual de um dispositivo. Ambos estes métodos retornam uma *string*, que representa a resposta da API em JSON a um qualquer pedido.

Internamente o *controller* recebe um pedido, retira o parâmetro subtipo dos parâmetros deste, cria um serviço através da *factory*, utiliza o método *setAttributes* atribuindo os restantes parâmetros, e depois chama o método correspondente no serviço, ou *get* ou *put*.

Descoberta de Dispositivos

Posto isto, temos os serviços que permitem estabelecer comunicação bidirecional com os dispositivos, faltando agora resolver o problema da descoberta de dispositivos na rede local. Uma parte muito importante de todo o paradigma da IoT e do espaço casa, uma vez que aumenta muito a facilidade de uso destes sistemas para o utilizador comum.

Inicialmente foram concebidas as classes para a descoberta de dispositivos, tendo como base o padrão *strategy*, que define estratégias diferentes para resolver um dado problema. Isto traduz-se para uma classe abstrata base com um método *perform*, que essencialmente leva a cabo a descoberta de dispositivos, utilizando uma fábrica de serviços e um subtipo como argumentos (passados através de um construtor).

As estratégias essencialmente dependem do subtipo de dispositivo utilizado. Dispositivos diferentes têm estratégias diferentes de descoberta, alguns podem utilizar UPNP, outros não, sendo necessário encontrar outras alternativas. Utilizando esta abordagem, é alcançável a elaboração de estratégias para cada um dos subtipos, mantendo esse processo transparente noutras camadas da aplicação, nomeadamente os *controllers*.

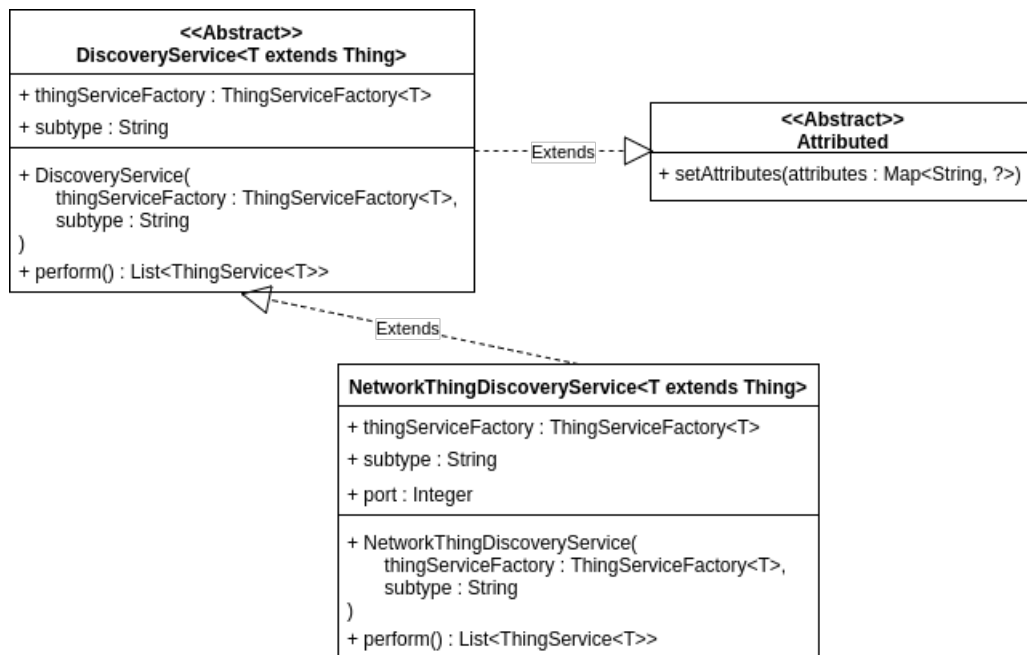


Figura 14: Diagrama de classes: *Serviços de descoberta de dispositivos*

Neste caso apenas possuímos um único serviço de descoberta, *NetworkThingDiscoveryService*, que descobre todo o tipo de dispositivos baseados no *NetworkThingService*, ou seja, dispositivos que essencialmente atuam utilizando o protocolo IP, ou protocolos que se baseiam neste anterior, como HTTP ou CoAP, estando presentes na rede local do *hub*. O

NetworkThingDiscoveryService, além do subtipo, que é necessário para todo o tipo de descobertas, também necessita de uma porta. Caso uma porta não seja passada como parâmetro será utilizada a porta "default" do protocolo utilizado (HTTP utiliza a porta 80 por exemplo).

