

FLÁVIO AUGUSTO TEIXEIRA

**PROJETO DA CAMADA DE COMUNICAÇÃO DE UM MIDDLEWARE
PARA UM AMBIENTE DE IoT**

Monografia apresentada ao PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para conclusão do curso de MBA em Tecnologia de Software.

São Paulo
2017

FLÁVIO AUGUSTO TEIXEIRA

**PROJETO DA CAMADA DE COMUNICAÇÃO DE UM MIDDLEWARE
PARA UM AMBIENTE DE IoT**

Monografia apresentada ao PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para a conclusão do curso de MBA em Tecnologia de Software.

Área de Concentração: Tecnologia de Software

Orientador: Prof. Dr. Jorge Risco Becerra

São Paulo
2017

Catálogo-na-publicação

Teixeira, Flávio Augusto

PROJETO DA CAMADA DE COMUNICAÇÃO DE UM MIDDLEWARE
PARA UM AMBIENTE DE IoT / F. A. Teixeira – São Paulo, 2017.
63 p.

Monografia (MBA em Tecnologia de Software) - Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo. PECE – Programa de Educação Continuada em
Engenharia.

1.Arquitetura de software 2.Internet das coisas 3.Middleware
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. PECE – Programa de
Educação Continuada em Engenharia II.t.

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho aos meus
familiares, amigos e minha noiva, que
sempre me incentivaram para que
pudesse concluí-lo.*

AGRADECIMENTOS

À Deus, que sempre está ao meu lado, dando forças para que eu conquiste meus objetivos e iluminando o meu caminho para que eu possa trilhá-lo.

À Universidade de São Paulo – USP pela oportunidade que pude vivenciar sua estrutura que proporciona uma boa educação ajudando aumentar meus conhecimentos na área de engenharia de software.

À minha família e amigos que realmente se importam com minhas conquistas.

Ao Prof. Dr. Jorge Risco Becerra, por sua orientação e dedicação a este trabalho.

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo para a criação de uma arquitetura de um middleware de comunicação para dispositivos de internet das coisas onde o contexto apresentado é o de medição de consumo de energia elétrica em equipamentos eletrônicos.

Esta arquitetura de middleware possui muitas camadas. No entanto, o foco principal deste trabalho é a definição e implementação da camada de comunicação.

O desenvolvimento da arquitetura foi dividido em duas partes: a contextualização trazendo modelos para o entendimento da solução baseada em uma técnica de arquitetura e a implementação, baseada em disponibilização dos dados gerados pelos dispositivos fazendo uso de serviços REST.

ABSTRACT

This work presents a study for the creation of an architecture of communication middleware of Internet of things where the context presented will be the measurement of consumption of electric energy in electronic equipment.

This structure has many layers, however, the main focus of this work was a definition and creation of the communication layer.

The development of the architecture was divided in two parts: the contextualization bringing models for the understanding of the solution based on an architecture technique and the implementation based on the availability of the data generated by the devices making use of REST services.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Pág.

Figura 1 – Estimativa de dispositivos conectados à Internet no futuro.....	17
Figura 2 – Modelo arquitetural de um middleware de comunicação de IoT.....	19
Figura 3 – Modelo conceitual.....	26
Figura 4 – Modelo processo negócio de consulta de dados.....	29
Figura 5 – Modelo processo negócio de busca de novos dispositivos.....	30
Figura 6 – Ponto de vista da informação.....	31
Figura 7 – Modelo computacional.....	32
Figura 8 – Modelo de infraestrutura.....	34
Figura 9 – Modelo tecnológico.....	36
Figura 10 – Modelo de arquitetura em camadas do middleware.....	38
Figura 11 – Modelo da camada de comunicação.....	41
Figura 12 – Descoberta dos dispositivos.....	42
Figura 13 – Integração dos dispositivos.....	44
Figura 14 – Representação da camada de comunicação.....	45
Figura 15 – Diagrama de modelagem de entidades da camada de comunicação.	48
Figura 16 – Modelo de implementação.....	50
Figura 17 – Diagrama de classes	52
Figura 18 – Exemplo da disponibilização dos dados.....	57
Figura 19 – Tabela dispositivo.....	59
Figura 20 – Tabela metadado.....	59
Figura 21 – Código consulta de consumo de energia.....	60

LISTA DE TABELAS

Pág.

Tabela 1 – Métodos do protocolo HTTP	23
Tabela 2 – Principais códigos de retorno HTTP.....	24
Tabela 3 – Exemplos de serviços para disponibilização dos dados gerados.....	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IoT	Internet of Things
SOA	Service-Oriented Architecture
WCF	Windows Communication Foundation
REST	Representational State Transfer
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
MER	Modelo de Entidade e Relacionamento
UML	Unified Modeling Language
GPS	Global Positioning System
MAC	Media Access Control
BPMN	Business Process Modeling Notation
URL	Uniform Resource Locator
URI	Uniform Resource Identifier
KWH	Quilowatt-hora
HTML	HyperText Markup Language
IP	Internet Protocol
PECE	Programa de Educação Continuada
USP	Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

	Pág.
1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Contexto inicial.....	12
1.2 Problema.....	13
1.3 Objetivo.....	14
1.4 Justificativa.....	14
1.5 Conteúdo da monografia.....	15
 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA... ..	 16
2.1 Internet das coisas (IoT).....	16
2.2 Middleware para internet das coisas.....	18
2.2.1 Modelo arquitetural do middleware de comunicação de IoT.....	19
2.3 REST.....	22
2.4 Protocolo HTTP.....	23
2.5 Considerações do Capítulo.....	24
 3. MIDDLEWARE DE COMUNICAÇÃO DE INTERNET DAS COISAS.....	 25
3.1 Modelo conceitual.....	26
3.2 Fases da definição da arquitetura.....	28
3.3 Modelo do processo do negócio.....	29
3.4 Modelo de informação.....	31
3.5 Modelo computacional.....	32
3.6 Modelo de infraestrutura.....	34
3.7 Modelo tecnológico.....	36
3.8 Arquitetura do middleware.....	38
3.8.1 Detalhamento da camada de comunicação.....	40
3.8.2 Modelo da camada de comunicação.....	41
3.8.2.1 Descoberta dos dispositivos.....	42
3.8.2.2 Integração com os dispositivos.....	44
3.8.2.3 Representação da camada de comunicação.....	45
3.9 Considerações do capítulo.....	46

4. IMPLEMENTAÇÃO DO MIDDLEWARE.....	47
4.1 Modelo relacional	48
4.2 Modelo de implementação.....	50
4.3 Diagrama de classes.....	52
4.4 Resultados da implementação	55
4.4.1 Disponibilização de serviços.....	55
4.4.2 Disponibilização dos dados pelos dispositivos de IoT.....	56
4.4 Considerações do capítulo.....	61
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	62
REFERÊNCIAS	63

1. INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta o contexto inicial, o problema, o objetivo, a justificativa e a estrutura do trabalho.

1.1 Contexto inicial

A necessidade de energia é cada vez maior para a humanidade e este assunto é frequentemente discutido por pesquisadores que buscam formas de diminuir o seu consumo ou outros meios de produzir mais energia de forma limpa e sustentável, levando o tema até mesmo em reuniões com líderes mundiais [4].

Com o uso de dispositivos como sensores de coleta de consumo de energia, é possível saber ao certo e em tempo real o consumo de energia de um equipamento eletrônico e criar ações estratégicas para se obter o melhor consumo de energia destes equipamentos.

Os dados gerados por esses dispositivos, na maioria das vezes, só agregarão valor aos negócios se forem disponibilizados em rede. Após a disponibilização destes dados, os mesmo podem ser analisados por pessoas ou outros sistemas que necessitam destas informações.

A motivação deste trabalho está no contexto de um sistema de supervisão e controle de energia e é criar um meio de comunicação entre os dispositivos inteligentes de IoT e sistemas externos, disponibilizando formas de acesso aos dados gerados pelos dispositivos.

1.2 Problema

Grandes quantidades de dispositivos de IoT conectados em uma rede fazem com que a comunicação com todos fique complexa, devido à heterogeneidade dos dispositivos, pois cada um poderá possuir diferentes formas de acessos para obter seus dados.

Para coleta dos dados gerados pelos dispositivos de IoT será necessário a comunicação direta com cada um, fazendo com que um sistema externo por exemplo deva conectar-se com cada dispositivo diretamente tornando-se uma tarefa difícil e trabalhosa. Dentro deste contexto existe um elemento denominado Middleware que permite a interoperabilidade entre todos estes elementos.

A necessidade do gerenciamento deste middleware de dispositivos inteligentes de IoT é de grande importância, pois será necessário descobrir estes dispositivos de IoT ao serem conectados à rede, como por exemplo sensores de medição de consumo de energia, comunicar-se com os mesmos e disponibilizar acesso aos dados gerados de forma padronizada [5].

Dentro do projeto de middleware, o problema está na realização de um projeto sistemático e nesse sentido este trabalho utiliza técnicas baseadas nos conhecimentos adquiridos no curso de especialização oferecido pela Universidade de São Paulo.

1.3 Objetivo

O objetivo deste trabalho é a criação de uma arquitetura para um middleware de comunicação de dispositivos de internet das coisas.

A arquitetura deste middleware possuirá várias camadas para seu funcionamento, no entanto, o foco neste trabalho será a criação da camada de comunicação desta arquitetura, fazendo com que a descoberta dos dispositivos, a comunicação com os mesmos e a disponibilização de seus dados seja atendida.

O contexto de medição de consumo de energia elétrica será utilizado para realização do projeto desta arquitetura.

1.4 Justificativa

De acordo com estudos [5], para atender as necessidades arquiteturais de uma rede de dispositivos inteligentes de internet das coisas, foi definida uma arquitetura para um middleware de comunicação de dispositivos de IoT. Esta arquitetura é dividida em camadas. Cada camada deve desempenhar seu papel de forma independente, gerando alta coesão e baixo acoplamento.

Outros estudos no contexto de medição de consumo de energia elétrica em equipamentos eletrônicos [4], revelam a exigência de uma camada de comunicação com os dispositivos, pois a mesma deve possuir um gerenciamento em tempo real [4].

Gerenciar medidores de consumo de energia exigirá que a camada de comunicação desempenhe algumas funções consideradas de grande importância, como o descobrimento dos dispositivos de medição de consumo, a integração com os mesmos e disponibilização de seus dados.

1.5 Conteúdo da monografia

O primeiro capítulo apresenta a introdução ao contexto inicial da monografia, trazendo o problema encontrado, o objetivo que será proposto, a justificativa da proposta e a estrutura do trabalho.

O segundo capítulo apresenta a revisão bibliográfica com tópicos de estudos relacionados para a construção deste trabalho.

O terceiro capítulo apresenta o desenvolvimento do trabalho descrevendo a arquitetura da camada de comunicação do middleware.

O quarto capítulo apresenta a implementação do middleware de comunicação de dispositivos de IoT.

O quinto capítulo apresenta as considerações finais deste trabalho.

As referências bibliográficas serão apresentadas por último e tem como o objetivo ceder os artigos e documentos utilizados na construção deste trabalho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo tem como objetivo conceder estudos e conceitos relevantes sobre IoT, Middleware, REST e protocolo HTTP, para entendimento da proposta da monografia.

2.1 Internet das coisas (IoT)

O conceito de internet das coisas provém à conexão de todos os dispositivos com a internet, o termo "coisas" se refere aos dispositivos inteligentes interligados com qualquer tipo e propósito que podem ser localizados em qualquer lugar e interagir uns com os outros [6]. Desde sua concepção, internet das coisas chegou a ser considerado a próxima onda da indústria da informação depois do computador, internet e comunicação celular [5].

Internet das coisas proporciona um mundo para criar ambientes altamente ágeis e dinâmicos que tornam sistemas no contexto de energia, transportes, saúde, entre outros, mais inteligentes, ou seja, trazendo maiores benefícios aos seus usuários sem a necessidade de interagir diretamente com as coisas.

