



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS CHAPECÓ
CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

KÉTLY GONÇALVES MACHADO

**ESTUDO DE CASO PARA IDENTIFICAÇÃO DE ELEMENTOS E
FUNCIONALIDADES PARA UMA POSSÍVEL ARQUITETURA DE
REFERÊNCIA PARA A INTERNET DAS COISAS**

**CHAPECÓ
2018**

KÉTLY GONÇALVES MACHADO

**ESTUDO DE CASO PARA IDENTIFICAÇÃO DE ELEMENTOS E
FUNCIONALIDADES PARA UMA POSSÍVEL ARQUITETURA DE
REFERÊNCIA PARA A INTERNET DAS COISAS**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Ciência da Computação da Universidade Federal da Fronteira Sul.

Orientador: Prof. Dr. Marco Aurélio Spohn

CHAPECÓ
2018

Machado, Kétly Gonçalves

Estudo de caso para identificação de elementos e funcionalidades para uma possível arquitetura de referência para a Internet das Coisas / Kétly Gonçalves Machado. – 2018.

59 f.:il.

Orientador: Marco Aurélio Spohn.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de Ciência da Computação, Chapecó, SC, 2018.

1. Internet das Coisas. 2. Arquitetura de Referência. 3. Plataformas.
I. Spohn, Marco Aurélio, orient. II. Universidade Federal da Fronteira Sul.
III. Título.

© 2018

Todos os direitos autorais reservados a Kétly Gonçalves Machado. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: ketly.machado@gmail.com

KÉTTY GONÇALVES MACHADO

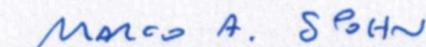
**ESTUDO DE CASO PARA IDENTIFICAÇÃO DE ELEMENTOS E
FUNCIONALIDADES PARA UMA POSSÍVEL ARQUITETURA DE
REFERÊNCIA PARA A INTERNET DAS COISAS**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Ciência da Computação da Universidade Federal da Fronteira Sul.

Orientador: Prof. Dr. Marco Aurélio Spohn

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e aprovado pela banca em: 03/12/2018

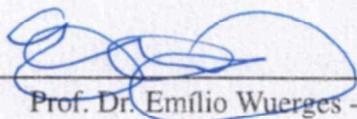
BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Marco Aurélio Spohn - UFFS



Prof. Dr. Claunir Pavan - UFFS



Prof. Dr. Emílio Wuerges - UFFS

Dedico este trabalho à minha mãe Ivanir, que mesmo sem dispor de oportunidades semelhantes, não mediu esforços para que pudesse chegar até esta etapa, sempre me proporcionando muito amor, apoio, carinho e incentivo.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Professor Marco Aurélio Spohn, por sua paciência, sua compreensão e por todos os seus ensinamentos.

À minha família, por toda a força e por todo o incentivo recebidos ao longo da minha vida, especialmente nesse último ano. À minha mãe, sobretudo, por me ensinar o valor da educação e por não me deixar desistir, mesmo nas horas mais difíceis.

Ao meu namorado, Alesom Zorzi, por enfrentar comigo todos os desafios dessa jornada, por toda a ajuda e por todo o apoio, e também pelas inúmeras revisões e sugestões.

À minha chefe imediata e querida colega, Rosana Lampugnani, por sua paciência e por seu apoio.

Aos demais colegas de trabalho, por acreditarem em mim, e também por todo o apoio e incentivo.

A todos os professores do curso de Ciência da Computação da Universidade Federal da Fronteira Sul, por todo o conhecimento transmitido ao longo dos últimos seis anos.

Aos Professores Claunir Pavan e Emílio Wuerges pela participação na banca examinadora e por todas as sugestões e contribuições.

Ao Professor Leandro Miranda Zatesko, pelo convite para participar do projeto de extensão “Clube de Programação”, que se tornou uma das melhores experiências da minha vida acadêmica, contribuindo de forma significativa para a minha formação.

À Universidade Federal da Fronteira Sul por manter o curso de Ciência da Computação e pelo Plano de Educação Formal para os Servidores Técnico-Administrativos (PLEDUCA), que contribuiu de forma significativa para que pudesse cursar a graduação.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização do presente trabalho.

RESUMO

A principal proposta da Internet das Coisas é a criação de uma rede de dispositivos interconectados, de forma semelhante à Internet. Seu propósito é fazer com que dispositivos como automóveis, eletrodomésticos e outros, tornem-se inteligentes, desempenhando tarefas e compartilhando informações. A Internet das Coisas tem ganhado popularidade e demonstra grande importância para a inovação e a evolução de diversas áreas. Por conta disso, é evidente o crescimento do número de soluções desenvolvidas para a Internet das Coisas e, dessa forma, é fundamental que se estabeleça uma arquitetura de referência para melhorar o processo de desenvolvimento e a implementação dessas soluções. Existem diferentes iniciativas que buscam estabelecer uma arquitetura de referência para a Internet das Coisas, entretanto, até o momento não chegou-se a um consenso. Visando contribuir com o estado da arte dessas iniciativas, o presente trabalho tem como objetivo identificar, através de um estudo de caso realizado sobre um conjunto específico de plataformas de Internet das Coisas, elementos e funcionalidades para uma possível arquitetura de referência, analisando as consequências da sua implementação.

Palavras-chave: Internet das Coisas. Arquitetura de Referência. Plataformas.

ABSTRACT

The basic idea of Internet of Things is to interconnect objects over the Internet. The goal of Internet of Things is to transform ordinary objects, such as automobiles, appliances or other devices, into smart objects, performing tasks and sharing information. Internet of Things has gained popularity and has being applied in several fields and many different scenarios, having significant importance for inovation and evolution of them. Considering the increasing number of solutions developed for the Internet of Things, it is fundamental to establish a reference architecture to improve the development process and the implementation of these solutions, as well as to create a framework for structuring its elements, integrating its stages and to make the definition of its functionalities. There are different initiatives that aim to establish a reference architecture for Internet of Things, however, so far no consensus has been reached. In order to contribute to the state-of-the-art, the present work aim to identify, through the architectures proposed by a especific set of platforms, elements and functionalities for a feasible reference architecture, analyzing the consequences of its implementation.

Keywords: Internet of Things. Reference Architecture. Platforms.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Dispositivos conectados à Internet das Coisas em todo o mundo de 2015 até 2025 (em bilhões)	16
Figura 2.1 – Papéis da computação em nuvem e da <i>fog computing</i> nos serviços de Internet das Coisas.....	27
Figura 3.1 – Blocos de construção do Modelo de Referência Arquitetural (ARM) para a Internet das Coisas	32
Figura 5.1 – Componentes arquiteturais da plataforma DeviceHive	43
Figura 5.2 – Componentes da plataforma LinkSmart	45
Figura 5.3 – Fluxo de dados entre os componentes da plataforma LinkSmart.....	48
Figura 5.4 – Diagrama de microsserviços da plataforma SiteWhere	50

LISTA DE QUADROS

Quadro 4.1 – Descrição das justificativas para inclusão ou exclusão de plataformas do estudo de caso.....	36
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ARM	<i>Architectural Reference Model</i> (Modelo de Referência Arquitetural)
ARPA	<i>Advanced Research Projects Agency</i> (Agência de Projetos de Pesquisa Avançada)
ARPANET	<i>Advanced Research Projects Agency Network</i> (Rede da Agência de Projetos de Pesquisa Avançada)
DAC	Desenho Assistido por Computador
DSA	<i>Distributed Services Architecture</i> (Arquitetura de Serviços Distribuídos)
EAC	Engenharia Assistida por Computador
EPC	<i>Electronic Product Code</i> (Código Eletrônico de Produto)
FP7	<i>Seventh Framework Programme</i>
HTTP	<i>HyperText Transfer Protocol</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i> (Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos)
IFTTT	<i>If This, Then That</i> (Se isso, então aquilo)
IMDG	<i>In-Memory Data Grid</i>
IIAF	<i>Industrial Internet Architecture Framework</i> (Framework Arquitetural de Internet das Coisas Industrial)
IIC	<i>Industrial Internet Consortium</i> (Consórcio de Internet Industrial)
IIoT	<i>Industrial Internet of Things</i> (Internet das Coisas Industrial)
IIRA	<i>Industrial Internet Reference Architecture</i> (Arquitetura de Referência para a Internet Industrial)
IoT	<i>Internet of Things</i> (Internet das Coisas)
IoT-A	<i>Internet of Things – Architecture</i> (Internet das Coisas– Arquitetura)
IP	<i>Internet Protocol</i>
JSON	<i>JavaScript Object Notation</i> (Notação de Objetos JavaScript)
JWT	<i>JSON Web Tokens</i>
M2M	<i>Machine-to-Machine</i> (Máquina a Máquina)
MAC	Manufatura Auxiliada por Computador
MILNET	<i>Military Network</i> (Rede Militar)
NCP	<i>Network Control Protocol</i>
MQTT	<i>Message Queuing Telemetry Transport</i> (Transporte de Telemetria de Enfileiramento de Mensagens)
OGC	<i>Open Geospatial Consortium</i> (Consórcio Geoespacial Aberto)
OPC	<i>Open Platform Communications</i>

OPC-UA	<i>Open Platform Communications Unified Architecture</i>
OWL	<i>Web Ontology Language</i> (Linguagem de Ontologias da Web)
PaaS	<i>Platform-as-a-Service</i> (Plataforma como serviço)
P&G	<i>Procter & Gamble</i>
RDF	<i>Resource Description Framework</i>
REST	<i>Representational State Transfer</i> (Transferência de Estado Representacional)
RFID	<i>Radio-Frequency IDentification</i> (IDentificação por Radiofrequência)
RTOS	<i>Real Time Operating System</i> (Sistema Operacional de Tempo Real)
SenML	<i>Sensor Measurement Lists</i>
SSL	<i>Security Socket Layer</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Internet das Coisas	14
1.2 Plataformas de Internet das Coisas	16
1.3 Arquitetura de Referência	17
1.3.1 Arquitetura de Referência para a Internet	17
1.3.2 Arquitetura de Referência para a Internet das Coisas	18
1.4 Estudo de Caso	18
1.4.1 Estrutura do Trabalho	19
2 REVISÃO DE LITERATURA	20
2.1 Internet das Coisas	20
2.1.1 Elementos da Internet das Coisas	20
2.1.2 Desafios para a Internet das Coisas	21
2.2 Plataformas de Internet das Coisas	23
2.3 Análise de <i>Big Data</i>, Computação em Nuvem e <i>Fog Computing</i>	25
2.3.1 Análise de Big Data e Computação em Nuvem	25
2.3.2 <i>Fog Computing</i>	26
3 TRABALHOS RELACIONADOS	29
3.1 <i>Industrial Internet Reference Architecture (IIRA)</i>	29
3.1.1 <i>Industrial Internet Architecture Framework (IIAF)</i>	29
3.1.2 <i>Industrial Internet Reference Architecture (IIRA)</i>	30
3.2 <i>Internet of Things – Architecture (IoT-A)</i>	31
3.3 <i>P2413 - Standard for an Architectural Framework for the Internet of Things (IoT)</i> .	32
3.4 Outros Trabalhos Relacionados	33
4 AVALIAÇÃO DO CONJUNTO DE PLATAFORMAS	35
5 RESULTADOS	41
5.1 DeviceHive	41
5.1.1 Arquitetura de Microsserviços DeviceHive	42
5.2 LinkSmart	44
5.2.1 Componentes da Arquitetura de Microsserviços	44
5.3 SiteWhere	49
5.3.1 Visão Geral da Arquitetura de Microsserviços	49
5.4 Elementos e Funcionalidades Identificados	53
6 CONCLUSÃO	56
6.1 Trabalhos Futuros	56
REFERÊNCIAS	57

1 INTRODUÇÃO

No fim da década de 1960 e início da década de 1970, durante a Guerra Fria, através de pesquisas desenvolvidas pela Agência de Projetos de Pesquisa Avançada (*Advanced Research Projects Agency – ARPA*) do Departamento de Defesa dos Estados Unidos, foi criada a ARPANET (*Advanced Research Projects Agency Network*), precursora da Internet. O projeto tinha como objetivo permitir, através do uso de uma rede operacional de computadores, a troca segura e eficiente de mensagens entre as bases militares, os departamentos de pesquisa e o Pentágono.

O termo Internet surgiu em meados de 1983, quando a ARPANET foi dividida em duas partes, a MILNET (*Military Network*), utilizada para fins militares, e uma versão civil da ARPANET. A palavra foi usada inicialmente para se referir de forma fácil à junção dessas duas redes, à sua *internetworking*¹. Devido à complexidade dos elementos envolvidos em sua implementação, não havia perspectiva de crescimento para a Internet. Porém, no início da década de 1990 ela foi liberada para utilização comercial e já no fim dos anos 90 e início dos anos 2000, o número de computadores conectados cresceu significativamente.

Morais *et al.* [7, 2012, p. 42] definem a Internet como "uma rede mundial de computadores ou terminais ligados entre si, que tem em comum um conjunto de protocolos e serviços, de uma forma que os usuários conectados possam usufruir de serviços de informação e comunicação de alcance mundial [...]". Essa rede está em constante expansão, de maneira que cada vez mais pessoas estão interconectadas, compartilhando informações e comunicando-se. Pode-se dizer que a Internet tornou-se uma ferramenta básica para o ser humano, já que faz parte da sua rotina, contribuindo significativamente para a realização das suas atividades cotidianas.

1.1 Internet das Coisas

O termo Internet das Coisas (*Internet of Things – IoT*) tem demonstrado crescente popularidade. Sua criação é atribuída a Kevin Ashton, que o mencionou em uma apresentação realizada em 1999 para a empresa Procter & Gamble (P&G)². A principal proposta da Internet das Coisas é a criação de uma rede de objetos interconectados, de forma semelhante à Internet.

¹Interconexão de redes diferentes através de dispositivos intermediários [23].

²Posteriormente, essa apresentação foi referenciada por Kevin em um artigo publicado no *RFID Journal* (Disponível em: <<http://www.rfidjournal.com/articles/view?4986>>. Acesso em: 10 jun. 2018).

Os objetos, também chamados de dispositivos, podem ser de diversos tipos, são alguns exemplos: automóveis, eletrodomésticos, termostatos e dispositivos vestíveis. A Internet das Coisas, através de diversas tecnologias, dá condições para que os dispositivos desempenhem tarefas e sejam capazes de compartilhar informações, transformando-os em dispositivos inteligentes [1].

Diferentemente da Internet, que consiste em uma rede de dispositivos homogêneos interconectados, na Internet das Coisas há a presença acentuada da heterogeneidade, de modo que os dispositivos podem ter diferentes capacidades de processamento, memória, armazenamento, entre outras características, o que exige a utilização de tecnologias alternativas para a implementação de soluções, como a computação em nuvem e a *fog computing*, conceitos que serão explorados no Capítulo 2.

