

Infraestrutura de Monitoramento de Temperatura e Umidade Relativa em Centro de Processamento de Dados

Michel M. da Silva¹, Jane Eleutério¹ (orientadora)

¹Faculdade de Computação (FACOM) – UFMS
Campo Grande – MS – Brasil

michel.silva@aluno.ufms.br

Resumo. *Este artigo descreve o processo de desenvolvimento e implantação de uma infraestrutura de monitoramento de temperatura e umidade relativa voltada para Centros de Processamento de Dados (CPD). A infraestrutura é composta por três subsistemas que envolvem sensores de temperatura e umidade relativa, uma aplicação de servidor RESTful e um aplicativo Android para visualização e alteração de configurações. A infraestrutura foi implantada temporariamente em um Centro de Processamento de Dados localizado na Faculdade de Computação da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. A infraestrutura possibilitou a identificação de pontos de variação de temperatura e umidade relativa dentro do Centro de Processamento de Dados, assim como validar os parâmetros de temperatura e umidade relativa de acordo com o padrão estabelecido pela Sociedade Americana de Engenheiros de Climatização (ASHRAE).*

1. Introdução

A era da informação em que vivemos transformou a vida de muitas pessoas e empresas. A informação como um bem precioso requer um correto gerenciamento e armazenamento. Esse armazenamento é feito em grandes máquinas com alto potencial computacional chamadas de servidores. Os servidores são o coração de empresas como a Google, que provém serviços online e geram receitas a partir de marketing dentro desses serviços. Uma grande parte de todo o conteúdo existente dentro da Internet está armazenado em servidores espalhados pelo mundo todo.

O correto funcionamento dos servidores garante que os serviços online oferecidos pelas empresas estejam sempre disponíveis e tolerantes a falhas decorrentes de infraestrutura. Uma grande parte do trabalho de processamento realizado por essas poderosas máquinas é convertido em calor. Esse calor é dissipado no ambiente em que o servidor se encontra e conseqüentemente aumenta a temperatura ambiente e altera a umidade relativa do local. Para que essas máquinas possam funcionar de forma adequada é necessário controlar a temperatura e umidade relativa do ambiente em que elas se encontram.

A preocupação com o monitoramento e controle de temperatura e umidade relativa em ambientes que abrigam servidores é decorrente dos limites físicos dos componentes eletrônicos que os servidores possuem. Ambientes extremos como de alta ou baixa temperatura ou até mesmo alta ou baixa umidade relativa podem comprometer o funcionamento desses componentes. Situações extremas como essas podem ocasionar a perda de toda a informação armazenada em um servidor e gerar um grande prejuízo financeiro.

A Internet das Coisas representa um grande avanço na capacidade de coletar, transmitir e analisar dados através da Internet. Ela se torna uma grande aliada em situações em que o monitoramento constante a partir de sensores é necessário. A Internet das Coisas pode ser aplicada em diferentes áreas do conhecimento e faz parte deste trabalho como um dos principais elementos necessários para a comunicação entre os diferentes componentes da infraestrutura desenvolvida.

Este trabalho apresenta uma proposta para monitorar e acompanhar a temperatura e umidade relativa em ambientes que abrigam Centros de Processamento de Dados. Essa proposta favorece o controle e uma rápida ação em casos de necessidades que possam resultar em destruição ou perda de dados decorrentes de mal funcionamento de servidores. A infraestrutura proposta por este trabalho é dividida em três subsistemas que utilizam a Internet para se comunicar e constantemente trocar informações.

O primeiro subsistema é composto por componentes eletrônicos com um sensor de temperatura e umidade relativa que possui a capacidade de se comunicar com outros sistemas através da Internet. O segundo subsistema é uma aplicação de servidor que possui a responsabilidade de solicitar dados aos componentes eletrônicos e salvar essas informações em um banco de dados. O terceiro subsistema é um aplicativo desenvolvido para a plataforma Android, no qual os usuários podem acompanhar os dados de leituras de temperatura e umidade relativa e realizar alterações de configuração.