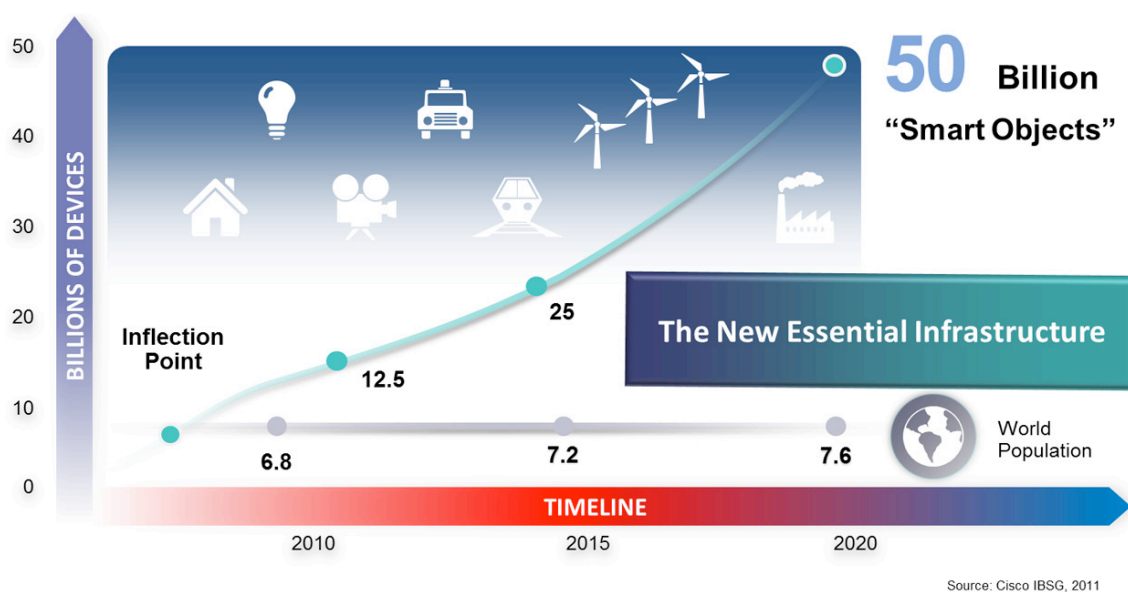
Os dispositivos de IoT são inteligentes e podem tomar decisões relacionadas a um determinado contexto, graças ao fato de que estes dispositivos podem gerar informações sobre si mesmos ou pode acessar informações que foram agregadas por outros dispositivos na rede. [7]

O número de dispositivos inteligentes conectados à internet ultrapassou o número de seres humanos no planeta em 2011, e até o ano de 2020, os dispositivos conectados à Internet deverão totalizar entre vinte e seis bilhões até cinquenta bilhões. [7]

Para cada PC ou telefone conectado à Internet, haverá entre cinco a dez outros tipos de dispositivos vendidos com conectividade nativa na Internet.

A figura 1 mostra a projeção para os próximos anos constando a quantidade de dispositivos que estarão conectados à internet.

Figura 1: Estimativa de dispositivos conectados à Internet no futuro



Fonte: (River Publishers, 2015)

De acordo com a figura 1, a expectativa de crescimento na quantidade de dispositivos de IoT, eleva a necessidade de um middleware de comunicação com os mesmos, podendo tomar decisões estratégicas com os dados gerados para diferentes contextos, como por exemplo o de consumo de energia elétrica.

2.2 Middleware para internet das coisas

Um middleware de internet das coisas é capaz de exercer várias atividades para atender uma grande variedade e quantidade de dispositivos de uma rede de IoT, independente do contexto de negócio.

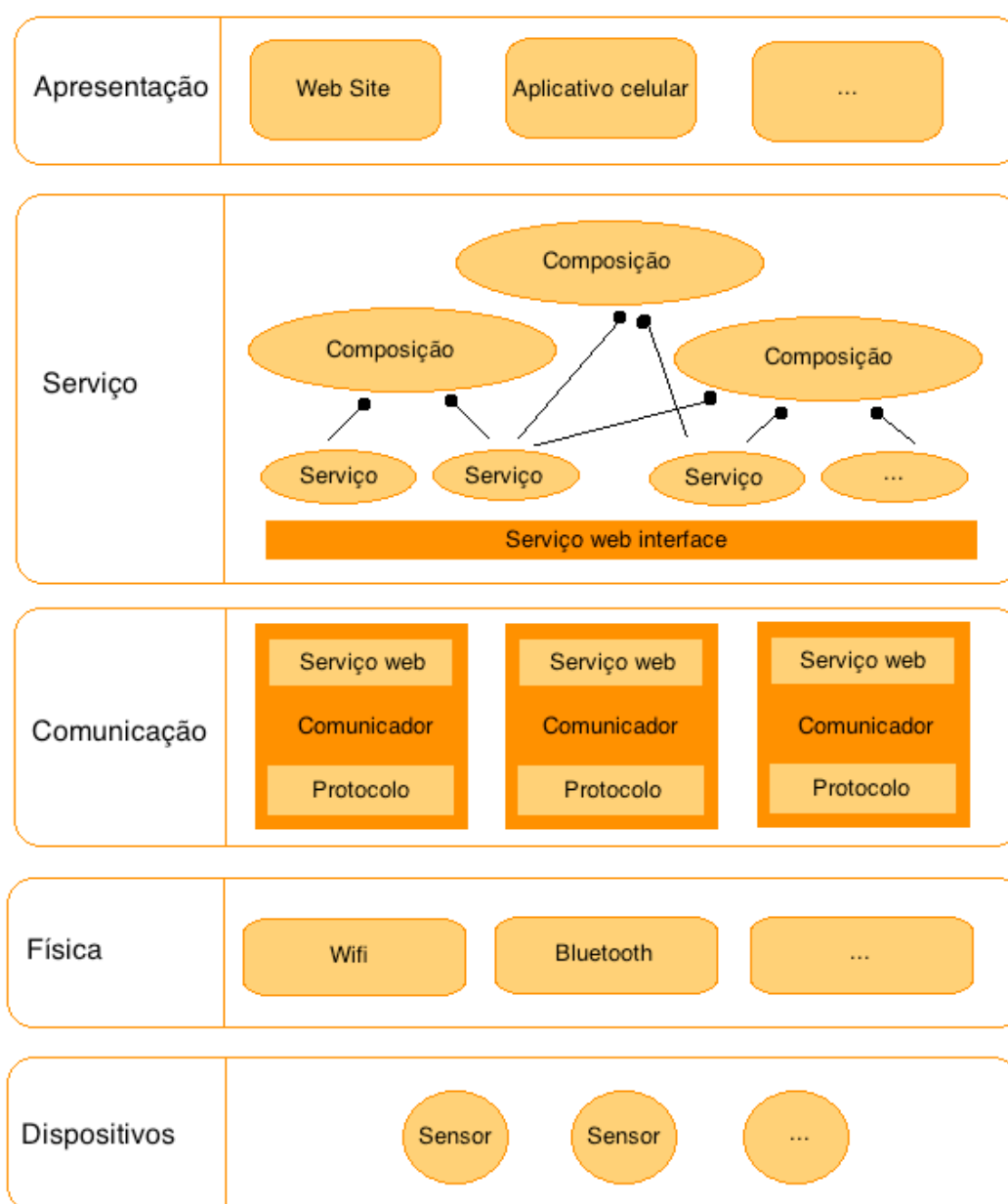
O middleware para internet das coisas deve atender os requisitos que são considerados importantes [3][4][5] tais como: Gerenciar os dados gerados pelos dispositivos, adicionar regras de acordo com o contexto de negócio proposto, gerenciar o descobrimento de novos dispositivos, fazer a comunicação com todos os dispositivos, prover a disponibilização de serviços para consulta dos dados gerados pelos dispositivos, prover privacidade e segurança dos dados gerados pelos dispositivos, entre outros.

Cada requisito citado pode ser abstraído em camadas, onde as mesmas devem exercer seus papéis de forma separadas, gerando uma alta coesão e baixo acoplamento, podendo abstrair a heterogeneidade de algumas informações e gerando a possibilidade de ser escalável horizontalmente, ou seja, ter vários módulos para atender o mesmo requisito ao mesmo tempo.

2.2.1 Modelo arquitetural do middleware de comunicação de IoT

Um modelo arquitetural para um middleware de comunicação de dispositivos de internet das coisas deve unir todas as camadas que representam requisitos de um sistema. Na figura 2 temos como base o modelo arquitetural para um middleware de comunicação de dispositivos de internet das coisas [5].

Figura 2: Modelo arquitetural para um middleware de comunicação de IoT



Fonte: (Wang Zhiliang, Yang Yi, Wang Lu, e Wang Wei, 2011)

De acordo com o modelo arquitetural apresentado na figura 2, podemos perceber as camadas que o middleware de comunicação de internet das coisas deve unir. Abaixo consta a descrição de cada camada apresentada no modelo com maiores detalhes:

- **Camada dos dispositivos:**

Esta camada é consistida por dispositivos de diferentes tipos e diferentes finalidades que possuem a capacidade de enviar ou receber informações.

- **Camada física:**

Responsável por fazer a comunicação física com a camada dos dispositivos, ou seja, esta camada estabelecerá uma conexão com os dispositivos da rede por meio do protocolo que os mesmos operam, como por exemplo bluetooth ou wifi.

- **Camada de comunicação:**

O papel desta camada é prover a captação dos dados fornecidos pelos dispositivos e disponibilizá-los em serviços de forma unificada, anulando a heterogeneidade da consulta e respostas dos dados.

- **Camada de serviço:**

Esta camada faz a transformação dos dados gerados pelos dispositivos da rede, ou seja, na camada de comunicação os dados chegam de forma bruta, e nesta camada será possível fazer a inclusão de regras de acordo com o contexto do negócio do sistema, e assim, disponibilizar novos serviços gerando maior valor agregado para o contexto do negócio.

- **Camada de apresentação:**

Esta camada provê disponibilizar formas de exibição dos dados gerados pela camada de serviço, podendo ser por via de uma página web ou um aplicativo mobile.

2.3 REST

REST é um estilo arquitetural, onde possibilita implementar o conceito de SOA, no entanto o mesmo faz a utilização do protocolo HTTP. Os métodos deste protocolo, tais como, GET, PUT, POST e DELETE poderão ser utilizados [4].

SOA é um conceito arquitetural que visa formas de disponibilização de serviços e é possível implementar esse conceito utilizando tecnologias disponíveis no mercado, como por exemplo o REST.

Implementar um serviço que permita disponibilizar os dados gerados de um determinado dispositivo como um sensor de presença ou um medidor de energia elétrica, é feita de forma simples utilizando REST.

Muitas linguagens de programação, como por exemplo JAVA, possui bibliotecas que possibilitam a implementação deste estilo arquitetural.

2.4 PROTOCOLO HTTP

O Protocolo HTTP é um protocolo genérico, sem estado, que pode ser usado para muitas tarefas além de seu uso para hipertexto, como servidores de nomes e sistemas de gerenciamento de objetos distribuídos, através da extensão de seus métodos de solicitação, códigos de erro e cabeçalhos [1].

Os métodos utilizados neste protocolo indicam a ação a ser realizada auxiliando o que o servidor de aplicação deve tomar como decisão [1].

Abaixo consta a tabela 1, que possui os métodos suportados pelo protocolo HTTP e também uma breve descrição de cada um, fornecendo detalhes de seu funcionamento.

Tabela 1: Métodos do protocolo HTTP [1]

MÉTODO	DESCRIÇÃO
GET	Recupera qualquer informação de uma determinada requisição.
HEAD	Retorna o cabeçalho de uma resposta.
POST	Envia dados para serem processados.
PUT	Utilizado para editar alguma informação.
DELETE	Utilizado para excluir alguma informação.
TRACE	Devolve a mesma requisição enviada, sinalizando mudança feitas por servidores intermediários.
OPTIONS	Recupera os métodos HTTP suportados pelo servidor.
CONNECT	Esta especificação reserva o nome do método CONNECT para uso com um proxy que pode mudar dinamicamente para ser um túnel.

A existência de códigos de retorno neste protocolo, serve como auxílio para as repostas geradas de um determinado serviço, facilitando o entendimento do mesmo pois estes códigos de retorno são sempre padronizados [1].

Abaixo consta a tabela 2 com a descrição dos principais códigos que frequentemente são usados:

Tabela 2: Principais códigos de retorno HTTP [1]

CÓDIGO	DESCRIÇÃO
200	Padrão de resposta para solicitações HTTP de sucesso
404	Conteúdo não encontrado.
500	Erro interno do servidor.
503	Serviço temporariamente indisponível. Normalmente retornado quando o servidor está muito sobrecarregado ou em manutenção.