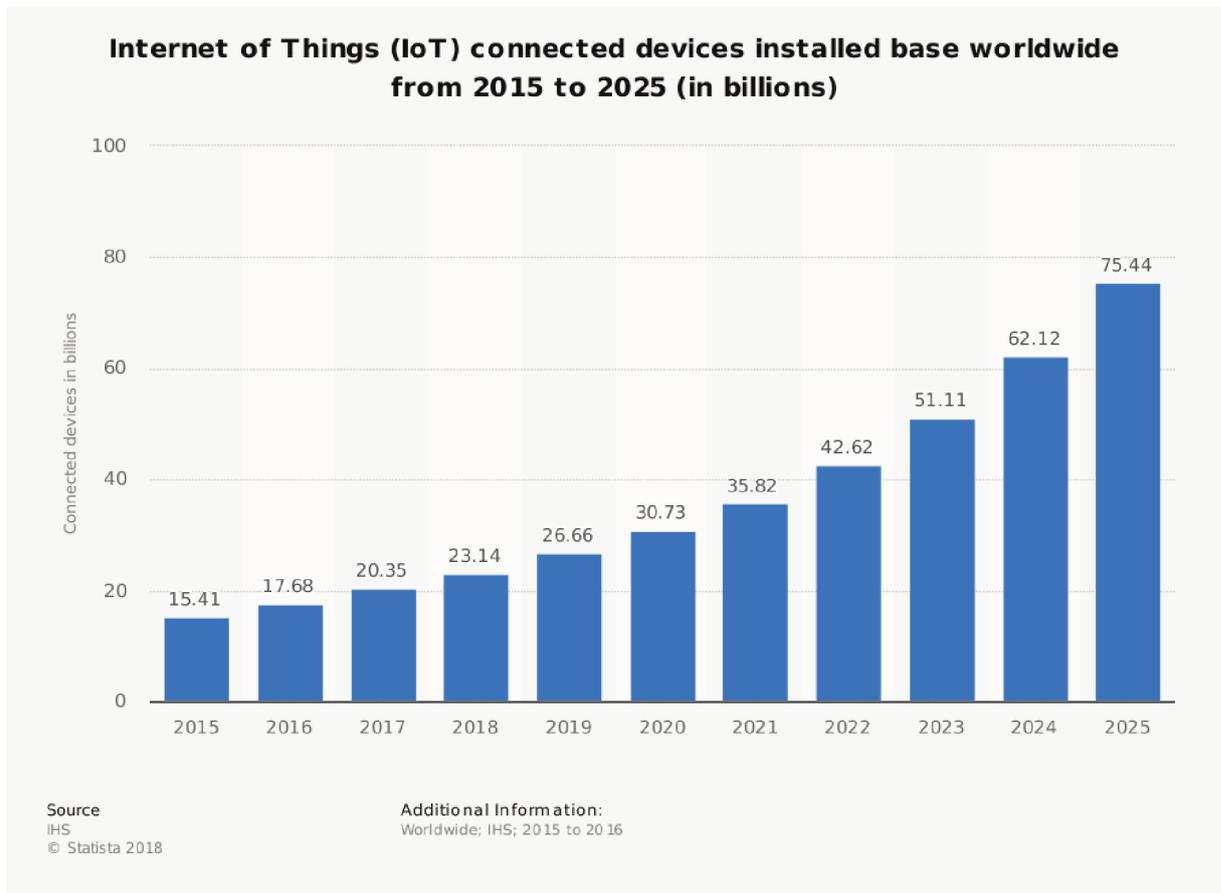
Existem diversas áreas e diferentes cenários nos quais a Internet das Coisas pode ser aplicada, um exemplo de aplicação é a área industrial, onde ela pode ser utilizada para o monitoramento do estoque de uma indústria. Nesse cenário, o sistema de controle de estoque verifica continuamente as entradas, as saídas e o quantitativo de material armazenado, sendo capaz de orientar ou até mesmo realizar a compra de produtos, além de gerenciar a sua distribuição. A Internet das Coisas também pode ser aplicada no sistema de saúde, na agricultura, nas cidades inteligentes, no transporte, entre outras áreas [1, 10].

A Internet das Coisas demonstra grande importância para a inovação e a evolução de diversas áreas, ela funciona como um meio para o alcance de fins significativos. Com a utilização da Internet das Coisas, será possível realizar um aproveitamento expressivo do volume gigantesco de dados produzidos pela humanidade, ou seja, além da coleta, serão realizados também o tratamento, a análise e a computação dos dados para extração de valor. Depois desse processo, os próprios dispositivos serão capazes de tomar decisões a partir dos dados obtidos. Além disso, a Internet das Coisas promete facilitar diversas atividades cotidianas, de tal forma que dispositivos simples, quando conectados, permitirão automatizar tarefas como o travamento de uma fechadura e o chaveamento de um interruptor de luz. [1, 19].

O potencial de expansão da Internet das Coisas é evidenciado em diferentes trabalhos sobre a área, como os artigos de Al-Fuqaha *et al.* [1] e Mazhelis e Tyrväinen [15]. Nesses artigos, o aumento no número de dispositivos conectados é um dos fatores destacados. No gráfico da Figura 1.1, é apresentada uma previsão do número de dispositivos que estarão conectados à Internet das Coisas até o ano de 2025. A partir do gráfico, é possível observar o prognóstico de um aumento de aproximadamente 60 bilhões de dispositivos em relação ao ano de 2015,

portanto, pode-se dizer que a Internet das Coisas terá um crescimento considerável em um futuro próximo, evidenciando a importância da realização de pesquisas sobre os diferentes tópicos relacionados à área, incluindo a definição de uma arquitetura de referência.

Figura 1.1: Dispositivos conectados à Internet das Coisas em todo o mundo de 2015 até 2025 (em bilhões)



Fonte: Statista, 2018³.

1.2 Plataformas de Internet das Coisas

Considerando que a ideia básica da Internet das Coisas é interconectar dispositivos através de uma rede, é possível dizer que o objetivo de uma plataforma de Internet das Coisas é preencher a lacuna existente entre os dispositivos e a rede. Ou seja, a função primária de uma plataforma é realizar a ligação entre os dados emitidos pelos dispositivos com a rede de dados propriamente dita.

³Disponível em: <<https://www.statista.com/statistics/471264/iot-number-of-connected-devices-worldwide/>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

As plataformas de Internet das Coisas diferem entre si nas suas características e nos seus métodos de implementação, possuindo diferentes arquiteturas e trabalhando com diferentes tecnologias no desenvolvimento de soluções para a Internet das Coisas. No Capítulo 2 encontram-se alguns conceitos gerais sobre essas plataformas.

1.3 Arquitetura de Referência

A arquitetura de referência pode ser entendida como um conjunto de documentos que agregam as melhores práticas para o desenvolvimento de uma solução. Nesses documentos estão descritos os padrões e as integrações que devem ser praticados para se alcançar uma solução otimizada. Dessa forma, pode-se dizer que a arquitetura de referência sugere o método ideal para se implementar uma tecnologia [14].

Estabelecer uma arquitetura de referência para determinada tecnologia é fundamental para melhorar o processo de desenvolvimento e a implementação de soluções relacionadas. A partir da utilização de uma arquitetura de referência é possível melhorar a comunicação entre os envolvidos no desenvolvimento de um projeto, fazendo com que todos sigam o mesmo referencial para a estruturação dos elementos e para a integração das etapas. Além disso, a arquitetura de referência pode ser utilizada como um dicionário de respostas para as eventuais questões que possam surgir durante o desenvolvimento, visto que nela devem estar contidas todas as informações necessárias para a construção da solução.

1.3.1 Arquitetura de Referência para a Internet

Em 1970 foi finalizado o primeiro protocolo *host-to-host* para a ARPANET, chamado de *Network Control Protocol* (NCP). Com a implementação do NCP, os usuários da rede também poderiam desenvolver aplicações para ela. Porém, a ideia inicial dos pesquisadores que participaram da criação da ARPANET era de que a rede tivesse uma arquitetura aberta, de modo que a escolha de qualquer tecnologia de rede individual não fosse ditada por uma arquitetura de rede específica, mas sim selecionada livremente por um provedor e feita para interoperar com outras redes por meio de uma “Arquitetura *Internetworking*”. Partindo disso e considerando que o NCP não atendia aos requisitos exigidos por esse tipo de arquitetura, eles decidiram desenvolver uma nova versão de protocolo que atendesse às necessidades da rede de arquitetura aberta, essa nova versão viria a ser o TCP/IP. Através desse projeto para o desenvolvimento de um

novo protocolo, foi criado o *Transmission Control Protocol* (TCP), que oferecia uma variedade de serviços de transporte. Porém, a versão inicial possuía certas limitações que impediam que o protocolo atendesse a todos os tipos de aplicações e, por conta disso, o TCP foi dividido em dois protocolos diferentes, o *Internet Protocol* (IP) que fornecia apenas o endereçamento e o encaminhamento de pacotes e uma nova versão do TCP que preocupava-se apenas com funcionalidades como o controle de fluxo e a recuperação de pacotes perdidos. Desses dois protocolos resultou a arquitetura conhecida como TCP/IP [11].

Em janeiro de 1983, o protocolo *host-to-host* NCP da ARPANET foi substituído pelo TCP/IP. A suíte de protocolos TCP/IP apresentou boa usabilidade e, por esse motivo e também por constituir uma arquitetura aberta, passou a ser utilizada por parte significativa dos desenvolvedores e fornecedores de soluções para a Internet. Por conta dessa adesão, ela foi adotada como a arquitetura de referência para a Internet, permanecendo dessa forma até então.

1.3.2 Arquitetura de Referência para a Internet das Coisas

Da mesma forma que ocorreu com a Internet, existem projetos em andamento para a definição de uma arquitetura de referência para a Internet das Coisas, levando em conta as suas particularidades. Apesar do número crescente de iniciativas que buscam estabelecer essa arquitetura, ainda não atingiu-se consenso, conforme evidenciado por Al-Fuqaha *et al.* [1], Miorandi *et al.* [17] e Weyrich e Ebert [24].

A identificação de uma arquitetura de referência é um processo longo e envolve diversos ajustes para a definição das tecnologias e dos requisitos necessários para a implementação de soluções para determinada área. Apesar disso, é possível elencar alguns aspectos com os quais a arquitetura de referência para a Internet das Coisas deve ser capaz de lidar: conectividade e comunicação; gerenciamento de dispositivos; coleta e análise de dados para extrair informações; escalabilidade; segurança e privacidade [24]. No Capítulo 3 são apresentadas algumas das iniciativas para a definição de uma arquitetura de referência para a Internet das Coisas.

1.4 Estudo de Caso

Considerando a importância e os benefícios proporcionados pela existência de uma arquitetura de referência, esse estudo de caso visa identificar elementos e funcionalidades para uma possível arquitetura de referência para a Internet das Coisas. Um conjunto de plataformas

foi utilizado como objeto de estudo e, através do detalhamento das arquiteturas dessas plataformas, foram apontados elementos e funcionalidades para implementação em uma possível arquitetura de referência. O intuito desse estudo é contribuir com o estado da arte das iniciativas que buscam estabelecer uma arquitetura de referência para a Internet das Coisas.

1.4.1 Estrutura do Trabalho

O Capítulo 1 possui seções de introdução às temáticas abrangidas pelo estudo, além da descrição do objetivo do trabalho. O Capítulo 2 apresenta a revisão de literatura sobre a Internet das Coisas e sobre as plataformas de Internet das Coisas, além de abordar as colaborações da análise de *big data*, da computação em nuvem e da *fog computing* para a Internet das Coisas. Alguns trabalhos relacionados ao estudo, encontrados na bibliografia, são apresentados no Capítulo 3. Nos Capítulos 4 e 5 são apresentados os resultados obtidos pelo estudo. Por fim, no Capítulo 6 encontram-se as conclusões acerca do estudo realizado e a indicação de trabalhos futuros.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Nesse Capítulo, são apresentados alguns conceitos e definições a respeito da Internet das Coisas e das plataformas de Internet das Coisas, através da apresentação de informações retiradas dos artigos de Al-Fuqaha *et al.* [1] e Zdravković *et al.* [27].

2.1 Internet das Coisas

O trabalho de Al-Fuqaha *et al.* [1] apresenta uma visão geral sobre a Internet das Coisas, com ênfase nas possíveis tecnologias, protocolos e aplicações. Na sequência, estão destacados pontos relevantes, abordados no artigo, que fundamentam a pesquisa desenvolvida no presente trabalho.

2.1.1 Elementos da Internet das Coisas

Entender os elementos que integram a Internet das Coisas é fundamental para compreender o seu funcionamento. Nos próximos parágrafos são discutidos os seis principais elementos necessários para a construção de uma solução para a Internet das Coisas: identificação, sensores/atuadores, comunicação, computação, serviços e semântica.

A identificação consiste no fornecimento de uma identidade clara e exclusiva para cada dispositivo dentro da rede, através de tecnologias específicas, como, por exemplo, o Código Eletrônico de Produto (*Electronic Product Code* – EPC) e o endereçamento IP. Identificar os dispositivos de forma individual é importante para entender cada um deles como um nó exclusivo dentro da rede e, dessa forma, conseguir atuar sobre e coletar dados especificamente de um determinado dispositivo.

Os sensores e atuadores são fundamentais para o desenvolvimento de soluções para a Internet das Coisas. Os sensores são responsáveis pela coleta de dados do contexto onde encontra-se determinado dispositivo e pelo envio desses dados para os servidores de armazenamento (*data warehouse*, base de dados ou nuvem), onde serão tratados. Os atuadores recebem informações ou comandos e, a partir deles, agem provocando alterações de estado no contexto onde encontra-se determinado dispositivo.

As tecnologias de comunicação são utilizadas para promover a conexão entre os diferentes dispositivos. A comunicação é um elemento crítico, pois os nós da Internet das Coisas

precisam, geralmente, consumir uma quantidade mínima de energia e lidar com as perdas e os ruídos associados aos enlaces. Exemplos de tecnologias de comunicação utilizadas para a Internet das Coisas são WiFi, Bluetooth e RFID.

O elemento computação está representado pelas unidades de processamento (microcontroladores, microprocessadores, entre outros) e pelas aplicações de software responsáveis pela habilidade computacional dos dispositivos da Internet das Coisas. Estão inclusas no elemento computação: plataformas de hardware como o Arduino e o Raspberry PI, plataformas de software como os sistemas operacionais de tempo real (*Real Time Operating System – RTOS*) e também as plataformas de computação em nuvem.

Os serviços fornecidos pela Internet das Coisas podem ser categorizados da seguinte forma: Serviços de Identificação, responsáveis por identificar os dispositivos do mundo real trazidos para o mundo digital; Serviços de Agregação de Informação, que coletam e sintetizam os dados obtidos através dos sensores dos dispositivos; Serviços de Colaboração e Inteligência que agem sobre os Serviços de Agregação de Informação e utilizam os dados para tomar decisões e reagir de acordo com determinado cenário; e Serviços Ubíquos, que visam fornecer Serviços de Colaboração e Inteligência sempre que forem necessários, em qualquer lugar e para qualquer um que precise deles. O objetivo de toda aplicação de Internet das Coisas é atingir o nível de Serviços Ubíquos.