A estrutura deste artigo está dividida em um resumo e cinco seções. O resumo contém uma breve descrição da proposta deste trabalho. A primeira seção é a introdução contendo a contextualização e as motivações que basearam o desenvolvimento deste trabalho. A segunda seção contém as referências bibliográficas com as teorias e conceitos abordados neste trabalho. A terceira seção descreve todos os subsistemas que formam a infraestrutura proposta para o monitoramento de temperatura e umidade relativa. A quarta seção contém os dados obtidos através do experimento realizado com a implantação da infraestrutura em um Centro de Processamento de Dados. A quinta seção contém a conclusão, trabalhos futuros e dificuldades encontradas durante o desenvolvimento deste trabalho.

1.1. Trabalhos Relacionados

O estudo de caso com o título "Monitoramento de um Data Center usando Redes de Sensores Sem Fio"[15] descreve os procedimentos e resultados obtidos através do monitoramento de um Centro de Processamento de Dados com a utilização de uma rede sem fio de sensores. O foco do estudo de caso foi identificação de pontos de calor (*hotpots*) existentes dentro Laboratório de Computação Científica e Visualização, da Universidade Federal de Alagoas.

O estudo de caso menciona a utilização de uma ferramenta chamada *MOTE-VIEW*, que foi desenvolvida pela empresa Crossbow. A Crossbow foi adquirida, em 2011, por uma empresa Norte Americana chamada Moog. O *MOTE-VIEW* é uma ferramenta possui 3 camadas: *MOTE LAYER*, *SERVER LAYER* e *CLIENT LAYER*.

A infraestrutura proposta por este trabalho se diferencia do estudo de caso "Monitoramento de um Data Center usando Redes de Sensores Sem Fio" por propor uma infraestrutura completa, que engloba os componentes eletrônicos como sensores, uma aplicação

servidora e um Aplicativo Android, que é um grande facilitador no processo de monitoramento através da Internet.

2. Revisão bibliográfica

Este trabalho envolve diferentes conceitos e teorias que foram utilizados para o desenvolvimento da infraestrutura de monitoramento de temperatura e umidade relativa em Centro de Processamento de Dados. Esta seção contém as definições dos conceitos e os parâmetros de referência que foram utilizados no desenvolvimento dos três subsistemas que formam a infraestrutura proposta.

2.1. Monitoramento de Data Center

A Sociedade Americana de Engenheiros de Climatização (ASHRAE)¹ é uma entidade norte-americana que define diretrizes e melhores práticas na área de padronização para climatização de Centros de Processamento de Dados. A ASHRAE é uma referência internacional e suas diretrizes e melhores práticas são adotadas por diversas empresas em diferentes países.

A ASHRAE define quatro classes que englobam os diferentes ambientes de operação de equipamentos de tecnologia da informação. Essas classes definem as diferentes áreas de operação relacionadas aos equipamentos que operaram nessas áreas [1]. Essas classes são utilizadas para definir as variações de temperatura e umidade relativa em cada ambiente de operação dos equipamentos.

- Classe A1: Essa classe é caracterizada por Centros de Processamento de Dados que possuem parâmetros rigidamente controlados como temperatura, umidade relativa e ponto de orvalho. Esses ambientes geralmente executam operações críticas relacionadas a servidores corporativos e produtos de armazenamento.
- Classes A2, A3 e A4: Essas classes são caracterizadas por serem ambientes de trabalho, espaços de tecnologia da informação ou laboratórios com algum controle de parâmetros ambientais como temperatura, umidade relativa e ponto de orvalho. Os equipamentos existentes nesses ambientes são servidores de volumes, produtos de armazenamento, computadores pessoais e estações de trabalho.