2.5 Considerações do Capítulo

Neste capítulo foram apresentados de forma detalhada os seguintes conceitos considerado relevantes:

- Internet das coisas.
- Middleware de comunicação.
- Estilo arquitetural REST.
- Protocolo HTTP.

O objetivo de apresentar estes conceitos de forma detalhada foi para que se possa obter o maior entendimento dos tópicos escritos nos capítulos 3 e 4

3. MIDDLEWARE DE COMUNICAÇÃO DE INTERNET DAS COISAS

Este capítulo tem como objetivo propor uma arquitetura para um middleware de comunicação de dispositivos de internet das coisas, descrevendo a metodologia utilizada para o projeto.

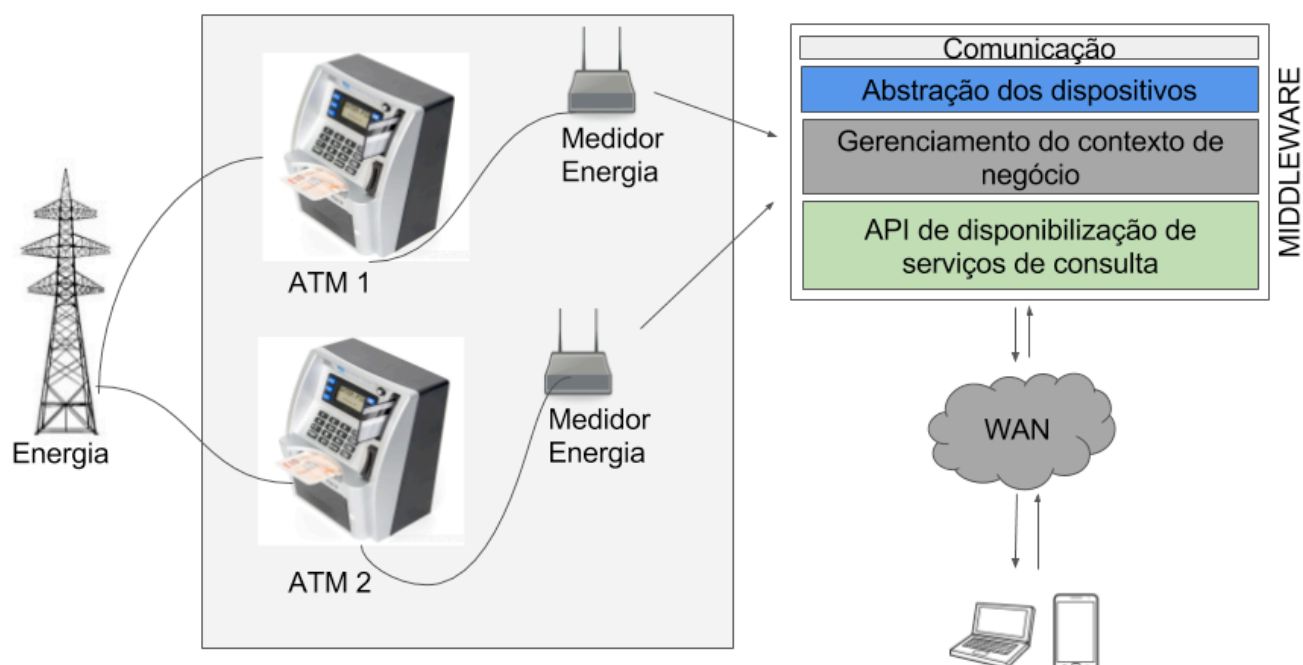
Os modelos apresentados neste capítulo tem como objetivo exemplificar a arquitetura proposta para o middleware de comunicação de dispositivos IoT.

O foco desta arquitetura será descrever com maiores detalhes a camada de comunicação.

3.1 Modelo conceitual

A figura 3 representa o modelo conceitual do contexto de negócio de medição de consumo de energia elétrica em equipamentos eletrônicos e tem como objetivo apresentar o escopo do projeto em uma visão macro, ou seja, apresentar os componentes que o escopo do projeto deve abranger.

Figura 3: Modelo conceitual



Fonte: (Elaborado pelo autor)

De acordo com o modelo conceitual apresentado na figura 3, abaixo consta a descrição de cada componente apresentado:

- A torre de energia elétrica representa o fornecimento de energia para o funcionamento dos caixas eletrônicos (ATM).
- Os ATMs são monitorados pelos dispositivos de medição de consumo de energia para que se possa obter o seu consumo em tempo real.
- Os dispositivos de medição de consumo de energia são integrados com o middleware de comunicação.
- O bloco do middleware representa o artefato principal deste trabalho e o mesmo possuirá uma arquitetura em camadas. Este middleware tem como objetivo receber os dados gerados pelos dispositivos, manipulá-los de acordo com o contexto de negócios e ceder formas acesso a estes dados.
- Os equipamentos que estão conectados à rede WAN representam os consumidores dos dados, ou seja, qualquer equipamento que por meio da internet possa acessar um site ou app para smartphone e obter os dados gerados pelos dispositivos de medição de consumo de energia.

3.2 Fases da definição da arquitetura

As fases utilizadas para criar uma arquitetura de um middleware de comunicação de dispositivos de internet das coisas, foram feitas através de técnicas aprendidas ao longo do curso de tecnologia de software oferecido pelo PECE da escola politécnica da USP.

Os tópicos a seguir descrevem com maiores detalhes cada fase utilizada para criar uma arquitetura de um middleware de comunicação de dispositivos IoT:

- **Análise do contexto de medição de energia:**

Tem como objetivo analisar o contexto do problema, que é integrar os dispositivos de internet das coisas, onde neste contexto o dispositivo inteligente será um sensor de medição de consumo de energia que deve monitorar o consumo de um equipamento ATM e ceder formas de acesso a estes dados, onde foi descrito com maior clareza no capítulo 3.1.

- **Modelos das visões arquiteturais:**

Após a análise e o entendimento do problema gerado pelo contexto, será criado modelos com o objetivo de trazer informações técnicas detalhadas para insumo da definição da arquitetura.

- **Definição da arquitetura do middleware:**

Uma vez definidos os modelos das visões arquiteturais, será feito uma arquitetura para o middleware de comunicação de dispositivos de internet das coisas com o objetivo de trazer um maior detalhamento na camada de comunicação e suas subcamadas.

3.3 Modelo do processo do negócio

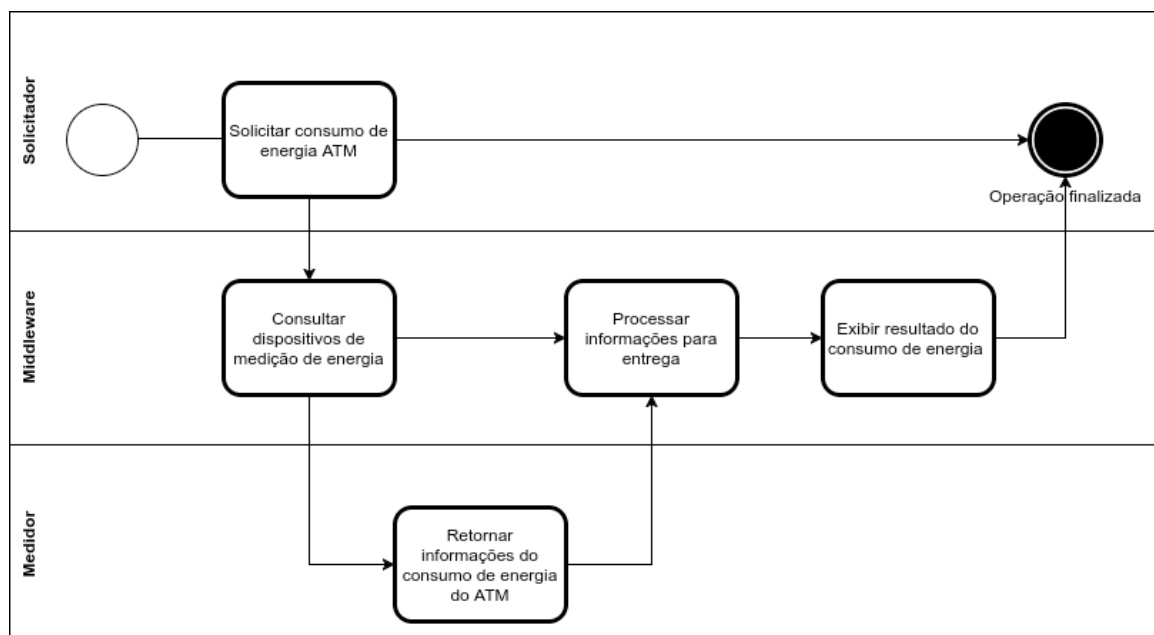
Nesta etapa será apresentado os processos de negócios cruciais para o funcionamento da camada de comunicação da arquitetura do middleware utilizando o contexto de medição de consumo de energia em equipamentos eletrônicos.

Outros processos como o de transformação dos dados gerados pelos dispositivos ou a validação se o dispositivo está respondendo são de grande importância para o middleware, mas não impedem o seu funcionamento, sendo assim será apresentado apenas os dois processos considerados cruciais para seu funcionamento.

- **Processo de consulta dos dados gerados:**

A solicitação do consumo de energia de um ATM, onde o solicitador representa uma requisição da consulta dos dados, deve possuir o seguinte processo:

Figura 4: Modelo processo negócio de consulta de dados



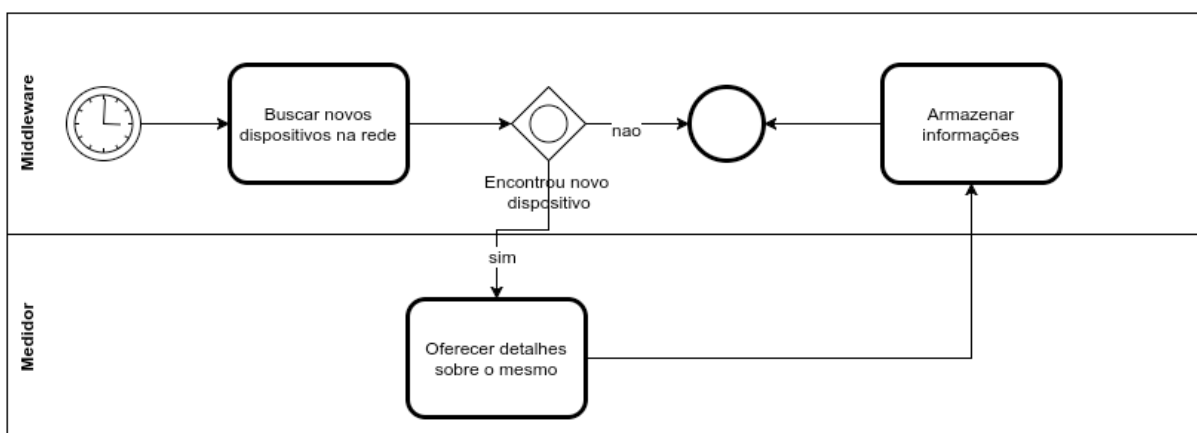
Fonte: (Elaborado pelo autor)

- **Processo de busca de novos dispositivos na rede:**

O processo de busca de novos dispositivos na rede será ativado por um temporizador dentro de um determinado intervalo e o mesmo poderá ser customizado de acordo com o contexto de negócio.

Caso encontre algum novo dispositivo, este processo irá obter as informações sobre o mesmo e armazenar na base de dados.

Figura 5: Modelo processo negócio de busca de novos dispositivos



Fonte: (Elaborado pelo autor)

3.4 Modelo de informação

A figura 6 consta a definição do ponto de vista da informação, contendo informações que serão trocadas entre o middleware, sensores e os ATM.

Figura 6: Ponto de vista da informação

ATM	Sensor	Middleware
Nome	IP	Serviço
Descrição	Mac Address	Descrição
Consumo	Descrição	
	Modelo	
	Nome	

Fonte: (Elaborado pelo autor)

As informações apresentadas na figura 6 foram definidas de acordo com o contexto de negócio de medição de consumo de energia e estas vão ser trocadas entre o middleware de comunicação de internet das coisas e os sensores de medição de consumo de energia, que monitoram a energia consumida dos ATMs.