A semântica na Internet das Coisas refere-se à habilidade de extrair conhecimento dos dados de forma inteligente. Esse elemento abrange a descoberta de conhecimento, incluindo o reconhecimento e a análise dos dados e também a associação de demandas aos recursos apropriados. Para isso, utilizam-se técnicas da Web Semântica, como o *Resource Description Framework* (RDF) e a *Ontology Web Language* (OWL).

2.1.2 Desafios para a Internet das Coisas

Implementar soluções para a Internet das Coisas torna-se uma atividade complexa por consequência dos diferentes desafios envolvidos no processo. Alguns dos principais desafios são a disponibilidade, a confiabilidade, a mobilidade, o desempenho, o gerenciamento, a escalabilidade, a interoperabilidade, a segurança e a privacidade. O tratamento desses desafios permite que os provedores de serviços e os programadores de aplicativos implementem suas soluções com eficiência. Nos próximos parágrafos é realizada uma breve discussão sobre cada um dos desafios supramencionados.

Os serviços oferecidos pela Internet das Coisas devem estar disponíveis a qualquer tempo e em qualquer lugar. Para isso, é necessário garantir a disponibilidade em nível de software, assegurando que aplicações de Internet das Coisas forneçam serviços de forma simultânea a todos os usuários, independentemente da sua localização, e também em nível de hardware, assegurando a compatibilidade, em tempo integral, do hardware com as funcionalidades e protocolos da Internet das Coisas. Uma solução para garantir alta disponibilidade é implementar a redundância de itens críticos.

A confiabilidade refere-se ao correto funcionamento do sistema, com base nas suas especificações, mesmo em situações adversas e inesperadas. Com a confiabilidade é possível aumentar a taxa de sucesso da entrega dos serviços de Internet das Coisas e, por isso, ela deve ser implementada em software e hardware, por todas as camadas de uma arquitetura.

A mobilidade é outro desafio para a implementação de soluções para a Internet das Coisas, visto que espera-se que a maioria dos serviços seja entregue a usuários móveis. Além disso, é preciso considerar o gigantesco número de dispositivos presentes na Internet das Coisas, o que requer mecanismos eficientes para o gerenciamento da mobilidade. Preservar a conexão entre os serviços e os usuários que desejam acessá-los, enquanto estão em movimento, é uma importante premissa da Internet das Coisas. Uma alternativa para promover a continuidade dos serviços, é a utilização de esquemas de mobilidade que envolvam métodos capazes de permitir o acesso aos dados da Internet das Coisas mesmo em caso de indisponibilidade temporária de recursos.

A Internet das Coisas precisa desenvolver e melhorar os seus serviços continuamente para atender aos requisitos dos clientes, entretanto, avaliar o desempenho dos serviços de Internet das Coisas é um grande desafio, já que depende do desempenho de muitos componentes e de suas tecnologias. Muitas métricas podem ser usadas para avaliar o desempenho da Internet das Coisas, incluindo velocidade de processamento, velocidade de comunicação e custo.

Interconectar bilhões ou trilhões de dispositivos inteligentes representa um grande desafio para os provedores de serviços de Internet das Coisas, principalmente quanto aos problemas relacionados ao gerenciamento de falhas, de configuração, de contabilidade, de desempenho e de segurança. O gerenciamento de dispositivos e aplicações de Internet das Coisas pode ser um fator crucial para o aumento de soluções nessa área, por isso é importante que seja realizado o aprimoramento dos protocolos e mecanismos de gerenciamento, além do desenvolvimento de novas abordagens.

A escalabilidade na Internet das Coisas refere-se à habilidade de se adicionar novos dispositivos, serviços e funções sem afetar negativamente a qualidade dos serviços existentes. Adicionar novas funcionalidades e suportar novos dispositivos não é uma tarefa fácil, especialmente porque é necessário adaptar-se às diferentes plataformas de hardware e aos diferentes protocolos de comunicação. Por esse motivo, as aplicações de Internet das Coisas devem ser projetadas desde o início para integrar serviços e operações extensíveis.

A interoperabilidade é outro desafio para a Internet das Coisas, considerando a necessidade de se lidar com um grande número de dispositivos heterogêneos que pertencem a diferentes plataformas. A interoperabilidade deve ser considerada pelos desenvolvedores de aplicações e também pelos fabricantes dos dispositivos, visando garantir a entrega de serviços para todos os clientes, independentemente das especificações da plataforma de hardware que utilizem. A interoperabilidade é um critério significativo a ser considerado no projeto e construção de aplicações para a Internet das Coisas, para que seja possível atender aos requisitos dos clientes.

A segurança e a privacidade representam um desafio significativo para a implementação de soluções de Internet das Coisas. Em redes heterogêneas, como é o caso da Internet das Coisas, não é simples garantir a segurança e a privacidade dos usuários e, o crescente número de dispositivos inteligentes conectados, que possuem dados sensíveis, exige que sejam estabelecidas propostas de gerenciamento que permitam um controle de acesso transparente e objetivo.

2.2 Plataformas de Internet das Coisas

O artigo de Zdravković *et al.* [27] busca estabelecer o estado da arte do desenvolvimento de plataformas de Internet das Coisas e, para isso, traz um panorama geral da estrutura e das funcionalidades de um conjunto de plataformas. Na sequência serão apresentados alguns conceitos significativos extraídos desse artigo.

Uma plataforma de Internet das Coisas é definida como um software que permite a conectividade de dispositivos e a aquisição, o processamento, a transformação, a organização e o armazenamento dos dados produzidos por esses dispositivos. Pontos centrais da Internet das Coisas, como os desafios apresentados na seção anterior, são altamente relevantes para as plataformas de Internet das Coisas. Inclusive, a arquitetura de uma plataforma deve levar em conta todos esses desafios e a sua abordagem de desenvolvimento deve ter como objetivo atenuar ou extinguir quaisquer problemas decorrentes desses fatores.

As plataformas de Internet das Coisas são, geralmente, baseadas na computação em nu-

vem, entregando um serviço do tipo plataforma como serviço (*Platform-as-a-Service* – PaaS). A conectividade ubíqua e confiável é uma característica chave para as plataformas, sendo realizada sobre qualquer canal de comunicação e priorizando a qualidade da conexão. Os recursos típicos das plataformas de Internet das Coisas são: conectividade como um serviço, monitoramento e manutenção de dispositivos, visualização de dados, análise de dados e lógica básica de aplicação, através de alertas e *triggers*.

As seguintes categorias de plataformas de Internet das Coisas foram identificadas no trabalho de Zdravković *et al.* [27]:

- Plataformas de domínio específico, que facilitam cenários específicos de determinado domínio.
- Plataformas de tecnologia específica, que levam em conta apenas um conjunto específico de dispositivos. Geralmente, são plataformas fechadas, baseadas em dispositivos com tecnologia proprietária.
- Provedores de conectividade máquina a máquina (*Machine-to-Machine* – M2M), cujo recurso principal é a conectividade como um serviço e que têm como objetivo primário a aquisição e a análise de dados.
- *Middlewares* genéricos de larga escala, que fornecem uma gama completa de serviços de conectividade, mas também facilitam o desenvolvimento de aplicações, com base em dados coletados pelos dispositivos e transformados por ferramentas analíticas.
- Plataformas de serviços de apoio. Essas plataformas não oferecem conectividade M2M, então não são plataformas de Internet das Coisas, entretanto, oferecem funcionalidades que podem ser úteis para cenários de Internet das Coisas.

O desenvolvimento de plataformas de Internet das Coisas é impulsionado pela necessidade de se facilitar a conectividade máquina-a-máquina, que vêm crescendo a uma taxa sem precedentes. Com a ascensão das plataformas de Internet das Coisas, a interoperabilidade entre plataformas e a reutilização estão emergindo. Há situações em que plataformas de Internet das Coisas de domínio específico são feitas através da utilização de provedores de conectividade M2M. Da mesma forma, os primeiros casos de colaboração entre plataformas aparecem, com soluções de interoperabilidade.

2.3 Análise de *Big Data*, Computação em Nuvem e *Fog Computing*

Nessa seção são apresentadas algumas informações sobre análise de *big data*, computação em nuvem e *fog computing*, retiradas do artigo de Al-Fuqaha *et al.* [1].

2.3.1 Análise de Big Data e Computação em Nuvem

Conectar um grande número de dispositivos equipados com sensores à Internet gera o que se chama de *big data*, um grande volume de dados, estruturados e não estruturados. Os dispositivos conectados precisam de mecanismos para armazenar, processar e recuperar os dados gerados. Porém, o *big data* é tão vasto que excede a capacidade de ambientes de hardware e de ferramentas de software convencionais de capturar, gerenciar e processar esses dados em um tempo aceitável.

A tecnologia de computação em nuvem é definida como um modelo de acesso sob demanda à uma rede de recursos computacionais configuráveis compartilhados, como redes, servidores, *data warehouses*, aplicações e serviços. Os serviços de computação em nuvem permitem que indivíduos e empresas usem remotamente componentes de software e de hardware de terceiros, de forma confiável e a baixo custo. A Internet das Coisas emprega um grande número de dispositivos embarcados, como sensores e atuadores, que geram *big data*, que requer a utilização de computações complexas para extração de conhecimento dos dados. Sendo assim, os recursos de computação e armazenamento em nuvem representam a melhor escolha para que a Internet das Coisas armazene e processe *big data*.

Uma importante vantagem do *big data* é a possibilidade de extração de conhecimento, através do qual uma empresa pode alcançar vantagem competitiva. Existem diferentes plataformas para análise de *big data*, entretanto, essas plataformas não são robustas o suficiente para lidar com as necessidades da Internet das Coisas, pois o amontoado de dados produzidos pela Internet das Coisas é grande demais para ser processado pelas ferramentas disponíveis.

A computação em nuvem oferece um novo mecanismo de gerenciamento para *big data* que permite o processamento de dados e a extração de conhecimento dos mesmos. Entretanto, empregar a computação em nuvem para a Internet das Coisas não é uma tarefa fácil, pois devem ser levados em consideração os seguintes desafios:

- A sincronização entre diferentes fornecedores de computação em nuvem, que pode afetar os serviços em tempo real, construídos sobre diversas plataformas de serviços em nuvem;

- A padronização da computação em nuvem, que necessita que as diversas plataformas sejam capazes de interoperar;
- O balanceamento entre os ambientes de serviço em nuvem comuns e as especificações da Internet das Coisas;
- A segurança dos serviços de Internet das Coisas baseados em nuvem, que deve lidar com as diferenças entre os mecanismos de segurança dos dispositivos e das plataformas;
- O gerenciamento da computação em nuvem e dos sistemas de Internet das Coisas, por possuírem diferentes recursos e componentes; e
- A validação dos serviços de Internet das Coisas baseados em nuvem, necessária para garantir o fornecimento de serviços que atendam aos requisitos dos clientes.

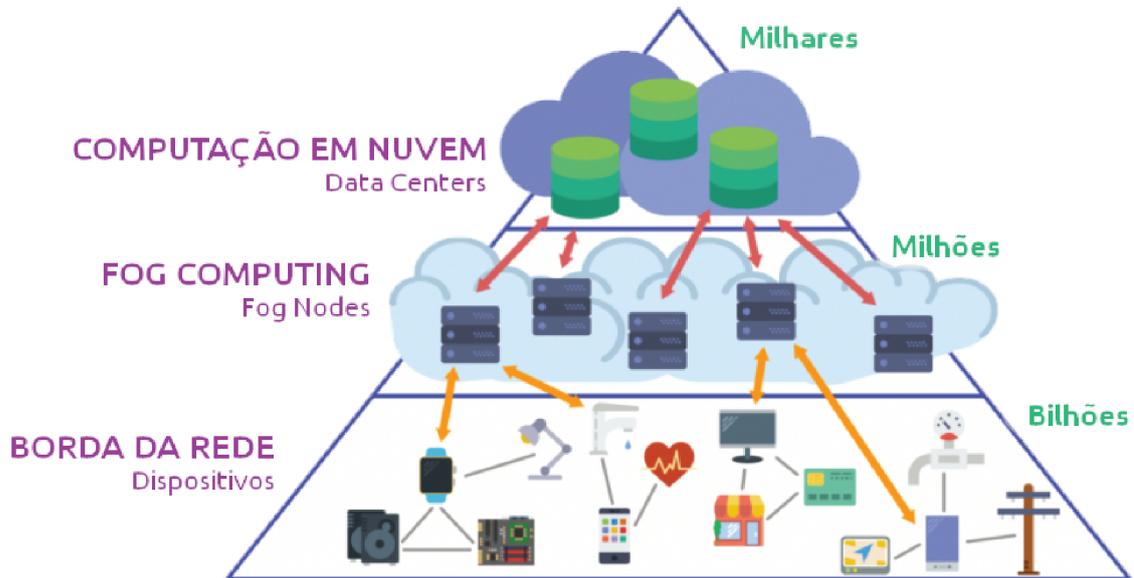
2.3.2 *Fog Computing*

A *fog computing* pode atuar como uma ponte entre os dispositivos inteligentes e os serviços de computação e armazenamento em nuvem. Através da *fog computing*, é possível estender os serviços da computação em nuvem até os dispositivos na borda da rede. Em razão da sua proximidade com os usuários finais, em comparação com os data centers da nuvem, a *fog computing* tem potencial para oferecer serviços com melhor desempenho. Geralmente, há uma diferença significativa de escala entre a computação em nuvem e a *fog computing*, de forma que a computação em nuvem tem uma capacidade de computação, armazenamento e comunicação massiva em comparação com a *fog computing*. Na Figura 2.1, estão representados os papéis desempenhados pelos data centers da nuvem e pelos *fog nodes* na entrega de serviços de Internet das Coisas para os usuários finais.

A utilização da *fog computing* pode ser uma ótima escolha para os desenvolvedores de soluções para a Internet das Coisas, por conta das seguintes características:

- Localização, pois os recursos da *fog computing* estão localizados entre os dispositivos inteligentes e os data centers da nuvem, proporcionando um melhor desempenho;
- Distribuição, pois a *fog computing* baseia-se em “*micro*” *centers* com capacidades de armazenamento, processamento e comunicação limitadas em comparação com a nuvem e, por isso, é possível implantar muitos “*micro*” *centers* próximos aos usuários finais, por um custo reduzido em relação ao custo de implantação de data centers da nuvem;

Figura 2.1: Papéis da computação em nuvem e da *fog computing* nos serviços de Internet das Coisas



Fonte: Adaptado de ERPINNEWS, 2018⁴.

- Escalabilidade, pois sua estrutura permite que sistemas de Internet das Coisas sejam mais escaláveis, de maneira que a medida em que o número de usuários finais aumenta, aumenta também o número de “micro” centers implantados, o que é inviável realizar com os data centers da nuvem por conta do custo elevado;
- Densidade de dispositivos, pois a *fog computing* auxília no fornecimento de serviços resistentes e replicados;
- Suporte à mobilidade, pois seus recursos agem como uma “nuvem móvel”, dado que está próximo aos usuários finais;
- Tempo real, pois tem potencial para fornecer uma melhor performance para os serviços interativos de tempo real;
- Padronização, pois a *fog computing* pode interoperar com diversos fornecedores de computação em nuvem; e
- Análise agilizada, pois os recursos da *fog computing* podem realizar a agregação de dados para enviar dados parcialmente processados, ao invés de dados brutos, para data centers

⁴Disponível em: <<https://erpinnews.com/wp-content/uploads/2018/01/edge-computing-diagram-1024x512-850x425.png>>. Acesso em: 18 nov. 2018.

na nuvem, para que recebam processamento complementar.