Todos os subtipos são cobertos por esta estratégia de descoberta, exceto um, o subtipo *own*, que como se baseia num serviço remoto, não necessita de mecanismos de descoberta.

Concebida a arquitetura dos serviços, é preciso unir tudo e criar um *controller* para expor esta funcionalidade, mas antes disso ainda falta tratar de alguns detalhes. Primeiro, volta-se a ter o problema que se tinha nos *thing services*, onde temos vários objetos distintos, tornando a sua instanciação um processo complexo. Para resolver isto, basta adicionar um outro método as *factories*, que devolve uma implementação de um *DiscoveryService* compatível com o *subtipo*.

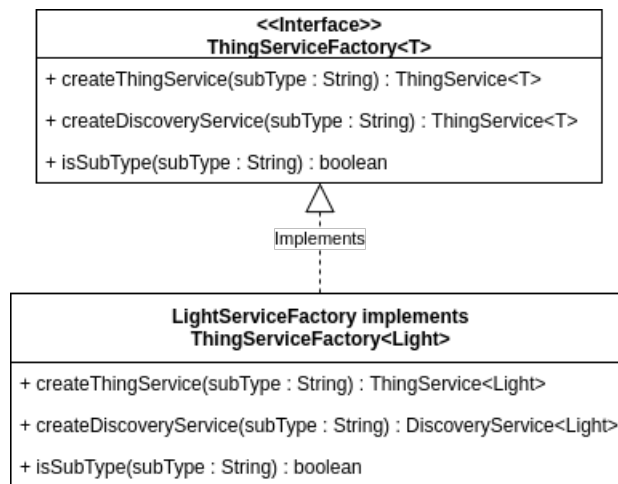


Figura 15: Diagrama de classes: *Factories* atualizadas para suportar serviços de descoberta

Assim, temos um mecanismo para obter a estratégia de descoberta de um determinado subtipo, simplificando todo esse processo da escolha da estratégia num novo método nas *factories*. Os *controllers* então só têm que trabalhar com instâncias de *DiscoveryService*, utilizando o método *setAttributes* da classe abstrata *Attributed* para passar os parâmetros recebidos pelo *controller*.

Por fim, efetua-se a conceção dos *controllers*, que expõem os serviços de descoberta. Estes *controllers*, têm um funcionamento muito semelhante aos *controllers* dos serviços das *things*. Este tipo de *controllers* só possuem suporte para métodos do tipo GET, retornando uma lista de dispositivos disponíveis na rede local, e os parâmetros necessários para o seu funcionamento.

O *controller* extrai o subtipo fornecido nos parâmetros, utilizando a *factory* para criar o *discovery service* correspondente ao subtipo. Depois disto, são passados o restos dos parâmetros, como a porta de acesso no caso dos *NetworkThingDiscoveryService*, utilizando o método

setAttributes. Por fim, após esta passagem de parâmetros é então executado o método *perform* do serviço de descoberta, retornando a lista de dispositivos encontrados na rede do *hub*.

API HTTP - Visão Geral

Concluindo o desenho arquitetural, agora vai se prosseguir à definição da API HTTP que irá ser consumida pelo *core* do *middleware*.

Uma API HTTP é normalmente constituída por recursos, identificados por um URL, e pelas ações disponíveis em cada um. Uma ação é identificada pelo verbo HTTP, como já foi demonstrado no *design* dos *controllers*. Exemplos de verbos HTTP podem ser o GET, que tem como função a simples obtenção de um recurso, e o PUT, que tem como função a alteração de um recurso existente.