Os ATMs terão suas informações de nome, descrição e o consumo de energia que está utilizando.

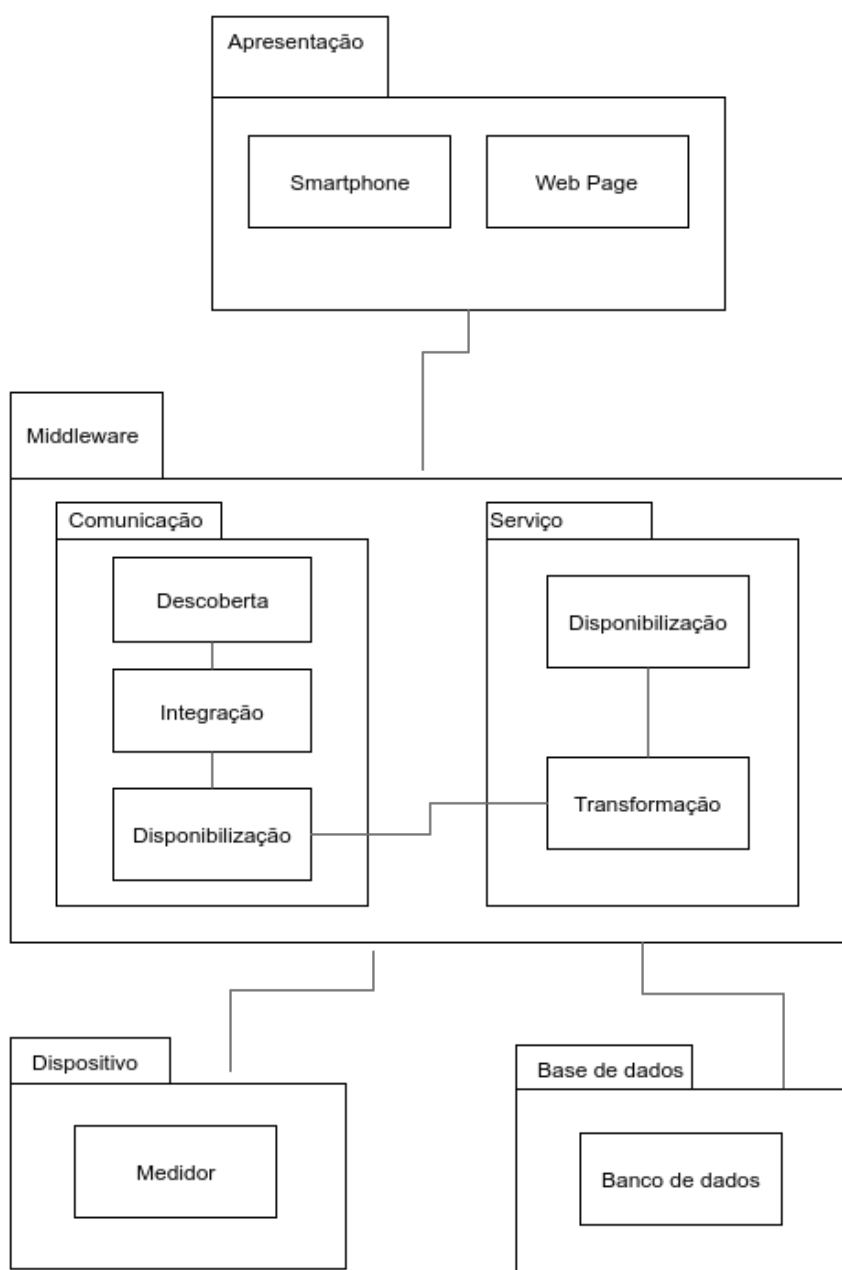
Os sensores de medição de consumo de energia terão suas informações de endereço IP, Mac Address, descrição do dispositivo, modelo e nome.

O Middleware terá informações como serviços e suas descrições, referenciando a finalidade do mesmo.

3.5 Modelo computacional

O modelo de ponto de vista da computação para o middleware de comunicação de dispositivos de IoT, apresentado na figura 7, é utilizado para especificar a arquitetura proposta através de uma definição de estrutura blocos que representam as funcionalidades que o middleware deve atender.

Figura 7: Modelo computacional



Fonte: (Elaborado pelo autor)

De acordo com o modelo computacional apresentado, abaixo consta maiores detalhes de cada divisão apresentada:

- **Apresentação:**

Representa a disponibilização dos dados gerados que poderão ser acessados por mecanismos externos.

- **Middleware:**

Possui duas subdivisões, a de comunicação e serviço. A subdivisão de comunicação é responsável pela interação com os dispositivos, descobrindo-os, integrando-os e disponibilizando seus dados gerados. A subdivisão de serviço é responsável em abstrair o contexto de negócio e aplicar os requisitos do mesmo, transformando os dados gerados pelos dispositivos.

- **Dispositivos de IoT:**

Possui os sensores que neste caso são os medidores de consumo de energia.

- **Base de dados:**

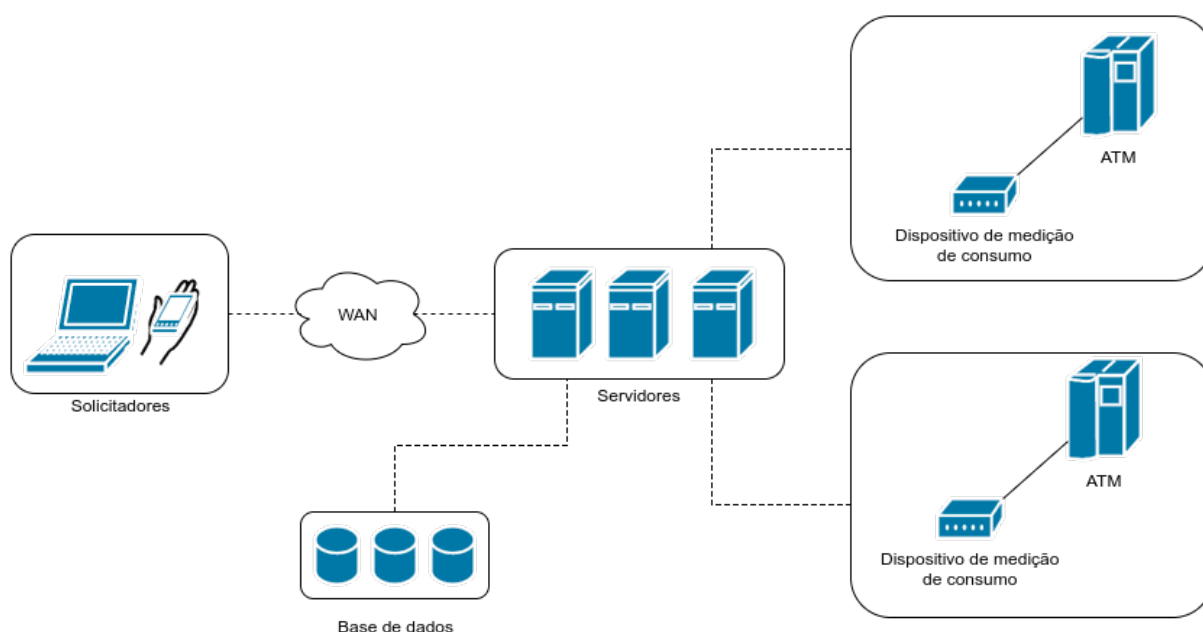
Possui bancos de dados constando tabelas com informações sobre os dispositivos e seus dados gerados.

3.6 Modelo de infraestrutura

O modelo de infraestrutura apresenta os elementos utilizados na implantação do middleware de comunicação de dispositivos de IoT.

A figura 8 tem como objetivo mostrar a visão deste modelo de infraestrutura:

Figura 8: Modelo de infraestrutura



Fonte: (Elaborado pelo autor)

O software que contém o middleware de comunicação de dispositivos de internet das coisas estará instalado nos servidores que estão interligados com todos os outros componentes da infraestrutura apresentado na figura 8.

Os solicitadores que por meio de acesso à internet podem conectar-se com os servidores que fazem as integrações com os medidores de consumo de energia elétrica.

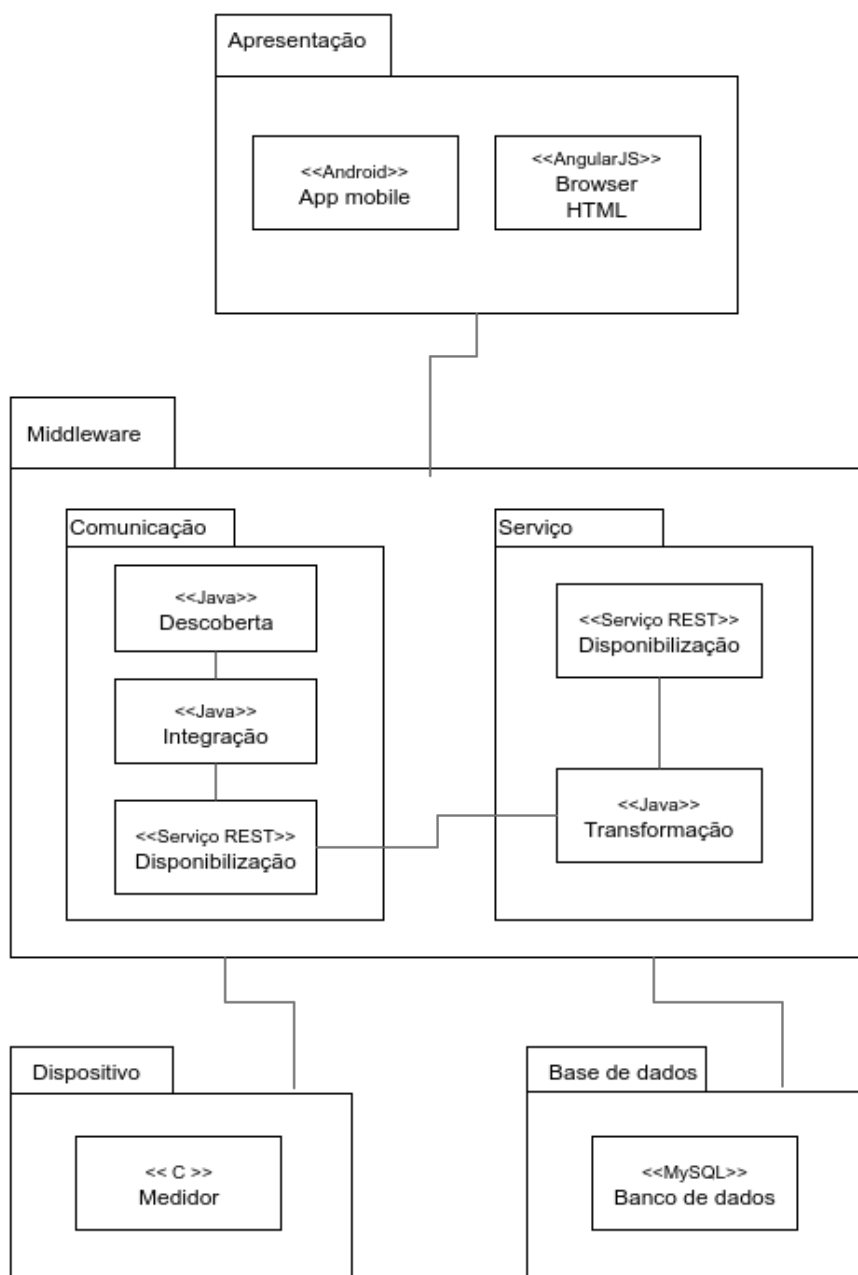
A importância do ponto de vista de infraestrutura para o middleware de comunicação de dispositivos de IoT é grande, pois uma boa infraestrutura constando bons hardwares ajudará no desempenho da disponibilização dos dados gerados pelos dispositivos.

O modelo de infraestrutura apresentado é considerado como premissa básica de uma infraestrutura para este projeto, no entanto, esta infraestrutura poderá ser maior dependendo da quantidade de ATMs a serem monitorados.