Sendo assim, a *fog computing* tem potencial para aumentar o desempenho geral das aplicações de Internet das Coisas, pois tenta desempenhar parte dos serviços de alto nível oferecidos pela nuvem em recursos locais.

3 TRABALHOS RELACIONADOS

Existem diferentes trabalhos que buscam definir uma arquitetura de referência para a Internet das Coisas. Para o desenvolvimento dessa pesquisa, foram consideradas as iniciativas apresentadas na sequência. Todas as informações sobre as iniciativas foram retiradas de suas respectivas documentações, que podem ser encontradas em [6], [18] e [2, 3].

3.1 *Industrial Internet Reference Architecture (IIRA)*

A *Industrial Internet Reference Architecture (IIRA)* é uma arquitetura aberta baseada em padrões para os sistemas de Internet das Coisas Industrial (*Industrial Internet of Things – IIoT*), desenvolvida pelo Consórcio de Internet Industrial (*Industrial Internet Consortium – IIC*).

3.1.1 *Industrial Internet Architecture Framework (IIAF)*

Em sistemas complexos, como os da Internet das Coisas Industrial, muitos são os *stakeholders* envolvidos. Esses *stakeholders* possuem diversas preocupações que abrangem o ciclo de vida completo do sistema e, por conta disso, é necessário um *framework* para identificar e classificar essas preocupações em categorias apropriadas, para que então sejam avaliadas e resolvidas sistematicamente. Para atender a essa necessidade, o IIC usou o padrão ISO/IEC/IEEE 42010:2011 para definir o *Industrial Internet Architecture Framework (IIAF)*. O IIAF identifica convenções, princípios e práticas para uma descrição consistente de arquiteturas de Internet das Coisas Industrial. Esse *framework* arquitetural baseado em padrões facilita a avaliação e a sistemática e efetiva resolução das preocupações dos *stakeholders*. Além disso, é um recurso para orientar o desenvolvimento e a documentação da IIRA.

Um *framework* arquitetural contém as informações que identificam a estrutura fundamental da arquitetura e especifica as preocupações, *stakeholders*, pontos de vista, tipos de modelos, regras de correspondência e condições de aplicabilidade. O ponto principal do padrão ISO/IEC/IEEE para descrição de arquiteturas são os pontos de vista. Um ponto de vista compreende as convenções que delimitam a descrição e a análise de preocupações específicas do sistema. Um *stakeholder* pode ser um indivíduo, um time ou uma organização, que tem interesse em uma preocupação e, por consequência, interesse no ponto de vista e no sistema. Para auxiliar nas tarefas de descrever, analisar e resolver preocupações, podem ser definidos tipos

de modelos para cada ponto de vista. A construção de pontos de vista e seus *stakeholders*, preocupações e tipos de modelos correspondentes pode ser considerada como o *frame* da arquitetura. As ideias para descrever, analisar e resolver o conjunto de preocupações específicas de cada um dos pontos de vista, podem ser expressas como a visão da arquitetura. Aplicar os tipos de modelos definidos em cada ponto de vista para descrever, analisar e resolver as preocupações, resulta na criação de modelos de arquitetura, que compõem a visão da arquitetura correspondente. As visões da arquitetura juntamente com seus modelos de arquitetura podem ser considerados como as representações da arquitetura.

O IIAF adota os conceitos e construções gerais do padrão ISO/IEC/IEEE para descrição de arquiteturas, especificamente, preocupação, *stakeholder* e ponto de vista como o seu *frame* da arquitetura e visões e modelos como a sua representação da arquitetura, na descrição e análise de importantes preocupações comuns da arquitetura para sistemas de Internet das Coisas Industrial. O IIAF representa a base da IIRA.

3.1.2 *Industrial Internet Reference Architecture (IIRA)*

A IIRA documenta o resultado da aplicação do IIAF aos sistemas de Internet das Coisas Industrial. Primeiramente, identifica e destaca as preocupações arquiteturais mais importantes, comumente encontradas nos sistemas de Internet das Coisas Industrial, e classifica-as em pontos de vista, juntamente com seus respectivos *stakeholders*. Na sequência, descreve, analisa e, onde apropriado, fornece orientações para resolver as preocupações nesses pontos de vista, resultando em algumas representações de arquitetura abstratas. O nível de abstração da IIRA exclui elementos arquiteturais cuja avaliação requer especificidades que estão disponíveis apenas em sistemas concretos.

Os pontos de vista da IIRA foram definidos através da análise de diversos casos de uso da Internet das Coisas Industrial desenvolvidos pelo IIC e por outras organizações, da identificação dos *stakeholders* relevantes dos sistemas de Internet das Coisas Industrial e da determinação do enquadramento adequado das preocupações. Os quatro pontos de vista definidos são:

- Ponto de vista de negócios: Atende às preocupações de identificação dos *stakeholders* e de suas visões de negócio, seus valores e seus objetivos ao estabelecer um sistema de Internet das Coisas Industrial em seu contexto de negócios. Além disso, identifica como o sistema de Internet das Coisas Industrial alcança os objetivos estabelecidos, através do mapeamento das competências fundamentais do sistema;

- Ponto de vista de uso: Abrange as preocupações do uso esperado do sistema. É representado geralmente por sequências de atividades envolvendo usuários (humanos, sistemas, ou componentes de sistemas) que definem as funcionalidades pretendidas para alcançar as competências fundamentais do sistema;
- Ponto de vista funcional: Concentra-se nos componentes funcionais de um sistema de Internet das Coisas Industrial, suas estruturas e inter-relações, nas interfaces e suas inter-relações e na relação do sistema com elementos externos, para poder suportar o uso e as atividades do sistema como um todo;
- Ponto de vista de implementação: Preocupa-se com as tecnologias necessárias para a implementação dos componentes funcionais (ponto de vista funcional), seus esquemas de comunicação e seus procedimentos do ciclo de vida. Esses elementos são coordenados pelas atividades (ponto de vista de uso) e dão suporte às competências do sistema (ponto de vista de negócios).

Esses quatro pontos de vista formam a base para uma análise detalhada de conjuntos individuais de preocupações dos sistemas de Internet das Coisas Industrial.

3.2 *Internet of Things – Architecture (IoT-A)*

O projeto *Internet of Things – Architecture (IoT-A)*, desenvolvido pelo *Seventh Framework Programme (FP7)*, propõe a criação de um modelo de referência arquitetural para a Internet das Coisas, bem como a definição de um conjunto de elementos fundamentais para estabelecer as bases de uma Internet das Coisas ubíqua.

A escolha central do projeto IoT-A foi basear seu trabalho no atual estado da arte, ao invés de iniciar do zero. Devido a essa escolha, características comuns foram utilizadas para formar a base do modelo de referência arquitetural (*Architectural Reference Model – ARM*) para a Internet das Coisas. O ARM consiste em três partes:

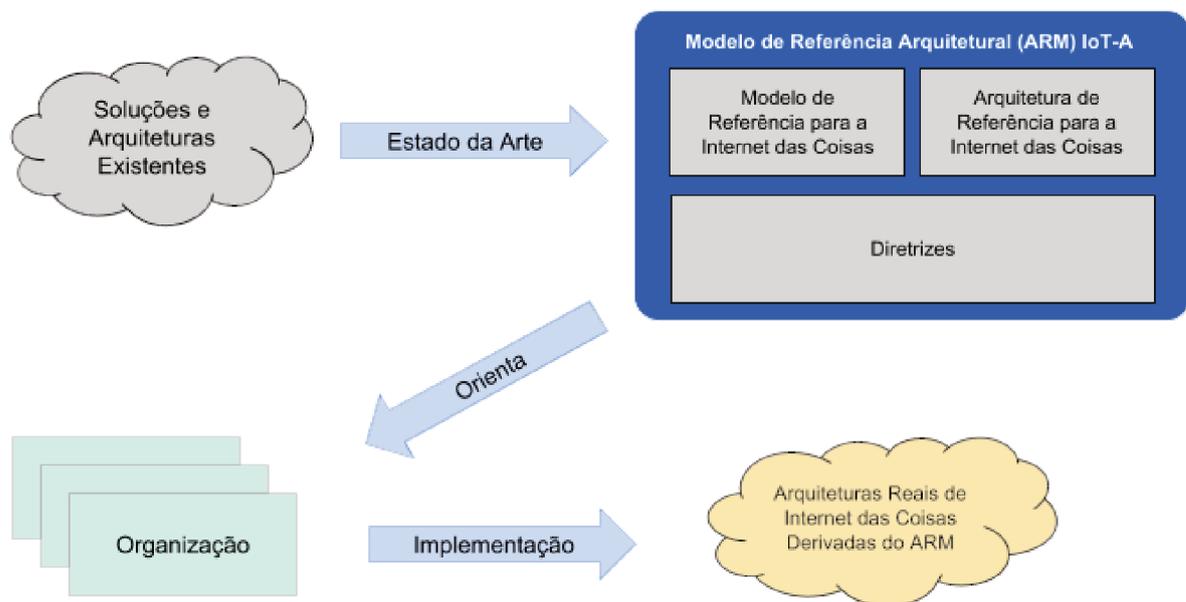
- O modelo de referência para a Internet das Coisas, que fornece o nível de abstração mais alto para a definição do ARM e promove um entendimento comum do domínio da Internet das Coisas;
- A arquitetura de referência para a Internet das Coisas, que é a referência para a construção de arquiteturas de Internet das Coisas compatíveis e fornece pontos de vista e perspectivas

sobre diferentes aspectos arquitetônicos; e

- Diretrizes que discutem como os modelos, visões e perspectivas, definidos nas outras duas partes, podem ser de fato utilizados.

A Figura 3.1 apresenta uma visão geral do processo utilizado para a definição das diferentes partes que constituem o ARM.

Figura 3.1: Blocos de construção do Modelo de Referência Arquitetural (ARM) para a Internet das Coisas



Fonte: Adaptado de F.E. Project, 2013⁵.

3.3 P2413 - Standard for an Architectural Framework for the Internet of Things (IoT)

O projeto denominado *P2413 - Standard for an Architectural Framework for the Internet of Things (IoT)* foi iniciado por orientação da equipe de Internet das Coisas da *IEEE Standards Association* e visa suprir as necessidades do mercado, através do desenvolvimento do cenário tecnológico da Internet das Coisas. O objetivo principal do P2413 é o fornecimento de um *framework* arquitetural extensível e integrado para a Internet das Coisas. A intenção do grupo de trabalho envolvido no projeto é entregar um *framework* comum para todos os domínios da Internet das Coisas, a fim de aumentar a transparência arquitetural e o suporte a *benchmarking*,

⁵Disponível em: <<https://iotforum.org/wp-content/uploads/2014/09/D1.5-20130715-VERYFINAL.pdf>>. Acesso em: 18 nov. 2018.

segurança e proteção. Além disso, o grupo de trabalho tem intenção de promover a interação entre domínios e, para tal, pretende estabelecer as descrições de vários domínios de Internet das Coisas, criar definições de abstrações de domínio e identificar semelhanças entre os diferentes domínios de Internet das Coisas. O grupo também visa contribuir para a interoperabilidade do sistema e impulsionar ainda mais o crescimento do mercado de Internet das Coisas. Atualmente, não há nenhuma documentação técnica sobre o projeto disponível.

3.4 Outros Trabalhos Relacionados

Além das iniciativas para a definição de uma arquitetura de referência para a Internet das Coisas, também são considerados trabalhos relacionados os artigos descritos na sequência.

O trabalho de Mazhelis e Tyrväinen [15] define um *framework* para a avaliação de um conjunto de plataformas, com o objetivo de verificar o quão amplamente elas dão suporte para as possíveis necessidades dos fornecedores de aplicações de Internet das Coisas, ao longo de todo o ciclo de vida do seu serviço ou aplicativo. Através do *framework* e da documentação disponível sobre características e serviços, é avaliada a maturidade das plataformas de Internet das Coisas. A conclusão dos autores, através dos resultados obtidos, é de que o suporte fornecido está fragmentado e, com isso, algumas das atividades, como a descoberta, compra, contabilidade e o faturamento de aplicativos e serviços, são apenas parcialmente suportadas pelas plataformas. Isso contribui para a baixa adesão e indica a perspectiva na qual as plataformas precisam ser melhoradas no futuro.

O artigo de Guth *et al.* [9] aborda a heterogeneidade de plataformas em nuvem para a Internet das Coisas, evidenciando os problemas decorrentes dos diversos padrões e abordagens existentes. Para discorrer sobre esses problemas, o artigo propõe uma arquitetura de referência abstrata para a Internet das Coisas, baseada em diversas plataformas, e realiza a comparação da arquitetura proposta com quatro plataformas de Internet das Coisas, três de código aberto e uma proprietária. Como conclusão, os autores apontam que a arquitetura de referência do artigo pode ser utilizada como base para a comparação e a avaliação de diferentes soluções para a Internet das Coisas, fornecendo um referencial comum para o desenvolvimento de novas plataformas.

Na pesquisa de Mineraud *et al.* [16], um conjunto significativo de plataformas de Internet das Coisas, proprietárias e de código aberto, foi avaliado em relação a sua habilidade de atender às expectativas de diferentes usuários de Internet das Coisas. A avaliação foi rea-

lizada como uma análise das lacunas do panorama atual da Internet das Coisas em relação ao suporte para tecnologias heterogêneas de sensores e atuadores, à propriedade dos dados e suas implicações para a segurança e para a privacidade, às capacidades de processamento e compartilhamento de dados, ao suporte oferecido aos desenvolvedores de aplicações, à plenitude do ecossistema de Internet das Coisas e à disponibilidade de *marketplaces* dedicados à Internet das Coisas. Essa análise visa destacar as deficiências das soluções atuais para melhorar a sua integração com os ecossistemas futuros. Com bases nos resultados da análise, os autores concluem o artigo com uma lista de recomendações para incremento nas plataformas de Internet das Coisas, de forma que as lacunas possam ser preenchidas.

O estudo de Ray [20] analisa plataformas em nuvem de Internet das Coisas, visando avaliar diferentes domínios de serviço, como desenvolvimento de aplicativos, gerenciamento de dispositivos, gerenciamento de sistemas, gerenciamento de heterogeneidade, gerenciamento de dados, ferramentas de análise, implantação, monitoramento, visualização e pesquisa. Uma comparação é apresentada para divulgar as plataformas de acordo com a sua aplicabilidade. Além disso, são descritos alguns problemas das plataformas em nuvem de Internet das Coisas, que deverão ser enfrentados pelos pesquisadores no futuro. O objetivo do artigo é fornecer uma visão detalhada sobre um conjunto de plataformas em nuvem de Internet das Coisas e apontar os prós e contras de cada uma delas.