Os Centros de Processamentos de Dados são lugares que comportam equipamentos de alto valor econômico como os servidores e equipamentos auxiliares. Para o correto funcionamento desses servidores é necessário que esses equipamentos fiquem em ambientes seguros e com características adequadas. O correto funcionamento desses equipamentos assegura que os dados e aplicações não sejam corrompidos ou sofram alguma falha de falta de disponibilidade.

A temperatura mínima limite recomendada é de 18°C e a máxima limite é de 27°C. A umidade relativa mínima recomendada é de 20% e a máxima recomendada é de 60%. Essas recomendações são aplicáveis a todas as classes A1, A2, A3 e A4. As variações de temperatura e umidade relativa máximas e mínimas permitidas podem ser visualizadas através da tabela 1 de especificações de variação de temperatura e umidade relativa recomendada e permitida pela ASHRAE.

¹ Sigla do inglês *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*.

Tabela 1. Especificações de variação temperatura e umidade relativa recomendada e permitida pela ASHRAE [2]

Classe	Variação de Temperatura Recomendada	Variação de Umidade Relativa Recomendada	Variação de Temperatura Permitida	Variação de Umidade Relativa Permitida
A1	18°C a 27°C	20% a 60%	15°C a 32°C	8% a 80%
A2			10°C a 35°C	8% a 80%
A3			5°C a 40°C	8% a 85%
A4			5°C a 45°C	8% a 90%

2.2. Internet das Coisas

O termo *Internet das Coisas*² foi utilizado pela primeira vez, em 1999, pelo pesquisador Britânico Kevin Ashton do Instituto de Tecnologia Massachusetts (MIT). Ashton utilizou o termo durante uma apresentação para os executivos da empresa Procter & Gamble (P&G), na qual ele propôs uma forma de etiquetar eletronicamente os produtos da empresa. Essa forma de etiquetagem era baseada em uma tecnologia de radiofrequência. O objetivo principal da ideia proposta era de manter a rastreabilidade de produtos dentro de uma grande cadeia de suprimento.

Em sua publicação feita ao portal RFID Journal [11], Ashton destaca que grande parte das informações existentes na Internet dependem e são geradas por pessoas. As pessoas são limitadas fisicamente por tempo, atenção e precisão. Desta forma, Ashton afirma que precisamos capacitar os computadores com seus próprios meios de coletar informações, para que possam ver, ouvir e cheirar o mundo por si mesmos, em toda a sua glória aleatória [11]. A Internet das Coisas tem o potencial de mudar o mundo, assim como a Internet [11].

A União Internacional de Telecomunicação (ITU³) define o termo Internet das Coisas como sendo uma infraestrutura global para a sociedade da informação, permitindo serviços avançados através da interconexão (física e virtual) de coisas com base na informação interoperável existente e em evolução baseados em tecnologias de comunicação [9]. A Internet das Coisas é caracterizada principalmente pelo conjunto de dispositivos de tecnologia com sensores que possuem a capacidade de coletar e transmitir dados através de rede mundial de computadores.

A Internet das Coisas possui uma infinidade de possibilidades e aplicações. Essas possibilidades e aplicações podem estar relacionadas as mais variadas áreas de conhecimento humano, por exemplo, em áreas médicas, casas inteligentes, cidades inteligentes, agronomia, meteorologia, indústria, energia e automobilismo. Dave Evans, diretor sênior e chefe de tecnologia da Cisco, afirmou que a Internet das Coisas representa a próxima evolução da internet [5]. Essa evolução nos proporciona um grande aumento na capacidade de coletar, analisar e distribuir dados através da Internet.

Desde o seu surgimento, o mercado da Internet das Coisas cada vez mais vem ga-

²Do inglês *Internet of Things*.

³Sigla do inglês *International Telecommunication Union*.

nhando espaço e crescendo em um ritmo acelerado. O grande impacto que esse segmento de mercado possui em diversas áreas favorece esse crescimento acelerado. Segundo dados da *International Data Corporation* (IDC), os gastos mundiais com a Internet das Coisas poderão chegar a marca de 772 bilhões de dólares em 2018. A previsão da IDC é que esse mercado poderá chegar a marca de 1.1 trilhão de dólares em 2021 [8].