3.7 Modelo tecnológico

Após a apresentação do ponto de vista computacional, será apresentado o ponto de vista de tecnologia, dando ênfase nas tecnologias utilizadas para implementação do modelo computacional.

Figura 9: Modelo tecnológico



Fonte: (Elaborado pelo autor)

De acordo com o modelo tecnológico apresentado na figura 9, abaixo consta maiores detalhes de cada divisão:

- **Apresentação:**

Responsável pela a apresentação dos dados gerados, que de acordo com o modelo apresentado, esta divisão possui um App desenvolvido em Android e uma página na web em HTML desenvolvido com a tecnologia AngularJS.

- **Middleware:**

Composto por vários componentes, o mesmo utilizará a tecnologia REST para disponibilização dos dados gerados pelos pacotes de comunicação e serviços. Os componentes de descoberta, integração e disponibilização do pacote de comunicação e o componente de transformação do pacote de serviço utilizarão a linguagem Java para o desenvolvimento.

- **Dispositivos:**

Possuirá software proprietário que muitas vezes é escrito na linguagem de programação C.

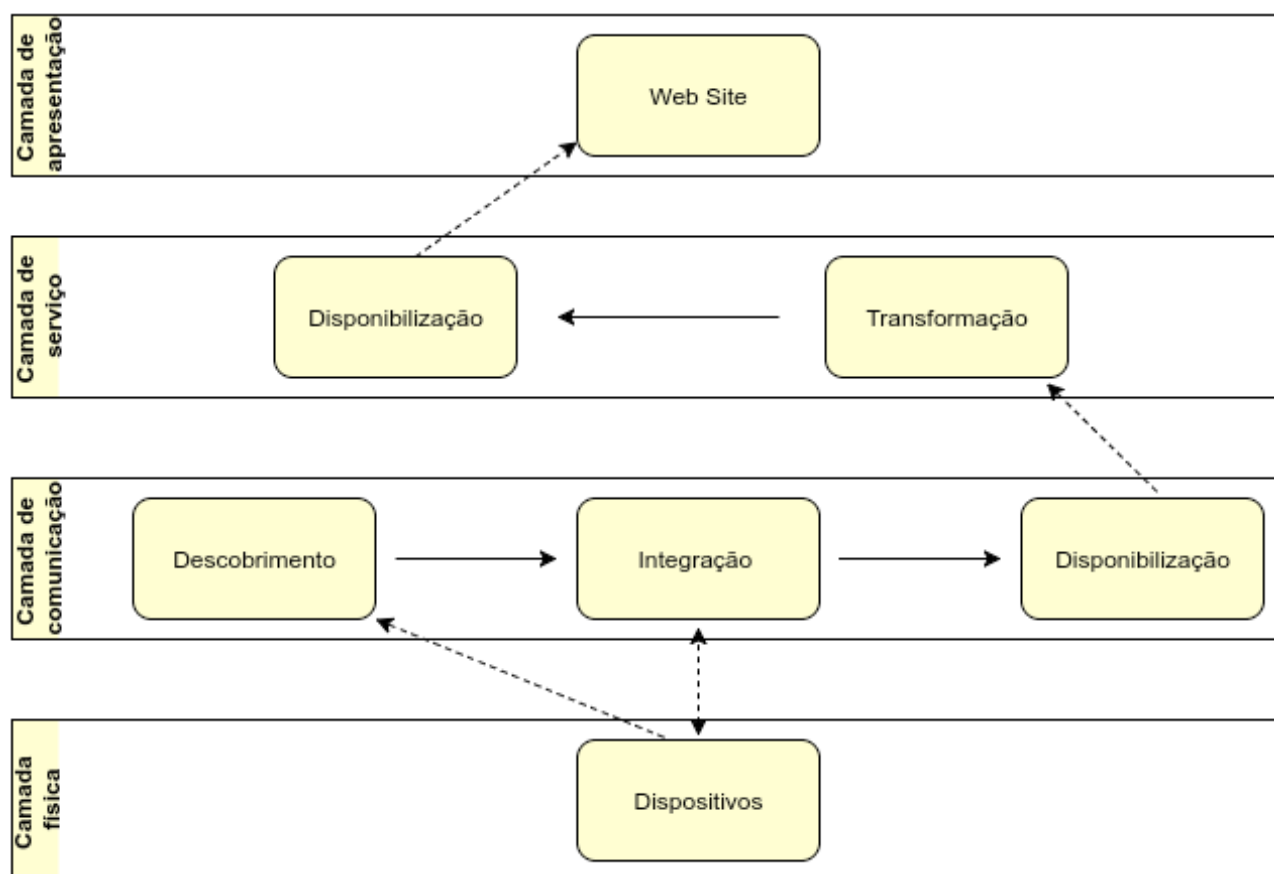
- **Base de dados:**

Será utilizado MySQL para a criação do banco de dados que obtém as tabelas que correspondem aos dados gerados pelos dispositivos.

3.8 Arquitetura do middleware

O modelo arquitetural, apresentado na figura 10, foi desenvolvido com o objetivo de atender a comunicação com dispositivos de internet das coisas, trazendo a divisão das camadas para atender os requisitos que uma rede de dispositivos de internet das coisas exige [2][5].

Figura 10: Modelo de arquitetura em camadas do middleware



Fonte: (Elaborado pelo autor)

De acordo com o modelo arquitetural proposto na figura 10, abaixo consta a descrição de cada camada:

- **Camada de apresentação:**

Provê disponibilizar os dados gerados pelos dispositivos de IoT em uma página na web.

- **Camada de serviço:**

Faz a transformação dos dados gerados pelos dispositivos, incluindo regras de acordo com o contexto de negócio referente.

- **Camada de comunicação:**

Faz a descoberta dos dispositivos, a integração com os mesmos e a disponibilização dos dados gerados por estes dispositivos.

O descobrimento dos dispositivos que ingressam na rede é utilizado para que se saiba qual a finalidade deste dispositivo e quais os serviços que o mesmo oferece. A técnica para descoberta do mesmo é feita através de uma varredura na rede identificando os dispositivos recém conectados.

A integração é a ponte entre o dispositivo e a disponibilização de seus dados, ou seja, será feito de fato a comunicação com cada dispositivo por meio de serviços.

A disponibilização tem como o objetivo ceder uma URL de acesso a esta camada, para que se possa obter os dados gerados pelos dispositivos.

- **Camada física:**

Esta camada estabelecerá uma conexão com os dispositivos da rede por meio do protocolo que os mesmos operam.

3.8.1 Detalhamento da camada de comunicação

A heterogeneidade apresentada em uma rede de internet das coisas faz com que a camada de comunicação de um modelo arquitetural seja vital.

Esta camada deve considerar a comunicação com os dispositivos descobrindo-os, integrando e disponibilizando os dados gerados por estes dispositivos. Também deve ser capaz de enviar comandos para os dispositivos que aceitem e assim obter de maneira diferenciada os dados que os mesmos irão prover.

Os tópicos a seguir devem trazer com maiores detalhes modelos para o entendimento da camada de comunicação de uma arquitetura para o middleware.

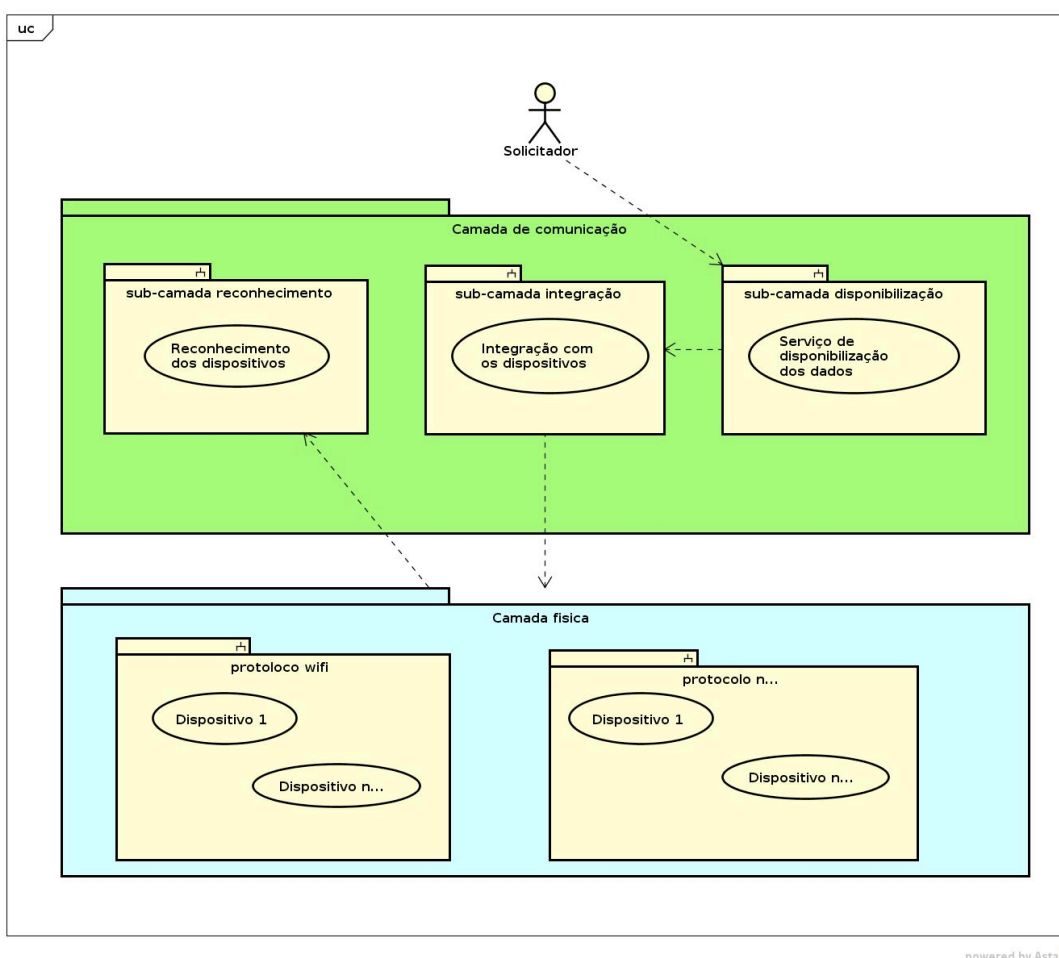
3.8.2 Modelo da camada de comunicação

O objetivo do modelo da figura 11 é apresentar de forma macro a camada de comunicação e suas funcionalidades, que se resume em reconhecer novos dispositivos na rede, integrar-se com os mesmos e disponibilizar seus dados.

A camada física que aparece na figura 11 é somente para entendimento de onde os dispositivos se encontram, pois, essa camada não é o foco deste trabalho.

O solicitador representa qualquer requisição a esta camada, e tem como intenção obter os dados gerados pelos dispositivos.