4 AVALIAÇÃO DO CONJUNTO DE PLATAFORMAS

Para realização do estudo de caso, um conjunto de plataformas foi selecionado para fundamentar a identificação de elementos e funcionalidades para uma possível arquitetura de referência para a Internet das Coisas. São elementos desse conjunto as seguintes plataformas: Arrayent, Axeda, Bugswarm, Carriots, DeviceHive, DSA, Evrythng, Exosite, GrooveStreams, IFTTT, Kaaproject, LinkSmart, Mbed, Nimbits, Particle.io, Autodesk SeeControl, SensorCloud, SiteWhere, PTC ThingWorx, Thinger.io, Thingsboard, ThingSpeak, WSo2 e Zetta. Essas plataformas foram selecionadas a partir de um artigo retirado do site *H2S Media* [22] que apresenta uma lista, segundo a visão dos autores, das nove melhores plataformas de código aberto para desenvolvimento de projetos para a Internet das Coisas e a partir do artigo de Zdravković *et al.* [27] que apresenta o estado da arte do desenvolvimento de plataformas para a Internet das Coisas, explorando uma coleção de plataformas que possuem “uma base de clientes significativa e parcerias com fabricantes de dispositivos e integradores de sistemas” [27, p. 217, tradução nossa⁶].

No desenvolvimento da pesquisa, realizou-se a avaliação do conjunto de plataformas selecionado, através da leitura da documentação de cada uma das plataformas. Essa documentação foi consultada no site oficial de cada plataforma, quando disponível. O objetivo da avaliação foi identificar quais plataformas apresentam uma estrutura e um acervo de funcionalidades significativos e que, dessa forma, apresentam contribuições para o estudo. A partir dessa avaliação, determinou-se quais plataformas poderiam ser mantidas no conjunto objeto de estudo e quais deveriam ser excluídas do conjunto.

No Quadro 4.1 estão descritas as justificativas, para cada uma das plataformas do conjunto definido originalmente, da sua inclusão ou exclusão do estudo de caso. Os nomes das plataformas apresentados no Quadro 4.1 podem divergir em relação àqueles supramencionados, pois foram encontradas algumas diferenças entre as informações presentes nos artigos utilizados para a definição do conjunto de plataformas e o conteúdo dos sites e das documentações oficiais das plataformas.

⁶“a significant customer base and partnerships with device manufacturers and system integrators”

Quadro 4.1: Descrição das justificativas para inclusão ou exclusão de plataformas do estudo de caso.

Plataforma	Justificativa
IoT Service X-Change (Arrayent)	A plataforma Arrayent foi adquirida em julho de 2017 pela empresa Prodea Systems. Atualmente, a empresa trabalha com a plataforma IoT Service X-Change, que utiliza os serviços da plataforma Arrayent. No site da empresa, encontra-se apenas uma visão de negócios sobre as plataformas e um breve detalhamento. Portanto, considera-se que a documentação é insuficiente para utilização na pesquisa.
Axeda	A plataforma Axeda foi adquirida em julho de 2014 pela empresa PTC Inc., que também é dona da plataforma ThingWorx. Através de pesquisa realizada no site da empresa, foi possível identificar que apenas a plataforma ThingWorx é apresentada como solução para a Internet das Coisas, de forma que as funcionalidades da plataforma Axeda foram utilizadas como um complemento. Visto que não há documentação de referência disponível para consulta e que a plataforma demonstra ter sido descontinuada, a mesma não foi considerada no estudo.
BugSwarm	A plataforma BugSwarm utiliza a tecnologia <i>JavaScript</i> e o <i>Hypertext Transfer Protocol</i> (HTTP) para criar um <i>swarm</i> , que nada mais é do que um sistema de recursos que podem se comunicar através da utilização de uma política de acesso definida. Partindo dessa concepção, entende-se que a plataforma não oferece uma solução para a Internet das Coisas propriamente dita, porém, fornece condições para que aplicações de Internet das Coisas sejam desenvolvidas. Apesar de possuir documentação detalhada disponível, não apresenta as características buscadas para o presente estudo.
Altair SmartCore (Carriots)	Atualmente, a plataforma Carriots é mantida pela empresa Altair com o nome de Altair SmartCore. Essa plataforma é <i>cloud-native</i> e oferece um conjunto integrado de serviços e funcionalidades para conectar os dispositivos ao mundo digital. A documentação sobre a plataforma ainda está em construção e no site da empresa encontram-se apenas algumas informações nas perspectivas de negócios e de utilização da plataforma. Devido à limitação da documentação, optou-se por não utilizar a mesma para o estudo.
DeviceHive	A plataforma DeviceHive oferece uma solução de código aberto com um grande número de opções de integração. A documentação sobre a plataforma é detalhada e está disponível e, por isso, optou-se pela inclusão da plataforma na pesquisa.

(continuação)

Plataforma	Justificativa
DSA	A plataforma de código aberto DSA (<i>Distributed Services Architecture</i>) promete facilitar a intercomunicação, a lógica e as aplicações dos dispositivos em todas as camadas da infraestrutura da Internet das Coisas. Entretanto, a documentação disponível sobre a plataforma não é satisfatória, pois apresenta um conjunto insuficiente de informações, inviabilizando sua inclusão no estudo.
Evrythng	A plataforma Evrythng oferece uma solução completa para a Internet das Coisas, porém, é uma plataforma proprietária e não possui um detalhamento expressivo sobre sua arquitetura disponível em seu site. Portanto, foi excluída do estudo de caso.
Murano (Exosite)	A plataforma Murano, da empresa Exosite, oferece um conjunto de soluções para Internet das Coisas, porém é uma plataforma proprietária e não possui documentação detalhada sobre sua implementação disponível e, por isso, foi excluída da pesquisa.
GroveStreams	A GroveStreams é uma interface de programação de aplicações (<i>Application Programming Interface – API</i>) RESTful ⁷ de código aberto e, apesar de possuir documentação disponível, o nível de detalhamento das informações não é satisfatório para o estudo, impedindo a inclusão da plataforma.
IFTTT	A IFTTT (acrônimo de <i>If This, Then That</i>) define um protocolo conciso que é implementado por APIs de serviço e, por isso, pode ser vista como uma ferramenta de apoio para o desenvolvimento de soluções de Internet das Coisas, ao invés de uma plataforma de Internet das Coisas. Apesar de ter documentação disponível, por conta das suas características, não foi incluída no estudo.
KaaProject	A plataforma de <i>middleware</i> KaaProject permite a implementação de soluções completas para a Internet das Coisas. Tem documentação disponível, com um vasto conjunto de informações detalhadas, por isso, foi utilizada para a pesquisa.
LinkSmart	A plataforma de código aberto LinkSmart oferece soluções para o desenvolvimento de aplicações em vários domínios da Internet das Coisas, como cidades inteligentes, Indústria 4.0, entre outros. Tem documentação detalhada disponível e, portanto, foi incluída no estudo.

⁷Diz-se que um serviço é RESTful se o mesmo segue os princípios da arquitetura de transferência de estado representacional (*Representational State Transfer – REST*).

(continuação)

Plataforma	Justificativa
Pelion (Mbed)	A plataforma de Internet das Coisas Pelion, em conjunto com o sistema operacional Mbed, oferece uma solução para a ampliação do gerenciamento da conectividade, dos dispositivos e dos dados. Entretanto, considera-se que o nível de detalhamento da documentação disponível não é satisfatório para a pesquisa, o que impede a inclusão dessa plataforma.
Nimbits	A plataforma de código aberto Nimbits foi criada em 2001, originalmente como um sistema de coleta de dados, destinada ao controle e automatização de processos envolvidos em APIs de Internet das Coisas. Atualmente, o projeto Nimbits encontra-se arquivado, o que impossibilitou sua inclusão no estudo.
Particle.io	A plataforma de código aberto Particle.io oferece uma solução completa para o desenvolvimento de aplicações de Internet das Coisas. Entretanto, a documentação disponível não possui um conjunto satisfatório de informações, inviabilizando sua inclusão no estudo.
AutoDesk Fusion 360 (SeeControl)	O projeto da AutoDesk responsável pela plataforma SeeControl foi encerrado e, atualmente, as iniciativas da empresa na área de Internet das Coisas concentram-se na plataforma proprietária Fusion 360. Essa plataforma oferece a integração entre o Desenho Assistido por Computador (DAC), a Manufatura Auxiliada por Computador (MAC) e a Engenharia Assistida por Computador (EAC), permitindo a união dessas tecnologias em uma única plataforma. Considerando que a plataforma oferece solução para a Internet das Coisas apenas para um domínio específico, além de não ter documentação detalhada disponível, optou-se por não incluí-la no presente trabalho.
SensorCloud	A plataforma SensorCloud é <i>web-based</i> e pode ser gerenciada remotamente para permitir o armazenamento, a visualização e a análise de dados de sensores. Entretanto, a plataforma não oferece uma solução completa para Internet das Coisas, seu foco é na coleta e gerenciamento de dados e, por esse motivo, além da falta de detalhamento na documentação disponível, decidiu-se não incluí-la no estudo.
SiteWhere	A plataforma de código aberto SiteWhere oferece uma estrutura personalizável para praticamente qualquer caso de uso de Internet das Coisas, como dispositivos vestíveis, automação residencial, entre outros. Considerando que a plataforma possui um vasto conjunto de informações detalhadas na documentação disponível, optou-se pela inclusão da mesma na pesquisa.

(continuação)

Plataforma	Justificativa
Thingier.io	A plataforma de código aberto Thingier.io fornece uma solução completa para o desenvolvimento de aplicações de Internet das Coisas. Tem documentação disponível, entretanto, não possui um detalhamento satisfatório sobre sua arquitetura, por isso optou-se por não utilizá-la no estudo.
ThingsBoard	A plataforma de código aberto ThingsBoard fornece solução para a coleta de dados, o processamento, a visualização e o gerenciamento de dispositivos. Possui documentação detalhada disponível, o que permitiu a inclusão da plataforma na pesquisa.
ThingSpeak	A plataforma ThingSpeak permite que sejam realizados a coleta, o armazenamento, a visualização e a ação sobre os dados de sensores e atuadores. O diferencial da plataforma é que é desenvolvida pela MathWorks e, por isso, pode ser integrada com o MathLab para a análise dos dados coletados. Entretanto, a documentação disponível não traz o amontuado de informações necessário para a pesquisa e, por isso, a plataforma foi excluída do estudo.
PTC ThingWorx	A plataforma ThingWorx, da empresa PTC Inc., oferece uma suíte de funcionalidades para construção, implantação e gerenciamento de aplicações de Internet das Coisas. Possui documentação disponível e detalhada, porém, não foram encontradas informações específicas sobre a arquitetura da plataforma, por isso decidiu-se excluí-la da pesquisa.
WSO2	A plataforma WSO2 oferece uma solução ágil de integração e constitui uma estrutura ampla para desenvolver, reutilizar e gerenciar integrações. É arquitetada em torno de uma base de código comum de tecnologias de integração de código aberto. Seus componentes podem ser usados individualmente ou como uma plataforma coesa de integração ágil. Por conta das características da plataforma, que não constitui uma plataforma de Internet das Coisas de fato, optou-se por excluí-la do estudo.
Zetta	A plataforma de código aberto Zetta é baseada na tecnologia <i>Node.js</i> e oferece um <i>toolkit</i> completo para geração de APIs para os dispositivos. O detalhamento da documentação disponível se mostra insatisfatório e, por isso, optou-se pela exclusão da plataforma do estudo.

Fonte: Elaborado pela autora.

Foram selecionadas, originalmente, 24 plataformas de Internet das Coisas para realização do estudo de caso e, a partir da avaliação realizada, descrita no Quadro 4.1, constatou-se

que cinco delas — DeviceHive, KaaProject, LinkSmart, SiteWhere e ThingsBoard — apresentaram uma estrutura e um acervo de funcionalidades significativos, além de possuírem um detalhamento sobre sua arquitetura disponível em documentação específica, representando, dessa forma, o conjunto final de plataformas estudado.

5 RESULTADOS

Após definido o conjunto final de plataformas, foi realizada a leitura completa da documentação e a análise da arquitetura proposta por três delas, devido a restrições de tempo. Nas próximas seções é apresentada, para as plataformas DeviceHive, LinkSmart e SiteWhere, uma síntese da sua documentação, com destaque para o detalhamento da arquitetura empregada. Todas as informações descritas foram retiradas da documentação das plataformas, disponibilizada em seus respectivos sites oficiais, como pode ser verificado em [8], [12] e [13]. Por fim, são indicados elementos e funcionalidades, inferidos através das plataformas estudadas, para aplicação em uma possível arquitetura de referência para a Internet das Coisas. Além disso, são discutidas as consequências da aplicação dos elementos e funcionalidades identificados.

5.1 DeviceHive

A plataforma de código aberto DeviceHive visa possibilitar o gerenciamento de dispositivos inteligentes e a sua intercomunicação. A plataforma é baseada em microsserviços, "uma arquitetura [...] onde as aplicações são desmembradas em componentes mínimos e independentes [...] que funcionam em conjunto para realizar as mesmas tarefas" [21, 2018]. Além disso, a plataforma é escalável, independe do hardware e da nuvem utilizados e possui APIs para o gerenciamento de dispositivos, baseadas em diferentes protocolos, o que permite configurar e monitorar a conectividade dos dispositivos, controlá-los e analisar seu comportamento.

Os dispositivos podem se conectar à plataforma utilizando API REST, *WebSockets* ou o protocolo *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT). A estrutura da DeviceHive oferece suporte a bibliotecas escritas em várias linguagens de programação, incluindo Java, Node.js e Python, o que a torna independente de dispositivo, possibilitando inclusive a conexão de dispositivos de baixo nível, como o microcontrolador ESP8266, do fabricante chinês Espressif.

Todas as comunicações da plataforma são realizadas através de mensagens no formato *JavaScript Object Notation* (JSON). Além disso, para todos os serviços RESTful, a DeviceHive fornece o *Swagger*, um *framework* que possui ferramentas para o desenvolvimento de APIs, que permite testar a instalação e explorar as capacidades da plataforma. Os métodos fornecidos para implantação e operação da plataforma são: através das tecnologias *docker*, *docker-compose* ou *kubernetes* ou através da instalação manual.

A DeviceHive possui sua própria interface gráfica do usuário, o painel de administra-

ção. Ele permite criar os dispositivos, conectá-los a redes específicas, gerenciar usuários e gerar *JSON Web Tokens* (JWT), utilizados para o serviço de autenticação da plataforma. Também permite visualizar notificações recentes, enviar comandos para os dispositivos e modificar o tipo do dispositivo ou outras características técnicas. Além do painel de administração, a DeviceHive disponibiliza também um *datasource* para conexão à Grafana, plataforma utilizada para visualização, análise e monitoramento dos dados dos dispositivos.

Por ser um sistema de código aberto baseado em microsserviços, é permitida a realização de quaisquer mudanças na plataforma. Para contribuir com essas mudanças, existem os *plugins* DeviceHive, pequenas aplicações que recebem notificações da plataforma e implementam o caso de uso requisitado.