Posto isto, temos primeiros os URLs de acesso aos dispositivos, cada um com suporte para operações GET e PUT, onde o GET retorna o estado do dispositivo e o PUT permite alterar o estado do dispositivo.

```
/devices/lights  
/devices/locks  
/devices/thermostats  
/devices/weather  
/devices/motionsensors
```

Os parâmetros de acesso, como o endereço IP do dispositivo, devem ser passados à API através de uma *query string*, adicionada ao URL. Estes parâmetros são recolhidos pelo *controller* e posteriormente passados para os serviços respetivos, quer os serviços das *things* ou de descoberta.

```
/devices/light?subtype=rest&address=foo.light.local&port=80
```

Este exemplo permite estabelecer contacto com um dispositivo do tipo *light* e do subtipo *rest*, utilizando o endereço *foo.light.local* e a porta 80 como parâmetros de rede. Internamente, este pedido e os seus parâmetros são passados ao *ThingController* e depois este trata de completar a operação em causa.

Com ambos os verbos HTTP a resposta a uma chamada da API do *hub* é um objeto do tipo *thing* serializado para JSON. O corpo dos pedidos do tipo PUT também devem seguir a mesma estrutura e formato. De seguida podemos observar um objeto do tipo *light* no formato JSON.


```
{  
    "on" : false  
}
```

Todas as variáveis de instância de qualquer *thing* são convertidas na serialização, de modo a que as restantes representações em JSON dos outros tipos podem ser inferidas através da figura 10.

As rotas para interagir com os serviços de descoberta têm o seguinte formato:

```
/devices/lights/discover  
/devices/locks/discover  
/devices/thermostats/discover  
/devices/weather/discover  
/devices/motionsensors/discover
```

Para encontrar um dispositivo basta efetuar um pedido GET para uma destas rotas, fornecendo como parâmetros um subtipo mais outro subconjunto de parâmetros dependendo do subtipo em questão.

```
/devices/light/discover?subtype=rest&port=80
```

Este pedido procura por dispositivos do tipo *rest* que estejam a operar na porta 80. Um exemplo de resposta tem o seguinte formato:

```
[  
  {  
    "address": "foo.light.local",  
    "port": 80,  
    "subtype": "rest",  
    "type": "Things::Light"  
  }  
]
```

Basicamente trata-se de uma lista JSON com os dispositivos encontrados. Internamente são os serviços que são serializados para JSON, serializando os atributos relevantes ao funcionamento do serviço, neste caso *address*, *port*, *subtype* e *type*.

6.3.2 Api

A *api* é a parte central do projeto, contendo toda a lógica e funcionalidades para responder aos problemas encontrados. Como já foi explicado anteriormente, a *api* irá adotar uma arquitetura *REST*, utilizando HTTP como protocolo de transporte. Nesta secção será delineada a arquitetura interna da *api* e depois os vários *endpoints* e métodos da aplicação.

Como arquitetura deverá ser adotado o modelo MVC, que efetua a correta separação entre as três camadas essenciais de uma aplicação *enterprise*, dados, lógica de negócio e apresentação, que mapeia para os conceitos, *model*, *controller*, *view*. Este padrão é bastante predominante em aplicações web, inclusive APIs REST, porque torna muito mais manutenível e legível, um sistema complexo com vários tipos de modelos e operações. Além desta abordagem será utilizada uma *service layer*, para efetuar operações complicadas de mais para aparecer num *controller*.

Neste cenário, os *models* são apenas *placeholders* para os dados vindos da base de dados, sendo utilizado qualquer tipo de camada ORM para efetuar o mapeamento de dados. Os *controllers* têm como objetivo receber os parâmetros dos pedidos à API, efetuando operações necessárias na base de dados, através da camada ORM, recorrendo a *service objects* quando a lógica se torna complexa demais.

Ao contrário do *hub*, que utilizava apenas um subconjunto muito simples da arquitetura REST, esta parte do projeto já aumenta bastante de complexidade, e portanto serão detalhadas as ações REST utilizadas. Como é normal em *designs* REST, as aplicações são divididas em recursos, como por exemplo "utilizadores" ou "casas", e cada recurso possui métodos CRUD para serem manipulados. Utilizando HTTP, os recursos são representados por URLs e são utilizados os métodos do protocolo para manipular os recursos. De seguida, uma especificação das ações REST mais comuns a sua implementação em HTTP.