Figura 11: Modelo arquitetural da camada de comunicação



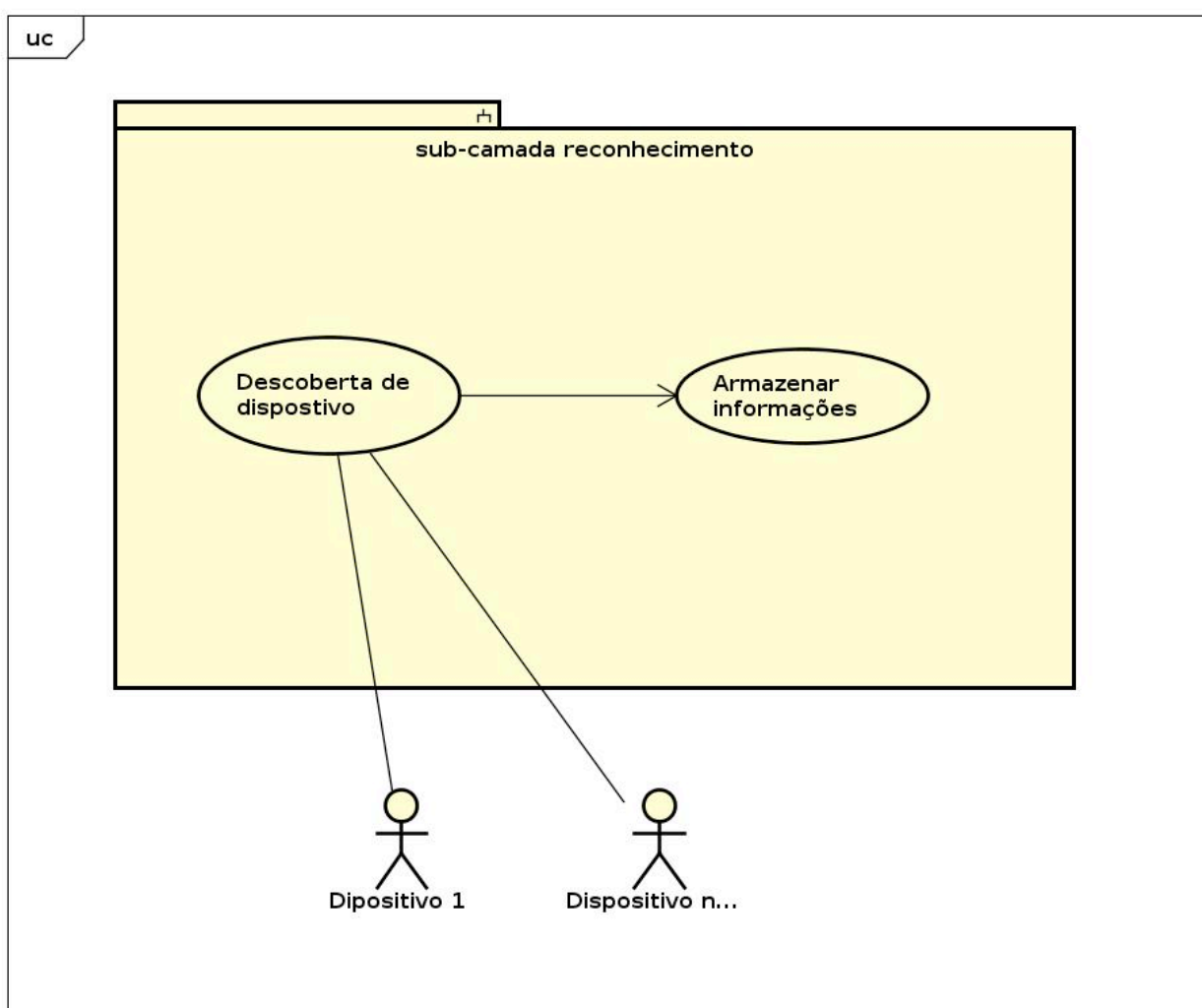
powered by Astah

Fonte: (Elaborado pelo autor)

3.8.2.1 Descoberta dos dispositivos

A figura 12 representa o componente para descoberta de dispositivos em uma rede de internet das coisas. Este componente de descoberta deve ser capaz de recuperar as informações que os dispositivos de IoT passam a emitir.

Figura 12 – Descoberta dos dispositivos



powered by Astah

Fonte: (Elaborado pelo autor)

O mecanismo desse componente deve varrer a rede passando por todos os IPs disponíveis, o mesmo tentara estabelecer uma conexão com cada IP.

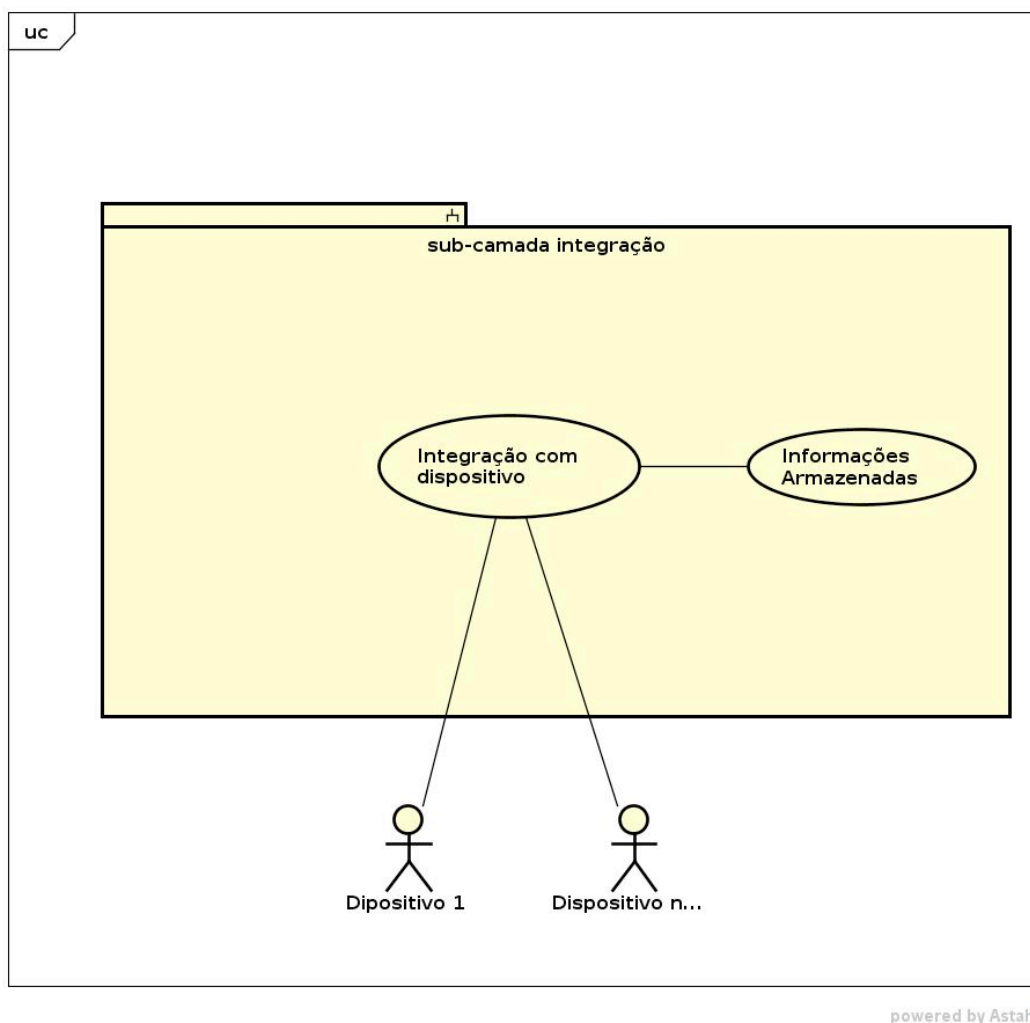
Após estabelecida a conexão, o mecanismo de descoberta de dispositivos deve persistir as informações sobre este dispositivo no banco de dados.

Este processo foi descrito com maiores detalhes no capítulo 3.3, constando modelo de processo de negócio para melhor entendimento.

3.8.2.2 Integração com os dispositivos

A figura 13 representa a integração feita com os dispositivos através das informações obtidas após sua descoberta:

Figura 13: Integração dos dispositivos



Fonte: (Elaborado pelo autor)

A integração além de selar uma ponte de comunicação dos dispositivos, também deveria saber o estado atual dos mesmos, entendendo se estes dispositivos ainda respondem e se podem ser consultados.

A funcionalidade de integração é crucial para que o mecanismo de disponibilização dos dados gerados funcione.

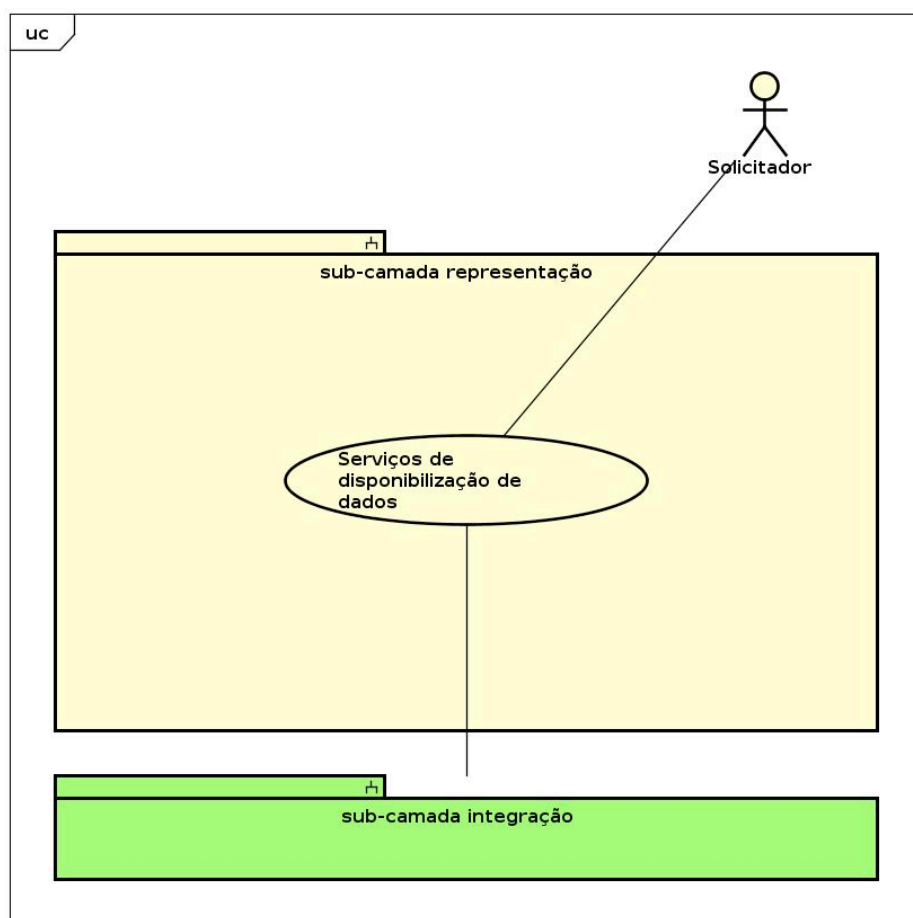
3.8.2.3 Representação da camada de comunicação

Após a descoberta dos dispositivos e a integração com os mesmos, será necessário a representação da camada de comunicação para que sistemas externos poderão obter os dados gerados pelos dispositivos sem a necessidade de conhecê-los diretamente.

Para disponibilizar os dados gerados pelos dispositivos, haverá uma subcamada de representação da camada de comunicação e a forma de disponibilizar estes dados será feita por meio de serviços.

A figura 14 representa a funcionalidade de disponibilização dos dados gerados pelos dispositivos de IoT:

Figura 14: Representação da camada de comunicação



powered by Astah

Fonte: (Elaborado pelo autor)

De acordo com a figura 14, podemos notar que há um solicitador que representa quem requisita os dados gerados pelos dispositivos.

A subcamada de integração apresentada na figura 14 tem o objetivo de apenas trazer um maior entendimento do funcionamento.

3.9 Considerações do capítulo

Neste capítulo foi apresentado o desenvolvimento do trabalho, onde podemos ter como base modelos para o auxílio do entendimento da solução.

O foco deste capítulo foi a camada de comunicação da arquitetura proposta para o middleware.

Este capítulo servirá como base para a implementação do middleware de comunicação de dispositivos de IoT que será apresentado no capítulo 4.

4. IMPLEMENTAÇÃO DO MIDDLEWARE

Após a realização da arquitetura do middleware de comunicação de dispositivos de internet das coisas, cujo o contexto mencionado foi o de medição de consumo de energia em equipamentos eletrônicos, será feita implementação do mesmo, com o intuito de apresentar os resultados obtidos.

Nesta etapa é apresentado os seguintes modelos:

- **Modelo relacional**

Será apresentado um diagrama de modelagem e relacionamento das entidades para o entendimento da distribuição dos dados referente a camada de comunicação.

- **Modelo de implementação**

Será apresentado um modelo de implementação que tem como objetivo exemplificar a implementação do middleware de comunicação de dispositivos de IoT.