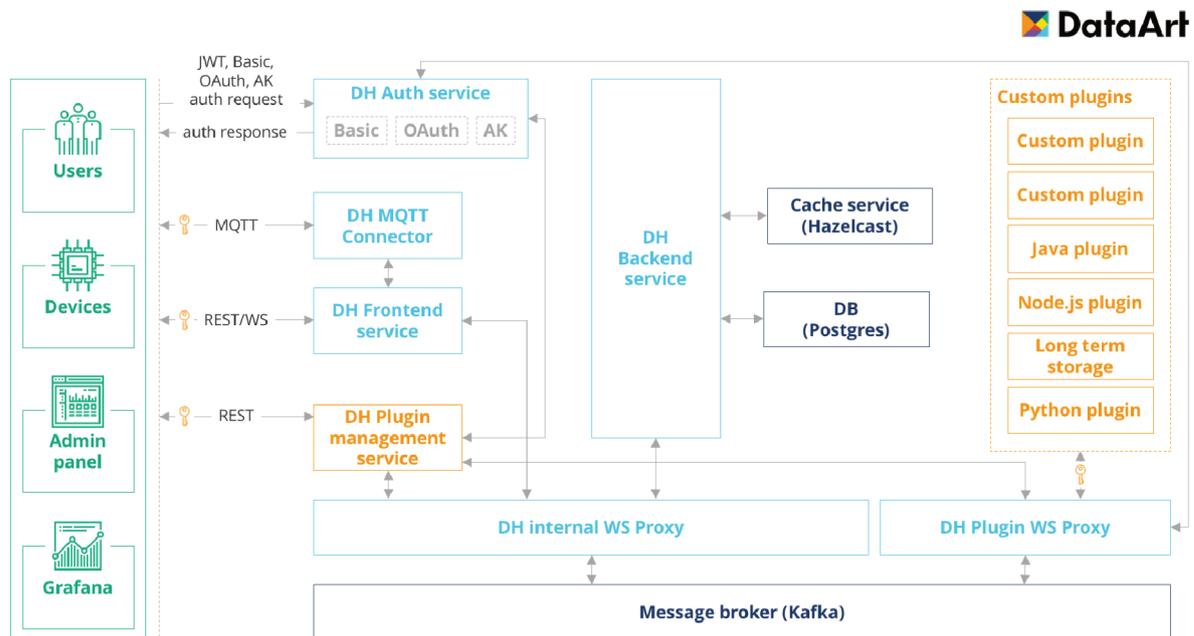
5.1.1 Arquitetura de Microsserviços DeviceHive

A construção da DeviceHive desenvolveu-se com ênfase nas questões de escalabilidade e disponibilidade. A plataforma permite a interconexão e é capaz de coletar dados de centenas de dispositivos simultaneamente. Além disso, pode ser escalonada para a quantidade necessária de instâncias, de forma a garantir a segurança e a disponibilidade dos dados. Na Figura 5.1 estão apresentados os componentes que constituem a arquitetura de microsserviços da plataforma DeviceHive e suas relações. Na sequência há uma descrição sucinta de cada componente.

Os papéis que podem se conectar com a plataforma são os usuários (*users*), os dispositivos (*devices*), a interface painel de administração (*admin panel*) e a plataforma Grafana. Como já mencionado, essa conexão pode ser feita através de API REST, de *WebSockets* ou do MQTT. Além disso, deve ser realizada uma requisição de autenticação para a plataforma, através do serviço de autenticação DeviceHive (*DH Auth Service*). Toda autenticação na plataforma é realizada através de *tokens* JWT. Os *tokens* contém todas as informações sobre privilégios de usuários, dispositivos disponíveis, redes e tipos de dispositivos. O serviço de autenticação fornece uma API RESTful para geração, validação e atualização desses *tokens*.

A DeviceHive tem um *plugin* específico (*DH MQTT Connector*) para suporte à utilização do protocolo de comunicação MQTT, que utiliza o padrão publicação/assinatura. Nesse padrão, existem dois tipos de entidades: o cliente, que pode ser qualquer tipo de dispositivo capaz de interagir com o *broker*, assinando tópicos de mensagem de interesse e publicando mensagens em tópicos específicos e o *broker*, que é um servidor que recebe as mensagens dos

Figura 5.1: Componentes arquiteturais da plataforma DeviceHive



Fonte: DeviceHive, 2018⁸.

clientes e as envia para os assinantes do tópico ao qual a mensagem pertence [26].

O serviço *front-end* (*DH Frontend Service*) fornece a API RESTful e a API *WebSocket* para conexão com a plataforma DeviceHive. Esse serviço é responsável pelas verificações preliminares, enviando requisições ao serviço *back-end* e entregando as respostas recebidas, de forma assíncrona. Além, disso também realiza algumas consultas simples ao banco de dados.

O serviço de gerenciamento de *plugins* (*DH Plugin Management Service*) é um microsserviço adicional da DeviceHive que permite gerenciar os comandos dos dispositivos e as assinaturas em um tópico específico do *broker*. O serviço é integrado com o *Swagger* para permitir que os *plugins* sejam registrados, removidos e atualizados.

O servidor *proxy WebSocket* é um componente do serviço de gerenciamento de *plugins*, desenvolvido em Node.js, que envolve algumas das funcionalidades essenciais do *broker* de mensagens, permitindo a comunicação com o *broker* através de *WebSockets*. O *proxy WebSocket* interno (*DH Internal WS Proxy*) estabelece a comunicação entre os microsserviços da plataforma DeviceHive. O *proxy WebSocket* de *Plugin* (*DH Plugin WS Proxy*) permite que os usuários comuniquem-se com os *plugins* criados.

A DeviceHive utiliza a plataforma Apache Kafka como o *broker* de mensagens. O Kafka

⁸Disponível em: <<https://files.readme.io/1a1bd86-Slide2.png>>. Acesso em: 22 nov. 2018.

cuida da comunicação entre os serviços e realiza o balanceamento de carga entre eles.

O serviço *back-end* (*DH Backend Service*) é responsável por armazenar os dados no serviço de cache e no banco de dados, gerenciar as assinaturas no *broker* e recuperar dados, da cache ou do banco de dados, requisitados por outros serviços. Todas as comunicações com o serviço *back-end* são realizadas através do *broker*, pois não há uma API pública de acesso.

O armazenamento em sistema de gerenciamento de banco de dados relacional é necessário para persistir todos os metadados. Isso inclui dados sobre dispositivos, redes, usuários, tipos de dispositivos e definições de configuração importantes, ou seja, todos os dados que não são de série temporal. Na DeviceHive, esse armazenamento é realizado através do PostgreSQL.

Para armazenar os dados de série temporal, a plataforma DeviceHive emprega a tecnologia *In-Memory Data Grid* (IMDG), que utiliza a memória como área de armazenamento enquanto uma tarefa estiver sendo processada, ao invés de gravar os dados diretamente no banco. Isso é realizado porque nem sempre é necessário armazenar dados desse tipo por um longo período de tempo, porém, o acesso imediato aos dados é sempre necessário. Para esse propósito, a DeviceHive utiliza o Hazelcast, que é uma IMDG de código aberto baseada em Java. Dessa forma, todas as mensagens são armazenadas utilizando o serviço de cache distribuído, para que o acesso seja mais rápido, e removidas dois minutos depois, por padrão.

5.2 LinkSmart

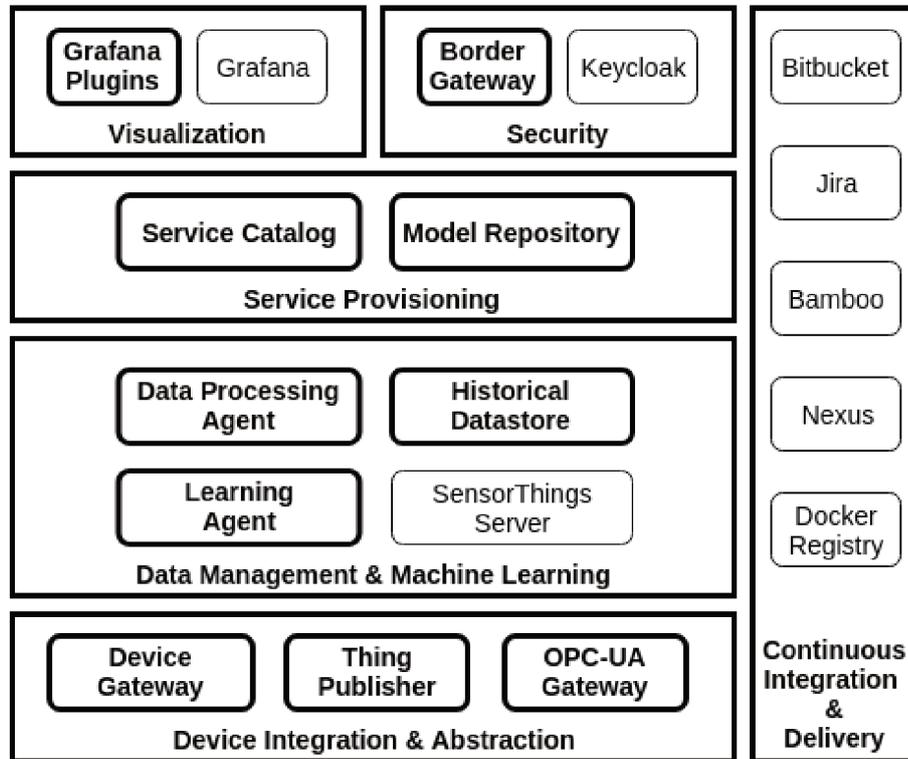
A LinkSmart é uma plataforma de código aberto para o desenvolvimento de aplicações de Internet das Coisas em diversos domínios, como cidades inteligentes, Indústria 4.0 e outros. A plataforma fornece blocos de construção como serviços para a implementação eficiente de aplicações na Internet das Coisas. Esses serviços incluem a abstração de dispositivos, o armazenamento de dados, o gerenciamento de dados em tempo real e serviços avançados como mineração de dados e aprendizado de máquina. Seguindo o padrão dos microsserviços, os serviços da LinkSmart podem ser unidos dependendo do caso de uso no qual serão aplicados.

5.2.1 Componentes da Arquitetura de Microsserviços

Na Figura 5.2 estão demonstrados os componentes que constituem a plataforma LinkSmart e a infraestrutura de desenvolvimento e operação. Os componentes da plataforma são agrupados nas categorias visualização, segurança, provisionamento de serviços, gerencia-

mento de dados e aprendizado de máquina e abstração e integração de dispositivos. Na sequência, é apresentado um breve detalhamento para cada uma das categorias.

Figura 5.2: Componentes da plataforma LinkSmart



Fonte: LinkSmart, 2018⁹.

Para a pronta visualização (*Visualization*) dos dados produzidos pelos dispositivos, a LinkSmart faz uso da plataforma Grafana e *plugins* relacionados.

Na segurança (*Security*), a plataforma oferece serviços para a autorização, autenticação e contabilização nos protocolos comuns da Internet das Coisas. Nesse sentido, o *gateway* de borda da LinkSmart (*Border Gateway*) fornece um ponto único de entrada para um sistema autônomo qualquer de Internet das Coisas, que é constituído por dispositivos conectados e seus serviços auxiliares. As principais funcionalidades do *gateway* de borda são:

- O *Security Socket Layer (SSL) offloading*, que consiste na realização de criptografia e descryptografia SSL em um servidor dedicado, na borda dos sistemas autônomos protegidos;
- A autenticação e autorização para requisições HTTP e MQTT, onde usuários e suas permissões podem ser definidos usando um Provedor de Identidade em conformidade com

⁹Disponível em: <<https://docs.linksmart.eu/display/HOME/What+is+LinkSmart>>. Acesso em: 24 nov. 2018.

o OpenID. Nesse sentido, o Keycloak é um exemplo de solução que pode ser utilizada como Provedor de Identidade;

- Permissões para requisições HTTP podem ser definidas no nível de *endpoints* REST e métodos HTTP autorizados;
 - Permissões para requisições MQTT podem ser definidas no nível de tópicos e comandos MQTT (publicar, assinar, etc.).
- O envio de requisições HTTP para os serviços internos pode ser realizado através da definição de pseudônimos;
 - Os endereços internos em respostas HTTP são traduzidos para endereços externos com os quais o requisitante é capaz de lidar.

Em uma infraestrutura de Internet das Coisas, o número de serviços e dispositivos pode crescer rapidamente e seus status e conectividade podem mudar de forma dinâmica. O provisionamento de serviços (*Service Provisioning*) da LinkSmart auxilia no gerenciamento de tal infraestrutura, acompanhando os dispositivos, serviços, sistemas e subsistemas em execução. Os componentes utilizados para o provisionamento de serviços são o catálogo de serviços (*Service Catalog*) e o repositório de modelos (*Model Repository*).

O catálogo de serviços é a porta de entrada para os serviços e outros componentes. Sua funcionalidade cobre principalmente o descobrimento de serviços disponíveis, como *brokers*, *gateways* e outros. O catálogo de serviços é uma API RESTful que permite o registro e a atualização dos serviços, a navegação nas entradas do catálogo para que aplicações e outros clientes descubram os serviços registrados, a recuperação de informações sobre serviços específicos e a filtragem de serviços, para clientes procurando por serviços de acordo com suas competências.

O repositório de modelos da LinkSmart é um serviço que fornece as operações de armazenamento e pesquisa para a documentação de modelo de domínio. O modelo de domínio é representado no formato *XML Metadata Interchange* (XMI) e diferentes representações, como JSON, são geradas e fornecidas por esse serviço.

Muitas aplicações de Internet das Coisas lidam com um grande volume de dados, gerado por sensores e outros dispositivos. Dependendo do caso de uso, esses dados precisam ser armazenados de forma simples e processados de maneira mais complexa. Os componentes de gerenciamento de dados e aprendizado de máquina (*Data Management & Machine Learning*)

levam em conta essa flexibilidade necessária e permitem coletar, armazenar e consultar de forma eficiente os dados de série temporal produzidos pelos sensores, além de realizar a mineração contínua dos dados, a análise sob demanda, o aprendizado contínuo e processamentos complexos. São componentes o armazenamento histórico de dados (*Historical Datastore*) e os agentes de processamento de dados (*Data Processing Agent*) e de aprendizado (*Learning Agent*).

O armazenamento histórico de dados da LinkSmart é um serviço modular para o armazenamento de dados de série temporal. A intenção do serviço é possuir múltiplas implementações usando diferentes *back-ends* e oferecendo diferentes níveis de funcionalidades implementadas. Diferentes implementações podem aceitar os dados originados dos sensores em diferentes formatos, e também suportar múltiplos formatos simultaneamente. Todas as implementações suportam o modelo de dados *Sensor Measurement Lists* (SenML) e podem oferecer formatos adicionais usando negociação via HTTP. Uma implementação completa do armazenamento histórico de dados oferece três APIs:

- API de registro: Realiza o registro dos metadados do sensor e dos detalhes acerca da coleta e armazenamento dos dados do sensor;
- API de dados: Realiza a submissão e a recuperação das medições brutas dos sensores;
- API de coleta: Realiza a recuperação das medições coletadas dos sensores.