Ação	Método HTTP	Identificador de Recurso	Descrição
INDEX	GET	/recurso	Obtém todos os elementos presentes neste recurso
SHOW	GET	/recurso/:id	Obtém um elemento identificado pelo parâmetro variável "id"
CREATE	POST	/recurso	Adiciona um novo elemento ao recurso com os parâmetros fornecidos no <i>body</i> do pedido HTTP
UPDATE	PUT/PATCH	/recurso/:id	Atualiza um elemento identificado pelo parâmetro variável "id" com os parâmetros fornecidos no <i>body</i> do pedido HTTP
DESTROY	DELETE	/recurso/:id	Apaga um elemento identificado pelo parâmetro variável "id"

Tabela 2: Ações REST

Portanto, esta aplicação é composta por recursos, cada recurso sendo manipulado por um *controller*, fazendo alterações no respetivo *model*, sendo as suas alterações representadas pela sua *view*, que neste caso são simples classes de utilidade que serializam objetos para JSON. Os *controllers* serão compostos pelas ações da tabela acima, sendo cada ação um método no *controller*, depois cada método será mapeado para uma rota, que é uma combinação de um URL com um método HTTP, semelhante ao que vimos na tabela 2.

6.3.2.1 Recursos

Os recursos que compõem esta parte do projeto são baseados no modelo de domínio feito anteriormente, havendo quase um mapeamento perfeito do modelo para recursos da aplicação. De seguida, serão apresentados os diferentes recursos, as rotas de acesso aos mesmos, assim como o formato dos elementos dos diferentes recursos. O formato dos elementos segue os mesmos formatos da especificação JSON, porque de facto são objetos em JSON, tendo os seguintes tipos:

- string
- number

- object (outro objeto JSON)
- array
- boolean
- null

Users

Segue exatamente a mesma lógica da entidade *User* do modelo de domínio, representado os utilizadores da aplicação e servindo como base para os mecanismos de autenticação.

Este recurso é um pouco diferente do habitual, sendo um recurso singular, ou seja, não tem nenhum identificador nem mecanismos de listagem (ação *index*). O objetivo é que este recurso seja utilizado para o registo de novos utilizadores assim como a obtenção e atualização dos mesmos. O identificador deverá ser o próprio mecanismo de autenticação, através de um *token* presente nos cabeçalhos dos pedidos.

Ações

- POST /users -> CREATE
- GET /users/me -> SHOW
- PUT/PATCH /users/me -> UPDATE

Formato dos objetos de entrada

- name - string
- email - string
- password - string
- password_confirmation - string

Formato dos objetos de saída

- id - number
- name - string
- email - string

Homes

Este recurso representam as diversas casas dos utilizadores, contendo informação para interagir com os dispositivos dentro da casa do utilizador através dum *hub*. Essencialmente, uma casa é o objeto representativo do *hub*, sendo o interface de comunicação entre o utilizador e os seus dispositivos. De notar a existência de um *id* no objeto de saída, que é dado ao objeto depois da sua gravação na base de dados.

Ações

- GET /homes -> INDEX
- POST /homes -> CREATE
- GET /homes/:id -> SHOW
- PUT/PATCH /homes/:id -> UPDATE
- DELETE /homes/:id -> DESTROY

Formato dos objetos de entrada

- name - string
- location - string
- tunnel - object

Formato dos objetos de saída

- id - number
- name - string
- location - string
- tunnel - object
- ip_address - string

Os atributos *name* e *location* são apenas utilidades para o próprio utilizador categorizar a sua casa na aplicação, já o *tunnel* é um objeto que contém informação para conectar com o *hub* na casa do utilizador. Internamente, a *api* atribui um endereço IP á casa, o mesmo IP proveniente do pedido HTTP. Na próxima secção, onde irão ser detalhados os aspetos da implementação mais importantes, irá ser delineado a tecnologia utilizada na tunelização entre o *hub* e a *api*.