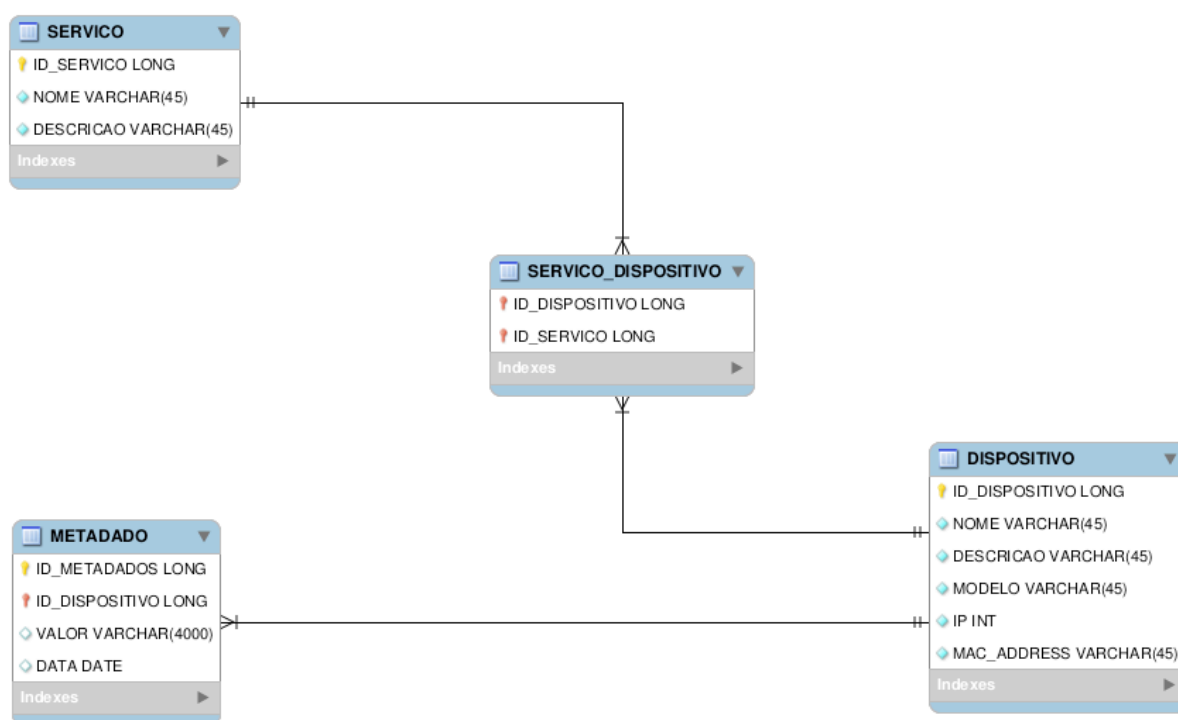
- **Diagrama de classes**

Será apresentado um diagrama de classes para o entendimento do funcionamento da camada de comunicação.

4.1 Modelo relacional

A figura 15 ilustra o funcionamento da modelagem dos dados da camada de comunicação através de um diagrama de modelagem de entidade e relacionamento.

Figura 15: Diagrama de modelagem de entidades da camada de comunicação



Fonte: (Elaborado pelo autor)

Abaixo consta a descrição de cada tabela apresentada no modelo relacional referente a figura 15:

- **Tabela `SERVICO`:**

Contém dados de todos os serviços oferecidos pelos dispositivos. Esta tabela conta com as colunas nome do serviço e a descrição do serviço que será oferecido, como por exemplo, o serviço de consulta de consumo de energia elétrica de um determinado equipamento eletrônico.

- **Tabela `SERVICO_DISPOSITIVO`:**

Esta tabela deve conter a identificação da tabela de `SERVICO` e da tabela de `DISPOSITIVO`, pois cada dispositivo poderá possuir vários serviços.

- **Tabela `DISPOSITIVO`:**

Esta tabela contém dados de todos os dispositivos descobertos na rede. Na mesma deve conter o nome do dispositivo, a descrição, o modelo, o endereço IP da rede que o mesmo está a utilizar e o MAC Address.

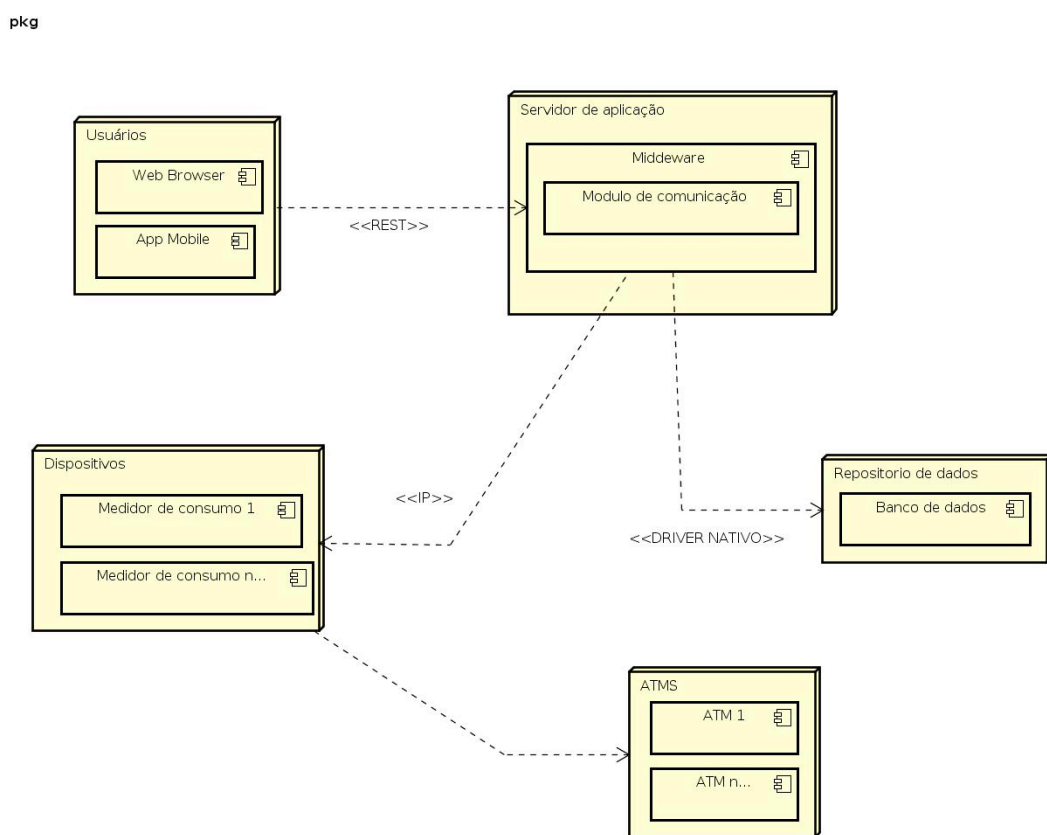
- **Tabela `METADADO`:**

Esta tabela contém os dados gerados pelos dispositivos que estão conectados à rede, a data em que foi gerado e a identificação de qual dispositivo essa informação pertence.

4.2 Modelo de implementação

A figura 16 representa um modelo de implementação tendo como objetivo exemplificar a implementação do middleware de comunicação de dispositivos de IoT, trazendo com maior clareza o tipo de comunicação que cada componente irá executar.

Figura 16: Modelo de implementação



Fonte: (Elaborado pelo autor)

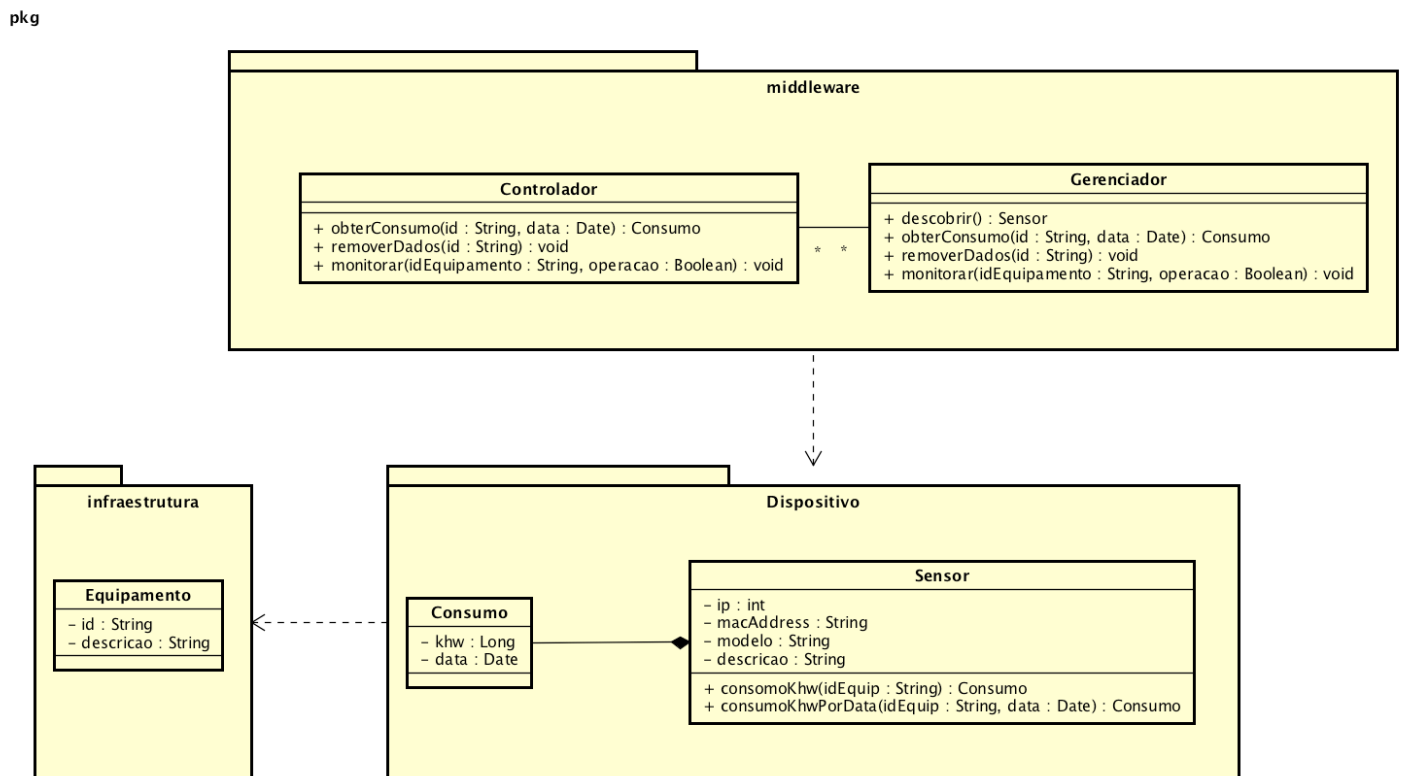
Abaixo consta a descrição de cada conexão apresentada por meio de flechas tracejadas na figura 16:

- O bloco de usuários comunicara com o middleware através de serviços REST.
- O middleware comunicara com os dispositivos inteligentes de internet das coisas por IP.
- O middleware comunicara com o banco de dados através de um driver nativo de conexão para MySQL.
- Os dispositivos inteligentes de internet das coisas, que neste caso são medidores de consumo de energia elétrica, fazem a captação da energia consumida pelos ATMs de forma física, ou seja, por indução.

4.3 Diagrama de classes

O diagrama de classe referenciado na figura 17, consta uma visão detalhada das classes que serão implementadas para o middleware de comunicação de dispositivos IoT:

Figura 17: Diagrama de classes



Fonte: (Elaborado pelo autor)

Este diagrama foi dividido em três pacotes, sendo eles o de middleware, dispositivo e infraestrutura. A divisão destes pacotes teve o intuito de desacoplar as funcionalidades de cada parte do middleware, gerando baixo acoplamento e alta coesão.

O conteúdo apresentado abaixo terá como objetivo descrever as classes de cada pacote apresentado na figura 17.

- **Classe Controlador:**

Esta classe representa o controle para o acesso dos serviços disponibilizados na classe Gerenciador.

- **Classe Gerenciador:**

Esta classe terá como objetivo gerenciar os dispositivos fazendo a comunicação com os mesmos através de serviços.

- **Classe Sensor:**

Esta classe representa um dispositivo inteligente onde de acordo com o contexto deste trabalho será um medidor de energia elétrica.

- **Classe Equipamento:**

Esta classe representa o equipamento que o dispositivo está monitorando.

- **Classe Consumo:**

Esta classe representa o consumo de um determinado ATM que um dispositivo de medição de consumo obteve.

- **Classe Enumerada de Tipo Equipamento:**

Define qual o tipo do equipamento que está sendo monitorado onde neste contexto será um ATM.