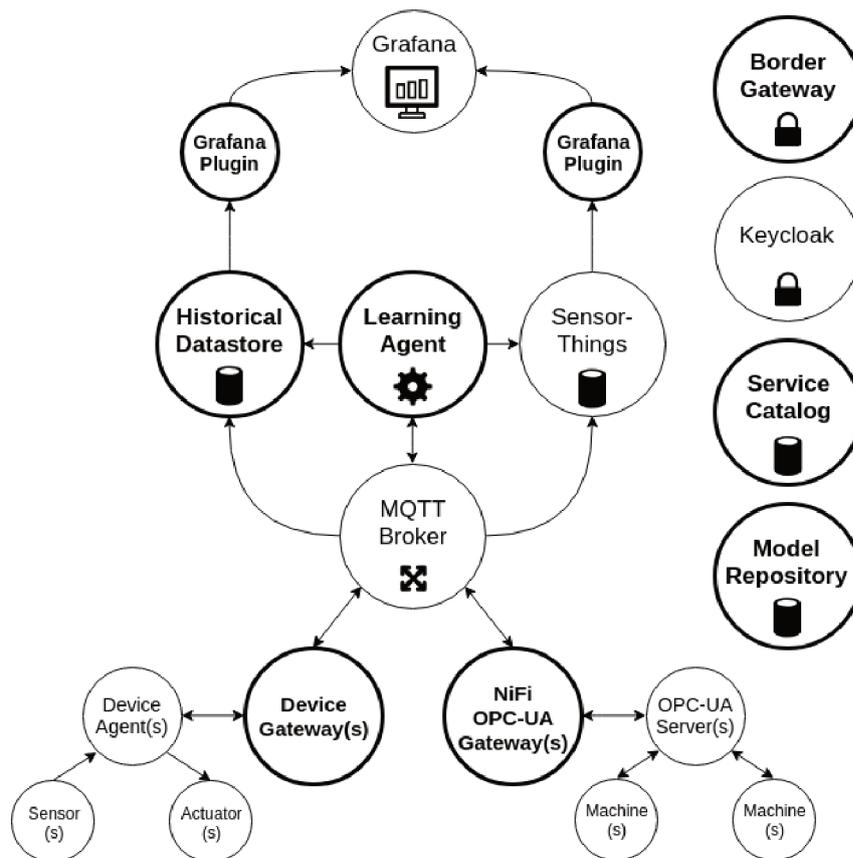
Os agentes de Internet das Coisas foram desenvolvidos para todos os tipos de processamento de dados com armazenamento reduzido, desde a anotação de dados até técnicas complexas de aprendizado de máquina. Os agentes atuam como um processador e parcialmente como um manipulador de mensagens, e são ideais para o gerenciamento inteligente e sob demanda dos dados ou para a análise dos ambientes de Internet das Coisas, desde a computação de borda até a computação em nuvem. Os agentes podem ser utilizados como um serviço autossuficiente de borda ou como um nodo computacional da nuvem e oferecem o processamento de eventos complexos como serviço e o aprendizado de máquina em tempo real como serviço.

Os serviços de abstração e integração de dispositivos (*Device Integration & Abstraction*) da LinkSmart são responsáveis por dois requisitos básicos da Internet das Coisas: a conexão de dispositivos ou subsistemas ao mundo da rede IP e a abstração dos dispositivos ou subsistemas em um formato unificado de API e dados. Para isso, a LinkSmart fornece os conectores *gateway* de dispositivo (*Device Gateway*), *Thing Publisher* e *NiFi OPC-UA Gateway*.

O *gateway* de dispositivo (*Device Gateway*) fornece uma implementação do conector de dispositivo, que por sua vez fornece a integração de dispositivos heterogêneos, simplificando a integração de diversos dispositivos de Internet das Coisas. Implementando a funcionalidade do conector de dispositivo, o *gateway* de dispositivo age como um intermediário entre o protocolo de acesso ao hardware de baixo nível e a rede TCP/IP. O *Thing Publisher* destina-se à exposição contínua dos dados de sensores proprietários no formato SensorThing do *Open Geospatial Consortium* (OGC). O *NiFi OPC-UA Gateway* consiste em um *gateway* baseado na arquitetura unificada OPC (*Open Platform Communications Unified Architecture*) e que utiliza o projeto NiFi da Apache.

Na Figura 5.3 está representado o fluxo de dados entre os diferentes componentes que compõem a plataforma LinkSmart. Os componentes que possuem um círculo em negrito são aqueles desenvolvidos pela própria plataforma.

Figura 5.3: Fluxo de dados entre os componentes da plataforma LinkSmart



Fonte: LinkSmart, 2018¹⁰.

¹⁰Disponível em: <<https://docs.linksmart.eu/display/HOME/LinkSmart+Dataflow>>. Acesso em: 24 nov. 2018.

5.3 SiteWhere

A SiteWhere é uma plataforma de código aberto para criação da infraestrutura e dos aplicativos que constituem a Internet das Coisas. Em sua versão 2.0, que foi a versão analisada nesse estudo, a plataforma adota uma abordagem completamente distribuída, usando micros-serviços para permitir o dimensionamento de componentes, de forma que o sistema possa se adaptar a um caso de uso específico. O sistema é construído através da abordagem de *framework*, utilizando APIs bem definidas, de forma que novas tecnologias podem ser facilmente integradas, à medida em que o ecossistema da Internet das Coisas evolui.

5.3.1 Visão Geral da Arquitetura de Microsserviços

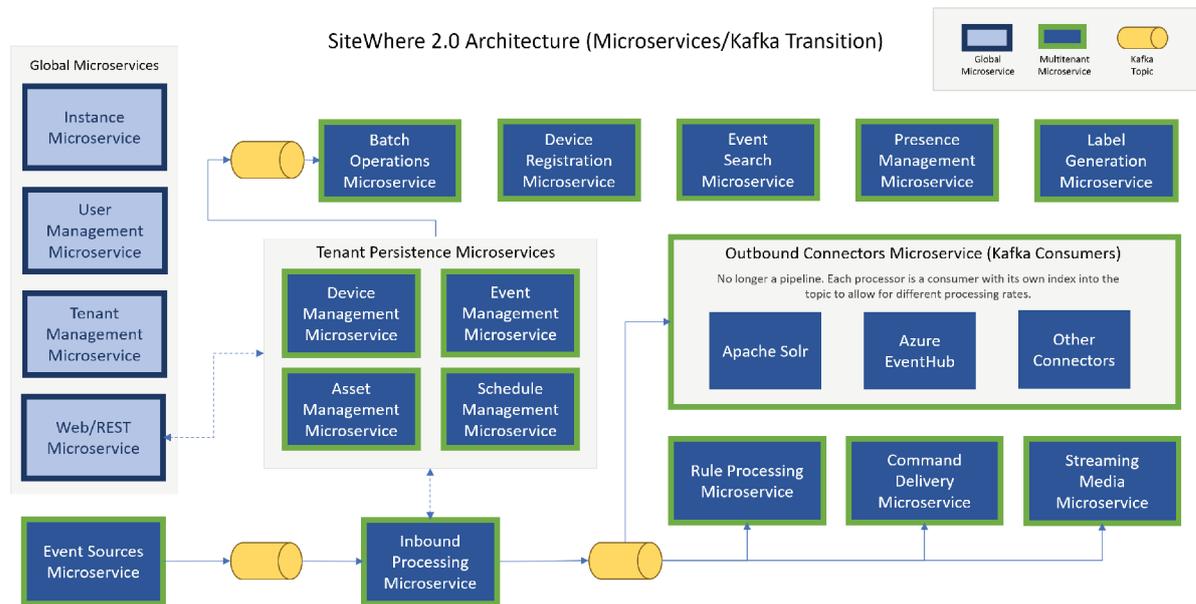
Na arquitetura de microsserviços da plataforma SiteWhere, cada microsserviço controla um subconjunto específico de funcionalidades que é claramente definido e planejado a partir do trabalho realizado por outros microsserviços. Isso permite que partes do sistema sejam dimensionadas independentemente, enquanto outras partes podem ser retiradas completamente, se não utilizadas. A abordagem de microsserviços também divide o código, fazendo com que seu entendimento e gestão sejam mais fáceis do ponto de vista de desenvolvimento. O diagrama da Figura 5.4 apresenta os microsserviços da plataforma e o fluxo geral de dados entre eles.

A conectividade e a troca de dados entre microsserviços na plataforma SiteWhere é realizada através do gRPC, um sistema de chamada remota ao procedimento desenvolvido pelo Google. A SiteWhere também introduz o conceito de demultiplexador de API, mecanismo capaz de analisar a topologia da instância atual e adicionar ou remover conexões entre micros-serviços dinamicamente. À medida em que o número de serviços é ampliado ou reduzido, a plataforma automaticamente conecta ou desconecta a ligação entre eles. Todas as comunicações entre microsserviços na plataforma são realizadas através desse mecanismo.

O SiteWhere utiliza o Hazelcast para fornecer uma cache distribuída para armazenamento de um subconjunto de dados principais, como dispositivos e atribuições, que raramente são atualizados. Essa cache é consultada antes de se executar uma requisição ao banco de dados, para tentar evitar o custo de uma leitura do banco.

Na sequência, são descritos os microsserviços principais incluídos na plataforma SiteWhere, conforme a Figura 5.4. Cada microsserviço controla uma área específica de funcionalidades do sistema e é independente de outros microsserviços em termos de tempo de

Figura 5.4: Diagrama de microsserviços da plataforma SiteWhere



Fonte: SiteWhere LLC, 2018.¹¹

execução, armazenamento de dados e configuração. Entretanto, alguns microsserviços tem dependências nas APIs oferecidas por outros microsserviços e não podem ser executados de forma isolada.

O microsserviço de gerenciamento de instâncias (*Instance Microservice*) é utilizado para a inicialização de uma instância da SiteWhere, com a definição da estrutura inicial de configuração do serviço centralizado Apache Zookeeper, que é exigida pelos outros microsserviços.

O microsserviço de gerenciamento global de usuários (*User Management Microservice*) fornece as principais APIs e a persistência dos dados utilizados para o gerenciamento dos usuários do sistema. É usado inicialmente pelo microsserviço de gerenciamento de instâncias para inicializar o sistema com os usuários base. Depois disso, é acionado pelo microsserviço Web/REST para permitir o gerenciamento da lista de usuários.

O microsserviço de gerenciamento de inquilinos¹² (*Tenant Management Microservice*) fornece as principais APIs e a persistência dos dados utilizados para o gerenciamento dos inquilinos do sistema. É usado inicialmente pelo microsserviço de gerenciamento de instâncias para inicializar o sistema com os inquilinos base. Depois disso, é acionado pelo microsserviço

¹¹Disponível em: <<http://sitewhere.io/docs/2.0.0-rc2/images/platform/microservices-diagram.png>>. Acesso em: 24 nov. 2018.

¹²"Inquilinos não são usuários individuais, mas empresas clientes do software." [5, 2010]

Web/REST para permitir o gerenciamento da lista de inquilinos do sistema.

O microsserviço de gerenciamento global Web/REST (*Web/REST microservice*) inclui o Apache Tomcat, que fornece infraestrutura para os serviços REST principais, incluindo as interfaces de usuário Swagger. Esse microsserviço é, geralmente, conectado a todos os outros microsserviços no sistema, para que as chamadas da API possam ser delegadas para os microsserviços responsáveis pela implementação das funcionalidades requisitadas.

O microsserviço multi-inquilinos ¹³ de gerenciamento de dispositivos (*Multitenant Device Management Microservice*) fornece as principais APIs e a persistência dos dados utilizados para o gerenciamento dos modelos de dispositivo (sites, especificações, dispositivos, grupos, etc.) para cada inquilino em uma instância da SiteWhere. O modelo de dispositivo é preenchido inicialmente com base nos scripts incluídos no *template* de inquilino, utilizado para a criação do inquilino.

O microsserviço multi-inquilinos de gerenciamento de eventos (*Multitenant Event Management Microservice*) fornece as principais APIs e a persistência dos dados utilizados para o gerenciamento dos eventos de dispositivo (localizações, medições, alertas, invocações de comandos, etc.) para cada inquilino em uma instância da SiteWhere. O modelo de evento de dispositivo é preenchido inicialmente com base nos scripts incluídos no *template* de inquilino, utilizado para a criação do inquilino.

O microsserviço multi-inquilinos de gerenciamento de ativos (*Multitenant Asset Management Microservice*) fornece as principais APIs e a persistência dos dados utilizados para o gerenciamento dos ativos para cada inquilino em uma instância da SiteWhere. O modelo de ativo é preenchido inicialmente com base nos scripts incluídos no *template* de inquilino, utilizado para a criação do inquilino.

O microsserviço multi-inquilinos de gerenciamento de cronograma (*Multitenant Schedule Management Microservice*) fornece as principais APIs e a persistência dos dados utilizados para o gerenciamento de cronograma para cada inquilino em uma instância da SiteWhere. O modelo de cronograma é preenchido inicialmente com base nos scripts incluídos no *template* de inquilino, utilizado para a criação do inquilino.

O microsserviço multi-inquilinos de operações em lote (*Multitenant Batch Operations Microservice*) fornece as principais APIs e a persistência dos dados utilizados para o gerenciamento das operações em lote para cada inquilino em uma instância da SiteWhere. O modelo

¹³Uma arquitetura multi-inquilinos [...] permite que múltiplos inquilinos [...] compartilhem os mesmos recursos físicos [...], mas permanecendo logicamente isolados." [5, 2010]

de operações em lote fica vazio até a inicialização dos inquilinos, mas pode ser preenchido invocando APIs que produzem operações em lote. Esse microsserviço ainda não está totalmente implementado.

O microsserviço multi-inquilinos de fontes de eventos (*Multitenant Event Sources Microservice*) hospeda os mecanismos de inquilino que podem ser configurados para processar dados de diferentes fontes. Alguns exemplos incluem o consumo de dados de tópicos MQTT, *WebSockets*, chamadas REST via PUSH ou PULL, entre outras fontes. Depois de processados, os eventos são decodificados em um modelo de dados padronizado e enviados para um tópico do Kafka específico do inquilino, para processamento adicional.

O microsserviço multi-inquilinos de processamento de entrada (*Multitenant Inbound Processing Microservice*) recebe os dados produzidos pelo microsserviço de fontes de eventos. Esse microsserviço valida os dados de entrada, interagindo com o microsserviço de gerenciamento de dispositivos para verificar se o evento de entrada está relacionado com um dispositivo registrado. A carga útil dos dados de entrada é enriquecida com dados sobre dispositivos ou atribuições e, dessa forma, as informações podem ser utilizadas em etapas de processamento subsequentes, sem a necessidade de consultá-las novamente. Se o dispositivo não está registrado, então a carga útil é enviada ao microsserviço de registro de dispositivos para processamento adicional. Depois que a carga dos eventos de entrada é enriquecida, os eventos são enviados para o microsserviço de gerenciamento de eventos, para persistência.