Things

Também conhecido como "coisas", é um termo utilizado para definir os dispositivos dos utilizadores, presentes numa das suas casas. Cada *thing* possui as mesmas informações que são enviadas para os *ThingServices* no *hub*, ou seja, parâmetros como o *subtype*, *address* entre outros são todos armazenados neste recurso. Os dispositivos pertencem a uma casa e portanto a um utilizador (via esta ultima relação).

Ações

- GET /homes/:home_id/things -> INDEX
- POST /homes/:homes_id/things -> CREATE
- GET /things/:id -> SHOW
- PUT/PATCH /things/:id -> UPDATE
- DELETE /things/:id -> DESTROY

Nestas ações já se pode ver *nesting* de rotas, uma vez que é necessário saber a que casa pertencem os dispositivos. Este *nesting* é superficial, ou seja, se fornecido o *id* de um dispositivo já não é preciso fornecer o *id* de uma casa.

Formato dos objetos de entrada

- name - string
- type - string
- subtype - string
- connection_info - object

Formato dos objetos de saída

- id - number
- name - string
- type - string
- subtype - string
- connection_info - object

O atributo *name*, mais uma vez, só serve para caracterizar o dispositivo, não tendo nenhuma funcionalidade em específico. O tipo e subtipo são essenciais para comunicar com os dispositivos através do *hub*, sendo os restantes parâmetros que variam de acordo com o subtipo fornecidos através do atributo variável *connection_info*.

As *things* terão métodos para obter e alterar o seu estado, *getStatus* e *putStatus* utilizando o objeto *tunnel* de uma *home* para estabelecer conexão. Estes métodos serão utilizados noutro recurso para expor estes mecanismos na *api*.

Things Status

Este recurso permite obter os estados dos dispositivos, evocando os métodos do *get* e *put* dos *ThingServices* presentes no *hub*. Internamente é efetuada uma chamada à API do *hub* através do túnel presente na *home* da *thing* desejada.

Ações

- GET /things/:thing_id/status -> INDEX
- PUT/PATCH /things/:thing_id/status -> UPDATE

O formato dos objetos depende do tipo da *thing* fornecida, estes formatos podem ser inferidos através da figura 10, que apresenta os tipos diferentes de *things* e os seus atributos.

Things Discovery

De uma maneira semelhante ao recurso anterior, este permite aceder ao serviço de descoberta de dispositivos presente num *hub*, invocando a API deste a partir do *tunnel*.

Ações

- GET /homes/:home_id/discovery -> INDEX

O formato das respostas é exatamente igual às respostas do *hub*, que podem ser vistas na ultima secção.

Scenarios

Os cenários, como já vimos anteriormente, são um conjunto de dispositivos e os respectivos estados que devem ser lhes aplicado. Essencialmente este recurso é o ponto de partida para a funcionalidade dos cenários, que ainda é composta por mais outros dois recursos. Cada cenário pertence a uma casa.

Ações

- GET /homes/:home_id/scenarios -> INDEX
- POST /homes/:homes_id/scenarios -> CREATE
- GET /scenarios/:id -> SHOW

- PUT/PATCH /scenarios/:id -> UPDATE
- DELETE /scenarios/:id -> DESTROY

Formato dos objetos de entrada

- name - string

Formato dos objetos de saída

- id - number
- name - string
- scenario_things - array

O atributo *name*, tal como nos recursos anteriores, é apenas um campo identificativo útil para o utilizador nomear os seus cenários. De notar que no objeto de saída existe um atributo do tipo *array* chamado de *scenario_things*, que na verdade consiste noutro recurso que vamos ver já de seguida.

Scenario Things

Nos cenários é referido que os mesmos consistem num conjunto de dispositivos e os respetivos estados, no entanto estes não foram mencionados, isto porque foi necessário colocá-los noutro recurso devido à sua pluralidade. Um *scenario thing* consiste então na combinação de um estado com um dispositivo, sendo o estado um elemento variável de formato igual aos objetos do recurso *Thing Status*. Em linguagem natural, uma instância de *scenario thing* pode ser "uma luz apagada" ou "uma porta aberta". Tendo este recurso separado dos cenários podemos então combinar várias *scenario things* num só *scenario* podendo ao mesmo tempo "fechar uma porta" e "ligar uma luz". Um *scenario thing* pertence então a um *scenario*, podendo este último ter vários *scenario things*.