4.4 Resultados da implementação

Este capítulo tem como objetivo apresentar algumas etapas dos resultados obtidos por um dos serviços oferecidos pelo middleware de comunicação de dispositivos de internet das coisas.

4.4.1 Disponibilização de serviços

A forma de disponibilização dos serviços oferecidos pelo middleware utilizará a tecnologia REST, como foi apresentado com maiores detalhes no modelo de implementação do capítulo 4.2.

A tabela abaixo consta os serviços que o middleware de comunicação de dispositivos de IoT deverá disponibilizar com o uso da tecnologia REST:

Tabela 3: Exemplos de serviços para disponibilização dos dados gerados

MÉTODO	SERVIÇO	DESCRIÇÃO
GET	/ {id_equipamento} /consumo	Retorna todas informações sobre o consumo de energia do equipamento solicitado.
DELETE	/ {id_equipamento}	Remove todos os dados gerados pelo dispositivo.
GET	/ {id_equipamento} /consumo / {data }	Retorna informações sobre o consumo de energia do equipamento solicitado por data.
PUT	/ {id_equipamento} /monitorar / {condicao }	Envia verdadeiro ou falso se o equipamento deve ou não ser monitorado

As colunas da tabela 3 são descritas a seguir:

- **Método:**

Descreve qual o método do protocolo HTTP é usado.

- **Serviço:**

Descreve A URI de acesso ao serviço disponibilizado.

- **Descrição:**

Descreve o funcionamento do serviço com mais detalhes.

4.4.2 Disponibilização dos dados gerados pelos dispositivos de IoT

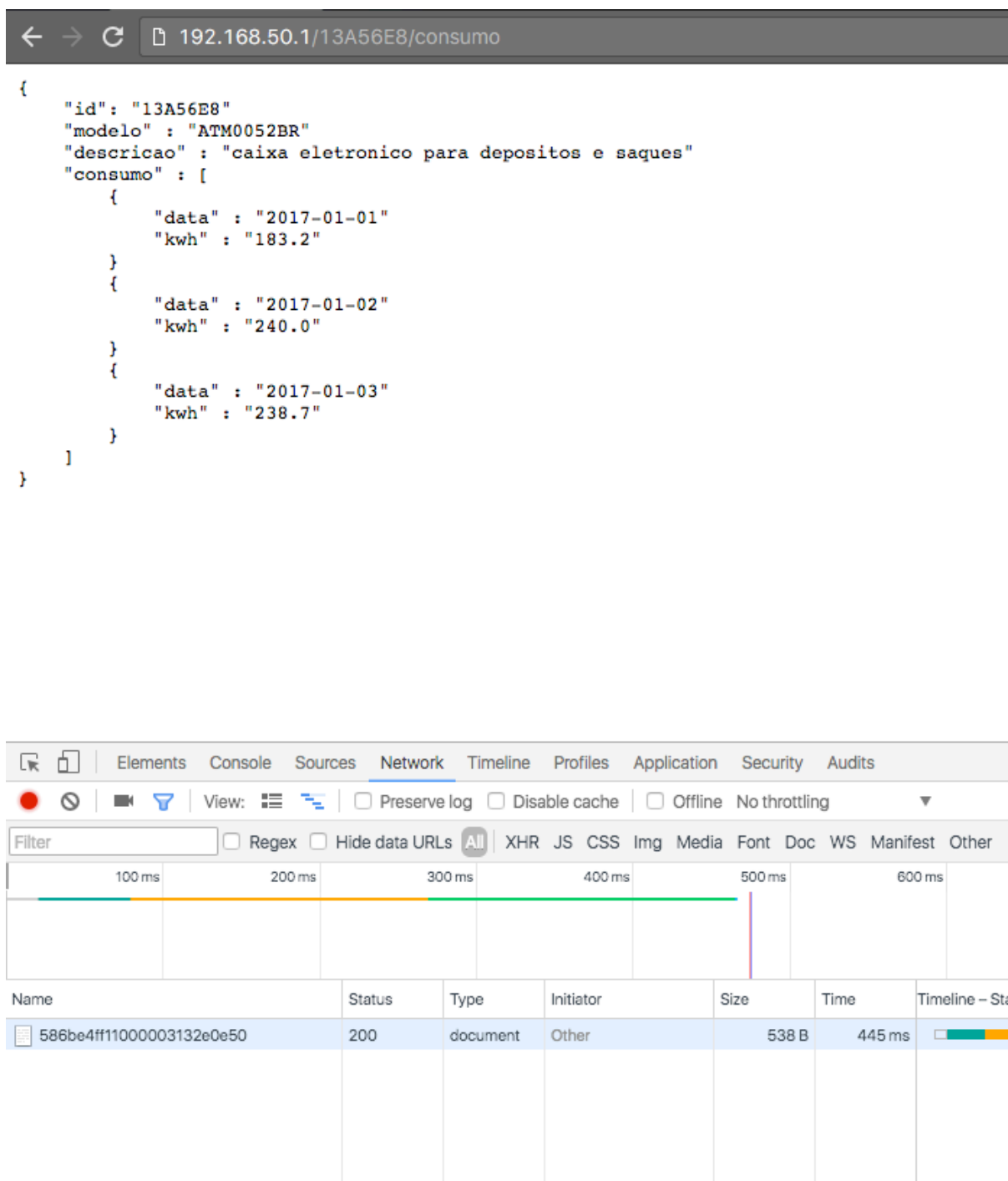
Nesta simulação, o middleware de comunicação de dispositivos de IoT está em um servidor que responde ao endereço IP 192.168.50.1.

De acordo com os serviços referenciados no capítulo 4.4.1, nesta simulação será feito o uso do serviço “/{id_equipamento}/consumo”, que utiliza o método GET do protocolo HTTP e tem o dever de retorna todas as informações geradas pelo sensor inteligente de medição de consumo de energia elétrica que está obtendo o consumo de um ATM.

O ATM que está sendo monitorado possui um código de identificação correspondente ao número “13A56E8”, o mesmo utilizado ao dispositivo que o monitora.

A figura 18 consta um exemplo de como os dados gerados pelo sensor inteligente de medição de consumo de energia é exibido ao ser feito uma requisição no serviço de consulta de consumo de energia.

Figura 18: Exemplo da disponibilização dos dados



Fonte: (Elaborado pelo autor)

Abaixo consta a descrição do resultado obtido referente a figura 18:

- **Id:**

Código de identificação do equipamento.

- **Descrição:**

Descrição do equipamento.

- **Modelo:**

Código do modelo do dispositivo.

- **Kwh:**

Medida da energia elétrica consumida pelo equipamento.

- **Data:**

Data referente ao consumo.

A figura 19 consta a tabela “dispositivo”, onde a mesma foi descrita com maiores detalhes no capítulo 4.1, que referencia o modelo relacional do middleware de comunicação de dispositivos de IoT, onde é possível perceber que os dados exibidos na figura 18 consta em partes nesta tabela.

Figura 19: Tabela dispositivo

```
mysql> SELECT * FROM DISPOSITIVO;
```

ID_DISPOSITIVO	NOME	DESCRICAO	MODELO	IP	MAC_ADDRESS
13A56E8	MEDIDOR CONSUMO	CAIXA ELETRONICO PARA DEPOSITOS E SAQUES	ATM0052BR	192168509	00-12-23-01-25-47

1 row in set (0,00 sec)

Fonte: (Elaborado pelo autor)

Outra tabela que foi referenciada no modelo relacional no capítulo 4.1, foi a “metadado”, cujo objetivo da mesma é possuir os dados gerados pelos dispositivos de IoT.

A figura 20 apresenta a tabela “metadado” e também é possível identificar partes das informações apresentadas na figura 18.

Figura 20: Tabela metadado

```
mysql> SELECT * FROM METADADO;
```

ID_METADADOS	ID_DISPOSITIVO	VALOR	DATA
1	13A56E8	kwh:183.2	2017-01-01
2	13A56E8	kwh:240.0	2017-01-02
3	13A56E8	kwh:238.7	2017-01-03

3 rows in set (0,00 sec)

Fonte: (Elaborado pelo autor)

A figura 21 traz o código feito na linguagem Java onde referencia o serviço de consulta de consumo de energia, que é referenciado na tabela 3 do capítulo 4.4.1.

Figura 21: Código consulta de consumo de energia

```
package br.com.middleware.controller;

import java.util.Date;

import org.springframework.beans.factory.annotation.Autowired;
import org.springframework.web.bind.annotation.PathVariable;
import org.springframework.web.bind.annotation.RequestBody;
import org.springframework.web.bind.annotation.RequestMapping;
import org.springframework.web.bind.annotation.RequestMethod;
import org.springframework.web.bind.annotation.RestController;

import br.com.middleware.domain.Consumo;
import br.com.middleware.service.Gerenciador;

@RestController
public class Controller {

    @Autowired
    private Gerenciador gerenciador;

    @RequestMapping(value = "/{id_equipamento}/consumo", method = RequestMethod.GET, produces = "application/json")
    public Consumo getConsumo(@PathVariable("id_equipamento") String id) {

        Consumo consumo = gerenciador.obterConsumo(id, null);

        return consumo;
    }
}
```

Fonte: (Elaborado pelo autor)

De acordo com a figura 21, é possível perceber que a mesma representa partes da implementação do modelo de diagrama de classes apresentado no capítulo 4.3.

Esta figura teve o objetivo de apenas exemplificar como será a implementação do código do middleware de comunicação de dispositivos de internet das coisas, pois a mesma consta uma pequena parte de todos os códigos que este middleware irá possuir.

Na figura 21 podemos notar partes da implementação do código do objeto controlador referenciado no diagrama de classes do capítulo 4.3.

4.5 Considerações do capítulo

Este capítulo teve como objetivo implementar a arquitetura proposta e simular os resultados obtidos pela mesma.

Foram utilizados modelos para entendimento de sua implementação e figuras apresentando os resultados obtidos por esta arquitetura.

Também foi possível observar a resposta de um serviço de consulta de consumo de energia de um determinado equipamento ATM, onde o mesmo foi monitorado por um medidor de energia.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A necessidade de um método de desenvolvimento de uma arquitetura para a implementação do middleware de comunicação de dispositivos de IoT foi devido ao contexto de medição de consumo de energia em equipamentos eletrônicos, que neste trabalho foi exemplificado por equipamentos ATM.

Esta necessidade levou a estudos e análises em artigos científicos que trouxeram bases para a implementação de um modelo arquitetural tendo como foco a camada de comunicação, onde para realização da mesma, foi necessário dividir este trabalho em duas fases, a da visão arquitetural e implementação.

Relacionar a fase da visão arquitetural com a implementação foi de grande importância pois a visão traz modelos tecnológicos que ajudam e auxiliam na compreensão da implementação da arquitetura do middleware de comunicação de dispositivos de IoT.

Após a criação desta arquitetura para um middleware de comunicação, foi criado um protótipo que trouxe a execução de toda teoria.

O protótipo para esta arquitetura significou apresentar os resultados gerados da criação da mesma, trazendo modelos e dados sobre o funcionamento de sua implementação.

REFERÊNCIAS

- [1] W3C ORG. <https://www.w3.org/Protocols/rfc2616/rfc2616.html>
- [2] Souza. A. M. C.; Amazonas. J. R. A.; **A new internet of things architecture with cross-layer communication**. Brasil: Universidade Cruzeiro do Sul, Escola Politecnica da USP, São Paulo, 2015.
- [3] Kajaer. K. E.; **A Survey of context-aware middleware**. Dinamarca: Department of Computer Science, University of Aarhus Åbogade, 34 8200, Århus N, 2007.
- [4] Cardoso. V. H. P.; Fernandes. R. F.; Dias. A. L.; Sestito. G. S.; Brandão. D.; **Aplicação da tecnologia de internet das coisas na medição de consumo**. Brasil: 2015.
- [5] Zhiliang. W.; Yi. Y.; Lu. W.; Wei. W.; **A SOA Based IOT Communication Middleware**. China: School of Computer and Communication Engineering University of Science and Technology Beijing, 2011.
- [6] Vujovi. V.; Maksimovi. M.; Kosmajac. D.; Periši. B.; **Resource: A connection between Internet of Things and Resource-Oriented Architecture**. Servia: 2015.
- [7] **Internet of Things From Research and Innovation to Market Deployment**. River Publishers: 2015.