2.3. Android

A *The Open Handset Alliance* é uma aliança entre várias empresas renomadas como Google, HTC, Dell, Intel, Motorola e Qualcomm que se uniram com o objetivo de definir e promover padrões para a telefonia móvel. Em outubro de 2008, a *Open Handset Alliance*, juntamente com a Google, anunciou a disponibilização do código fonte da plataforma Android, onde qualquer pessoa poderia baixar o código fonte e desenvolver qualquer dispositivo móvel baseado nessa plataforma.

O Android é um ambiente de software escrito para dispositivos móveis. A plataforma inclui um Sistema Operacional (OS) baseado em um kernel Linux, uma rica Interface de Usuário (IU), aplicativos de usuário, bibliotecas de código, frameworks de aplicativo e suporte a multimídia [17]. Com a crescente demanda de mercado por dispositivos móveis, o Android possui uma função fundamental de servir como uma camada de software intermediária entre as necessidades dos usuários e as funcionalidades que o hardware dos dispositivos oferecem. Uma das grandes vantagens que a plataforma oferece é integração com a linguagem de programação Java.

Em 2018, a Google anunciou em seu evento anual Google I/O o lançamento do *Android Things*. O *Android Things* permite que qualquer pessoa crie dispositivos inteligentes e conectados para uma ampla variedade de aplicativos de consumo, varejo e industriais [7]. O *Android Things* é uma plataforma de software derivada do Android voltada ao crescente mercado relacionado à Internet das Coisas. Os focos do *Android Things* são a segurança e a estabilidade, dado que programas desenvolvidos para dispositivos relacionados à Internet das Coisas possuem grande dificuldade de receber atualizações relacionadas à segurança e estabilidade.

Segundo o portal Statista, a loja de aplicativos do Android, Google Play, contava com um total de 3,5 milhões de aplicativos publicados em 2017 [16]. Esses dados mostram a importância e a representatividade que a plataforma Android possui no mercado mundial de dispositivos móveis. A principal plataforma concorrente do Android é o iOS, que foi desenvolvido pela Apple.

2.4. Arquitetura Orientada a Serviços

A Arquitetura Orientada a Serviços (SOA)⁴ é um estilo de arquitetura de software em que os recursos de software são empacotados como serviços, que são bem definidos, módulos independentes que fornecem funcionalidade de negócios padrão e são independentes do estado ou contexto de outros serviços [14]. Uma Arquitetura Orientada a Serviços (SOA) é uma evolução da computação distribuída baseada no paradigma de solicitação/resposta para aplicações síncronas e assíncronas [12].

Uma arquitetura SOA possibilita que as funcionalidades de uma aplicação sejam disponibilizadas em forma de serviços. Esses serviços podem ser utilizados por diferentes

⁴Do inglês *Service Oriented Architecture*.

aplicações e tecnologias. Uma das grandes vantagens que uma Arquitetura Orientada a Serviços oferece é uma estrutura padronizada, transparente e eficaz de comunicação entre aplicações que possuem diferentes ambientes, linguagens de programação e configurações.

2.4.1. Serviços Web

Uma característica fundamental para o funcionamento de uma Arquitetura Orientada a Serviços é a divisão clara e objetiva de todos os componentes que fazem parte da arquitetura. O *World Wide Web Consortium* (W3C) define um Serviço Web como um sistema de software projetado para suportar a interação máquina a máquina interoperável em uma rede de computadores [18]. Um Serviço Web funciona como um componente importante da arquitetura responsável por representar as funcionalidades de uma aplicação.