Ações

- GET /scenarios/:scenarios_id/things -> INDEX
- POST /scenarios/:scenarios_id/things -> CREATE
- GET /scenarios/:scenarios_id/things/:id -> SHOW
- PUT/PATCH /scenarios/:scenarios_id/things/:id -> UPDATE
- DELETE /scenarios/:scenarios_id/things/:id -> DESTROY

Formato dos objetos de entrada

- status - object

- thing_id - number

Formato dos objetos de saída

- id - number
- status - object
- thing - object

Scenario Applier

No que toca a cenários só falta mesmo um mecanismo para aplicar o mesmo. Este exemplo também demonstra bem a diferença entre REST e outras abordagens como SOAP. Em SOAP provavelmente teríamos um método remoto *applyScenario* que seria invocado pelo cliente, no entanto, em REST apenas temos recursos e métodos os métodos base do HTTP, e portanto criámos um recurso chamado de *Scenario Applier*, chamando o método POST no mesmo (porque se está a invocar alterações no servidor, portanto é boa prática usar POST). Este é um dos poucos recursos sem modelos ou persistência de dados associados.

Ações

- POST /scenarios/:scenarios_id/apply -> CREATE

Este recurso não tem nenhum tipo de objeto de entrada ou saída, enviando o *body* dos pedidos em branco, respondendo apenas com os *status codes* apropriados.

Timed Tasks

Durante a fase conceptual já foi definido o conceito de tarefas, ou *tasks*, basicamente consiste na aplicação de um estado a um dispositivo, ou de vários estados a vários dispositivos (um cenário no fundo), de acordo com uma dada condição. Neste caso a condição é uma expressão temporal, que indica quando uma dada tarefa deve ser aplicada.

Para definir a expressão temporal irão ser utilizadas expressões *cron*, que permitem grande flexibilidade na temporização de tarefas. Desta maneira conseguimos definir temporizadores bastante flexíveis e precisos como pode ser notado nos seguintes exemplos:

- 0 9 * * * - todos os dias às 9 horas
- 0 10 * * * 1 - todas as segundas às 10h
- 0 20 * * * 1,5 - todas as segundas e sextas às 20h
- */5 * * * * - de 5 em 5 minutos

As expressões *cron* indicam portanto intervalos de tempo podendo escolher os dias da semana e do mês onde as mesmas correm assim como os minutos e horas a que as mesmas devem correr. Recorrendo ao comando *man* ¹ de sistemas UNIX podemos saber mais sobre o *crontab*, o *scheduler* de tarefas destes sistemas, que usam estas tais expressões para definir os intervalos a que as tarefas devem ser executadas.

Triggered Tasks

Já possuímos tarefas encadeadas à base de tempo, faltando o outro tipo que são ativadas com base no valor de um certo dispositivo. Nestes cenários de IoT aplicados no espaço casa, é muito comum os utilizadores quererem que certos comportamentos sejam programados de acordo com certas mudanças no ambiente, por exemplo, um cenário comum é ligar luzes utilizando sensores de movimento, o que é possível fazer no nosso caso porque possuímos o tipo base para cada um deste dispositivos.

¹ <https://linux.die.net/man/1/crontab>

7. Implementação

Neste capítulo irá ser explicado todo o processo da implementação, desde as escolhas das tecnologias e às metodologias de desenvolvimento aos detalhes e pormenores de implementação de todos os componentes.