O microsserviço multi-inquilinos de registro de dispositivos (*Multitenant Device Registration Microservice*) recebe dados de um tópico do Kafka preenchidos pelo microsserviço de processamento de entrada quando os eventos fazem referência à identificação de hardware para um dispositivo que não está registrado no sistema. Cada mecanismo de inquilino tem um gerenciador de registro de dispositivos, que deve ser configurado para indicar como os dispositivos não registrados devem ser tratados.

O microsserviço multi-inquilinos de processamento de regras (*Multitenant Rule Processing Microservice*) recebe dados do tópico do Kafka que contém os eventos pré-processados e aplica lógicas condicionais para processar adicionalmente os eventos. Esse microsserviço ainda não está totalmente implementado.

O microsserviço multi-inquilinos de entrega de comandos (*Multitenant Command Delivery Microservice*) recebe dados do tópico do Kafka que contém os eventos pré-processados e, para invocações de comandos, controla o processamento dos comandos. Isso inclui o uso de

restrições de roteamento e destinos de comandos que indicam como os comandos devem ser codificados, qual transporte deve ser usado e onde os comandos devem ser entregues.

O microsserviço multi-inquilinos de conectores de saída (*Multitenant Outbound Connectors Microservice*) recebe dados do tópico do Kafka que contém os eventos pré-processados e permite que os dados dos eventos sejam encaminhados para outros pontos de integração de forma assíncrona.

O microsserviço multi-inquilinos de gerenciamento de presença (*Multitenant Presence Management Microservice*) recebe dados do tópico do Kafka que contém os eventos pré-processados e utiliza os dados dos eventos para atualizar o estado de presença do dispositivo. Cada mecanismo de inquilino tem um gerenciador de presença de dispositivos, que é responsável por determinar quando os dispositivos não estão mais presentes e acionar eventos de mudança de estado, que podem ser usados para ativar ações com base na presença ou ausência de um dispositivo.

O microsserviço multi-inquilinos de geração de etiquetas (*Multitenant Label Generation Microservice*) atende a requisições da API por recursos de etiquetas, como *QR codes*, códigos de barra e outras etiquetas de dispositivos customizadas. Cada mecanismo de inquilino tem um gerenciador de geração de símbolos, que pode ser customizado para gerar tipos específicos de saída, exclusivos para o inquilino.

O microsserviço multi-inquilinos de pesquisa de eventos (*Multitenant Event Search Microservice*) fornece uma API para pesquisar *datasources* externos que contém informações sobre eventos da SiteWhere em um formato não padronizado. Esse microsserviço ainda não está totalmente implementado.

O microsserviço multi-inquilinos de *streaming* de mídia (*Multitenant Streaming Media Microservice*) visa permitir o armazenamento de dados binários, como áudio e vídeo. Esse microsserviço ainda não está totalmente implementado.

5.4 Elementos e Funcionalidades Identificados

A partir da análise realizada sobre as três plataformas de Internet das Coisas, buscou-se identificar principalmente as características comuns a todas elas, que possam ser utilizadas em uma possível arquitetura de referência para a Internet das Coisas.

O principal fator a ser destacado é que todas as plataformas analisadas fundamentam sua estrutura na arquitetura de microsserviços. Como já mencionado, essa arquitetura faz uso

de componentes individuais e independentes, que desempenham funcionalidades específicas e que, quando agregados, constituem uma aplicação. Em seu artigo de 2016, Butzin *et. al* [4] previam a aproximação entre a arquitetura de microsserviços e a Internet das Coisas, por ambas possuírem o mesmo objetivo arquitetural.

Através da análise da estruturação em componentes das plataformas, conclui-se que o emprego de uma arquitetura baseada em microsserviços como referencial para o desenvolvimento de aplicações de Internet das Coisas contribui para a resolução de alguns dos principais desafios da Internet das Coisas, descritos no Capítulo 2.

A utilização de microsserviços permite que o sistema seja escalonado de forma prática e ágil, pois a inclusão de novos dispositivos e serviços, implica apenas na inclusão de uma nova instância de determinado microsserviço ou na criação de um novo microsserviço, evitando a complexidade da realização de mudanças em toda a infraestrutura do sistema. Outro desafio que pode ser solucionado com o uso da arquitetura de microsserviços é a disponibilidade, pois os componentes podem ser replicados nos pontos críticos da aplicação, sem a necessidade de se replicar todo o sistema, evitando impactos no desempenho. O gerenciamento também é facilitado, pois a manutenção de componentes individuais de software torna-se relativamente mais fácil do que a manutenção de um sistema unificado, por questões de desenvolvimento, como o tamanho do código, por exemplo. Além disso, a confiabilidade também é um ponto positivo da arquitetura de microsserviços, pois o impacto das falhas é menor se acontecem em um ambiente controlado, como é o caso dos componentes individuais, e utilizando essa abordagem dificilmente ocorrerá o comprometimento total do sistema.

Um indício significativo da ascensão da arquitetura de microsserviços é o fato de que a plataforma SiteWhere, que em sua versão anterior empregava a abordagem monolítica, utilizando módulos que juntos entregavam um único processo, responsável por todas as funções da plataforma, passou a implementar, em sua versão mais recente que ainda está em pré-lançamento, a arquitetura de microsserviços, justificando que a nova abordagem tem algumas vantagens em relação à anterior, como a escalabilidade e a criação de componentes que podem ser executados como processos individuais.

Outro fator observado através da análise das plataformas é a capacidade de adaptação a diferentes casos de uso, ou seja, espera-se que uma arquitetura de referência para a Internet das Coisas seja capaz de adaptar-se aos diferentes cenários onde aplicações de Internet das Coisas possam ser empregadas. Nesse sentido, a arquitetura de microsserviços também demonstra

certa vantagem, pois permite que sejam criados os mais diversos serviços, que podem possuir funcionalidades específicas. E então, para a construção de uma aplicação para determinado cenário, são acoplados apenas os serviços que possuem funcionalidades apropriadas e necessárias para a aplicação. Além de facilitar o desenvolvimento dessas aplicações específicas, esse método não compromete a natureza de uso geral da arquitetura.

Foi possível analisar também que a abordagem publicação/assinatura, através do protocolo MQTT, é um dos principais métodos utilizados para troca de mensagens no desenvolvimento de aplicações de Internet das Coisas. O artigo de Yokotani e Sasaki [25] traz, inclusive, uma fundamentação que sustenta a afirmação de que o protocolo MQTT tem uma performance para a Internet das Coisas melhor do que o HTTP. No artigo, as autoras apresentam dois cenários de comparação entre o MQTT e o HTTP, no primeiro cenário é avaliada a largura de banda necessária de acordo com o número de dispositivos e o número de tópicos, no segundo cenário é avaliada a largura de banda necessária de acordo com o volume de dados. A partir dos cenários avaliados, as autoras indicam que o número de bytes da transmissão depende do número de dispositivos conectados em um servidor e, além disso, os resultados obtidos implicam que o *overhead* do protocolo HTTP é maior do que o *overhead* do protocolo MQTT, como pode ser observado nos gráficos apresentados no artigo. Em particular, se o número de dispositivos conectados aumenta, como é comum em aplicações de Internet das Coisas, o *overhead* é crítico no protocolo HTTP. Ademais, o artigo fundamenta o fato de que o protocolo MQTT exige menos recursos de um servidor, em relação ao protocolo HTTP. Dessa forma, conclui-se também que uma arquitetura de referência deve priorizar a implementação do protocolo MQTT para comunicação.

6 CONCLUSÃO

A Internet das Coisas é uma área em constante expansão, que promete contribuir de forma significativa para a evolução e a modernização de diversos setores. Nesse sentido, a realização de pesquisas sobre os tópicos relacionados à Internet das Coisas é de suma importância para a consolidação da área. A definição de uma arquitetura de referência, um dos principais tópicos discutidos atualmente, é fundamental para a padronização de tecnologias e requisitos necessários para a implementação de soluções para a Internet das Coisas.

Existem diferentes iniciativas que tem como objetivo a definição de uma arquitetura de referência para a Internet das Coisas. Nesse trabalho, foram avaliadas três plataformas de Internet das Coisas, selecionadas a partir de um conjunto original de 24 plataformas, para identificar, nas respectivas propostas de arquitetura, elementos e funcionalidades para implementação em uma arquitetura de referência, visando contribuir com o estado da arte das iniciativas supramencionadas.

Como resultados, concluiu-se que a implementação de uma arquitetura baseada em microsserviços pelas aplicações de Internet das Coisas traz diversas vantagens em relação aos demais métodos, incluindo a resolução ou abrandamento de desafios como a escalabilidade, a disponibilidade e o gerenciamento. Além disso, inferiu-se também que o protocolo de comunicação mais indicado para utilização em aplicações de Internet das Coisas é o MQTT.

6.1 Trabalhos Futuros

Como sugestões de trabalhos para complementação do estudo realizado estão:

- Realizar o estudo de caso das outras duas plataformas — KaaProject e ThingsBoard —, que não foram utilizadas no estudo atual por questão de limitação de tempo. Comparar a análise das outras duas plataformas com as conclusões feitas no presente estudo;
- Implementar as cinco plataformas em um caso de uso real para, dessa forma, analisar as diferenças arquiteturais na prática e elencar as vantagens e desvantagens das diferentes abordagens.

REFERÊNCIAS

- [1] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, and M. Ayyash. Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, 17(4):2347–2376, Fourthquarter 2015.
- [2] I. S. Association. P2413 - standard for an architectural framework for the internet of things (iot). Disponível em: <<https://standards.ieee.org/project/2413.html>>. Acesso em: 18 nov. 2018.
- [3] I. S. Association. Standard for an architectural framework for the internet of things (iot). Setembro 2016. 17 slides. Disponível em: <<http://grouper.ieee.org/groups/2413/Intro-to-IEEE-P2413.pdf>>. Acesso em: 23 jun. 2018.
- [4] B. Butzin, F. Golasowski, and D. Timmermann. Microservices approach for the internet of things. In *2016 IEEE 21st International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*, pages 1–6, Sept 2016.
- [5] C. T. G. E. Chede. Entendendo o modelo multi-tenancy. Disponível em: <https://www.ibm.com/developerworks/community/blogs/ctaurion/entry/entendendo_o_modelo_multi-tenancy?lang=en>. Acesso em: 24 nov. 2018.
- [6] I. I. Consortium. The industrial internet of things. volume g1: Reference architecture [online]. Disponível em: <https://www.iiconsortium.org/IIC_PUB_G1_V1.80_2017-01-31.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2018.
- [7] C. T. Q. de Moraes, J. V. de Lima, and S. R. K. Franco. *Conceitos sobre Internet e Web*. Educação A Distância. Editora da UFRGS, Porto Alegre, 1 edition, 2012.
- [8] DeviceHive. Guides devicehive. Disponível em: <<https://docs.devicehive.com/docs>>. Acesso em: 22 nov. 2018.
- [9] J. Guth, U. Breitenbücher, M. Falkenthal, F. Leymann, and L. Reinfurt. Comparison of iot platform architectures: A field study based on a reference architecture. In *2016 Cloudification of the Internet of Things (CIoT)*, pages 1–6, Nov 2016.

- [10] R. Khan, S. U. Khan, R. Zaheer, and S. Khan. Future internet: The internet of things architecture, possible applications and key challenges. In *2012 10th International Conference on Frontiers of Information Technology*, pages 257–260, Dec 2012.
- [11] B. M. Leiner, V. G. Cerf, D. D. Clark, R. E. Kahn, L. Kleinrock, D. C. Lynch, J. Postel, L. G. Roberts, and S. Wolff. A brief history of the internet. *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, 39(5):22–31, Oct. 2009.
- [12] LinkSmart. Linksmart[®] docs. Disponível em: <<https://docs.linksmart.eu/>>. Acesso em: 22 nov. 2018.
- [13] S. LLC. Sitewhere ce 2.0.0-rc2 documentation. Disponível em: <<http://sitewhere.io/docs/2.0.0-rc2/>>. Acesso em: 22 nov. 2018.
- [14] H. P. E. D. LP. O que é arquitetura de referência? Disponível em: <<https://www.hpe.com/br/pt/what-is/reference-architecture.html>>. Acesso em: 10 jun. 2018.
- [15] O. Mazhelis and P. Tyrväinen. A framework for evaluating internet-of-things platforms: Application provider viewpoint. In *2014 IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, pages 147–152, March 2014.
- [16] J. Mineraud, O. Mazhelis, X. Su, and S. Tarkoma. A gap analysis of internet-of-things platforms. *Computer Communications*, 89-90:5 – 16, 2016. Internet of Things Research challenges and Solutions.
- [17] D. Miorandi, S. Sicari, F. D. Pellegrini, and I. Chlamtac. Internet of things: Vision, applications and research challenges. *Ad Hoc Networks*, 10(7):1497 – 1516, 2012.
- [18] F. E. Project. Internet of things architecture (iot-a) [online]. Disponível em: <<https://iotforum.org/wp-content/uploads/2014/09/D1.5-20130715-VERYFINAL.pdf>>. Acesso em: 23 jun. 2018.
- [19] P. Raj and A. C. Raman. *The Internet of things : enabling technologies, platforms, and use*. Taylor & Francis, CRC Press, Boca Raton, FL, 2017.
- [20] P. P. Ray. A survey of iot cloud platforms. *Future Computing and Informatics Journal*, 1(1):35 – 46, 2016.

- [21] I. Red Hat. Introdução aos microsserviços. Disponível em: <<https://www.redhat.com/pt-br/topics/microservices>>. Acesso em: 23 nov. 2018.
- [22] H. M. Team. 9 best & top open source iot platforms to develop the iot projects. Disponível em: <<https://www.how2shout.com/tools/best-opensource-iot-platforms-develop-iot-projects.html>>. Acesso em: 18 jun. 2018.
- [23] Techopedia. Internetworking. Disponível em: <<https://www.techopedia.com/definition/7788/internetworking>>. Acesso em: 17 jun. 2018.
- [24] M. Weyrich and C. Ebert. Reference architectures for the internet of things. *IEEE Software*, 33(1):112–116, Jan 2016.
- [25] T. Yokotani and Y. Sasaki. Comparison with http and mqtt on required network resources for iot. In *2016 International Conference on Control, Electronics, Renewable Energy and Communications (ICCEREC)*, pages 1–6, Sept 2016.
- [26] M. Yuan. Conhecendo o mqtt. Disponível em: <<https://www.ibm.com/developerworks/br/library/iot-mqtt-why-good-for-iot/index.html>>. Acesso em: 24 nov. 2018.
- [27] M. Zdravković, M. Trajanović, J. Sarraipa, R. Jardim-Gonçalves, M. Lezoche, A. Aubry, and H. Panetto. Survey of Internet-of-Things platforms. In *6th International Conference on Information Society and Technology, ICIST 2016*, volume 1, pages 216–220, Kopaonik, Serbia, Feb. 2016. ISBN: 978-86-85525-18-6.