Após a definição da arquitetura, foram criados no sistema de controlo de versões remoto *Github* para a implementação da plataforma:

- Simuladores de dispositivos - <https://github.com/um-homewatch/api>
- *Hub* - <https://github.com/um-homewatch/hub>
- *Api* - <https://github.com/um-homewatch/stub-devices>
- *Wrapper* da *api* - <https://github.com/um-homewatch/js-wrapper>
- Aplicação cliente - <https://github.com/um-homewatch/app>

A ordem dos repositórios também ditam a ordem de implementação dos mesmos, seguindo a metodologia incremental e iterativa, onde os componentes foram implementados incrementalmente. O *hub*, a *api* e o *wrapper* exibem todo o método de *continuous integration*, recorrendo ao *GitHub* e ao *Travis*, enquanto que a *api* é *deployed* no *Heroku*.

7.1 Tecnologias

De seguida serão apresentadas as tecnologias utilizadas para implementar a solução. Cada componente de software, o *hub*, a *api*, as simulações dos dispositivos e a aplicação cliente utilizam linguagens e *frameworks* distintas. Aqui, iremos falar das motivações para a sua escolha.

Hub

Para o desenvolvimento deste componente recorreu-se à utilização da linguagem de programação Java, recorrendo à *framework* Spark ¹.

Java foi uma escolha óbvia devido à experiência na linguagem e ao seu poder no que toca a genéricos, que permite atingir grandes níveis de reutilização de código, algo que será essencial neste caso, dado que vários dispositivos partilham o mesmo modo de comunicação por exemplo.

A *framework* Spark foi escolhida devido à necessidade de expor um serviço HTTP sem ser necessário associar a um modelo arquitetural, por exemplo, algumas *frameworks* são feitas para utilizar MVC. Neste caso, esta *framework*, que até pode ser considerado uma biblioteca devido à sua simplicidade, tem apenas como função expor um servidor HTTP.

Api

Este componente, sendo o mais complexo de todos, necessita de uma *framework* mais evoluída, portanto decidiu-se utilizar *Ruby on Rails* e portanto a linguagem de programação *Ruby*.

Esta *framework* foi uma escolha óbvia, mais uma vez devido à experiência em trabalhos académicos passados, e também devido à simplicidade de utilização. Utilizando *Ruby on Rails* podemos dedicar mais tempo a funcionalidades em vez de detalhes de implementação. Outra motivação é a existência de um bom suporte de *background tasks*, que como já se falou anteriormente, era um desafio a enfrentar, para se poder implementar as tarefas automatizadas.

Utilizando esta *framework*, tarefas como a camada de *ORM*, filtragem de parâmetros dos pedidos HTTP, serialização de objetos para *JSON* são todas tratadas pelo *Rails*, podendo dar assim mais atenção a outros aspetos mais importantes da aplicação.

Simulação de Dispositivos

Para as simulações de dispositivos recorreu-se à linguagem Javascript com o *runtime serverside* Node.JS, utilizando a *framework* *express* ². A combinação de *javascript* com o *express* permite muito rapidamente desenvolver servidores web, uma vez que estes simuladores irão fornecer APIs HTTP.

¹ <http://sparkjava.com>

² <https://expressjs.com/>

Também se utilizou a biblioteca *coap-router*³, para criar os dispositivos que utilizam CoAP em vez de HTTP, como protocolo de comunicação.

7.2

³ <https://github.com/MagicCube/coap-router>

8. Bibliografia

- [App16] Apple. *Apple's Homekit*. 2016. URL: <http://www.apple.com/ios/home>.
- [AR16] M. Asadullah e A. Raza. «An overview of home automation systems». Em: *2016 2nd International Conference on Robotics and Artificial Intelligence (ICRAI)*. Nov. de 2016, pp. 27–31. DOI: [10.1109/ICRAI.2016.7791223](https://doi.org/10.1109/ICRAI.2016.7791223).
- [Azn+16] M. N. Azni et al. «Home automation system with android application». Em: *2016 3rd International Conference on Electronic Design (ICED)*. Ago. de 2016, pp. 299–303. DOI: [10.1109/ICED.2016.7804656](https://doi.org/10.1109/ICED.2016.7804656).
- [Bry14] Erik Brynjolfsson. *The second machine age : work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*. New York: W.W. Norton & Company, 2014. ISBN: 978-0-393-35064-7.
- [BZ16] P. Bellavista e A. Zanni. «Towards better scalability for IoT-cloud interactions via combined exploitation of MQTT and CoAP». Em: *2016 IEEE 2nd International Forum on Research and Technologies for Society and Industry Leveraging a better tomorrow (RTSI)*. Set. de 2016, pp. 1–6. DOI: [10.1109/RTSI.2016.7740614](https://doi.org/10.1109/RTSI.2016.7740614).
- [Cha+14] H. Chang et al. «Bringing the cloud to the edge». Em: *2014 IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS)*. Abr. de 2014, pp. 346–351. DOI: [10.1109/INFCOMW.2014.6849256](https://doi.org/10.1109/INFCOMW.2014.6849256).
- [DRD16] S. Dey, A. Roy e S. Das. «Home automation using Internet of Thing». Em: *2016 IEEE 7th Annual Ubiquitous Computing, Electronics Mobile Communication Conference (UEMCON)*. Out. de 2016, pp. 1–6. DOI: [10.1109/UEMCON.2016.7777826](https://doi.org/10.1109/UEMCON.2016.7777826).
- [Ecl16] Eclipse. *Eclipse Smarthome, A flexible framework for the smarthome*. 2016. URL: <http://www.eclipse.org/smarthome>.
- [Gam95] Erich Gamma. *Design patterns : elements of reusable object-oriented software*. Reading, Mass: Addison-Wesley, 1995. ISBN: 978-0201633610.
- [Goo16a] Android Google. *Android Things, Android OS for embedded systems*. 2016. URL: <https://developer.android.com/things/index.html>.
- [Goo16b] Brillo Google. *Google Brillo, old Google project for IoT*. 2016. URL: <https://developers.google.com/brillo>.

- [Hic15] Ian Hickson. *Server-Sent Events*. W3C Recommendation. W3C, fev. de 2015. URL: <http://www.w3.org/TR/2015/REC-eventsourcing-20150203>.
- [IEE16] IEEE. *IEEE IoT Developer Survey*. 2016. URL: <https://goo.gl/WCmjQM>.
- [Mye02] Judith Myerson. *The complete book of middleware*. Boca Raton, Fla: Auerbach, 2002. ISBN: 978-0849312724.
- [Nak+16] Y. Nakamura et al. «Design and Implementation of Middleware for IoT Devices toward Real-Time Flow Processing». Em: *2016 IEEE 36th International Conference on Distributed Computing Systems Workshops (ICDCSW)*. Jun. de 2016, pp. 162–167. DOI: [10.1109/ICDCSW.2016.37](https://doi.org/10.1109/ICDCSW.2016.37).
- [Net16] Netatmo. *Netatmo weather station*. 2016. URL: <https://www.netatmo.com/product/weather/weatherstation>.
- [Ngu+16] A. H. H. Ngu et al. «IoT Middleware: A Survey on Issues and Enabling technologies». Em: *IEEE Internet of Things Journal* PP.99 (2016), pp. 1–1. ISSN: 2327-4662. DOI: [10.1109/JIOT.2016.2615180](https://doi.org/10.1109/JIOT.2016.2615180).
- [NTD16] S. Nastic, H. L. Truong e S. Dustdar. «A Middleware Infrastructure for Utility-Based Provisioning of IoT Cloud Systems». Em: *2016 IEEE/ACM Symposium on Edge Computing (SEC)*. Out. de 2016, pp. 28–40. DOI: [10.1109/SEC.2016.35](https://doi.org/10.1109/SEC.2016.35).
- [Phi16] Philips. *Philips Hue smart light bulbs*. 2016. URL: <http://www2.meethue.com>.
- [Ric13] Leonard Richardson. *RESTful Web APIs*. Sebastopol, Calif: O'Reilly, 2013. ISBN: 978-1449358068.
- [Sta06] Thomas Stahl. *Model-driven software development : technology, engineering, management*. Chichester, England Hoboken, NJ: J. Wiley & Sons, 2006. ISBN: 978-0-470-02570-3.
- [Ste16] SteveyO. *Philips Hue emulator by SteveyO*. 2016. URL: <http://steveyo.github.io/Hue-Emulator>.