Uma regra de negócio reflete a forma como uma empresa organiza e realiza seus negócios, ou seja, uma regra de negócio é o encapsulamento lógico da função de negócios [10]. Uma empresa de cartão de crédito apenas autoriza uma transação de venda se o cliente possuir o limite de crédito necessário para realizar a compra. Essa regra de negócio pode ser traduzida para um Serviço Web. Sempre que o sistema de venda de alguma loja solicitar uma autorização para realizar uma venda, o Serviço Web será a interface responsável receber a requisição do sistema de venda, realizar os processamentos necessários e enviar uma resposta ao sistema de vendas autorizando ou não a venda de um produto ou serviço.

Os Serviços Web são disponibilizados através de uma Interface de Programação de Aplicações (API)⁵. Uma API expõe um conjunto de dados e funções para facilitar as interações entre programas de computador e permitir que eles troquem informações [13]. Uma API estabelece o padrão de comunicação entre o Serviço Web e as aplicações clientes que utilizam o Serviço Web. Cada API possui uma documentação especificando as suas funcionalidades e a forma como deve ser realizada a troca de informações.

2.4.2. REST

O termo Transferência de Estado Representacional (REST)⁶ foi criado e utilizado pela primeira vez por Roy Thomas Fielding em sua tese de doutorado. Em sua tese, Fielding define REST como sendo uma abstração dos elementos arquiteturais dentro de um sistema hipermídia distribuído [6]. Este estilo arquitetural é derivado de outros estilos baseados em rede. Desta forma, REST é um conjunto de princípios, regras e limitações que possibilitam a comunicação entre diferentes aplicações.

O estilo arquitetural REST possui três elementos arquiteturais principais, são eles: Elementos de dados, Conectores e Componentes. Os Elementos de Dados são representados por recursos, identificadores de recursos, representações, recursos e representações de metadados e controle de dados. Os Conectores são utilizados para encapsular as atividades de acessar recursos e transferir representações de recursos. Os Componentes são

⁵Do inglês *Application Programming Interface*.

⁶Do inglês *Representational State Transfer*.

formados pelos servidores de origem, *proxy*, *gateway* e *user agents* como navegadores web.

3. *Monitoring System*

O *Monitoring System* é uma infraestrutura de monitoramento de temperatura e umidade relativa desenvolvida com o objetivo de monitorar o ambiente climático de lugares que possuem equipamentos que exigem o controle de temperatura e umidade relativa. Existem diversas aplicações para esse sistema como câmaras frias, controle climático de casas e empresas, agricultura e muitos outros. O foco deste trabalho será o monitoramento de temperatura e umidade relativa em Centros de Processamento de Dados.

Existem três subsistemas que compõem a infraestrutura do *Monitoring System*. O primeiro subsistema é um conjunto de componentes eletrônicos que são responsáveis por receber solicitações HTTP, realizar leituras de temperatura e umidade relativa do ambiente e enviar uma resposta HTTP do tipo Json⁷. O segundo subsistema é uma aplicação desenvolvida em linguagem de programação Java que funciona como uma aplicação servidora RESTful recebendo e fornecendo dados de temperatura e umidade relativa. O terceiro subsistema é um aplicativo desenvolvido para a plataforma Android que consome dados fornecidos pela aplicação servidora.

A Figura 1 é um diagrama de implantação que representa cada um dos três subsistemas que formam a infraestrutura do *Monitoring System*. As comunicações entre esses subsistemas é realizada através da Internet utilizando protocolos HTTP e objetos de dados representacionais em formato Json. A aplicação servidora é o subsistema principal. Ela é a ponte de conexão entre o subsistema que fornece dados de temperatura e umidade relativa através dos sensores e o subsistema Android.

A aplicação servidora fica em um servidor web Apache Tomcat que possui uma instância de conexão com um servidor de banco de dados MySQL, onde os dados de temperatura e umidade relativa são salvos. A aplicação servidora também fornece dados para o subsistema Android com médias de temperatura e umidade relativa, dados das últimas leituras realizadas e possibilidade de alterações de configurações como dados de usuários e limites de temperatura e umidade relativa máxima e mínimas aceitáveis.

3.1. Subsistemas

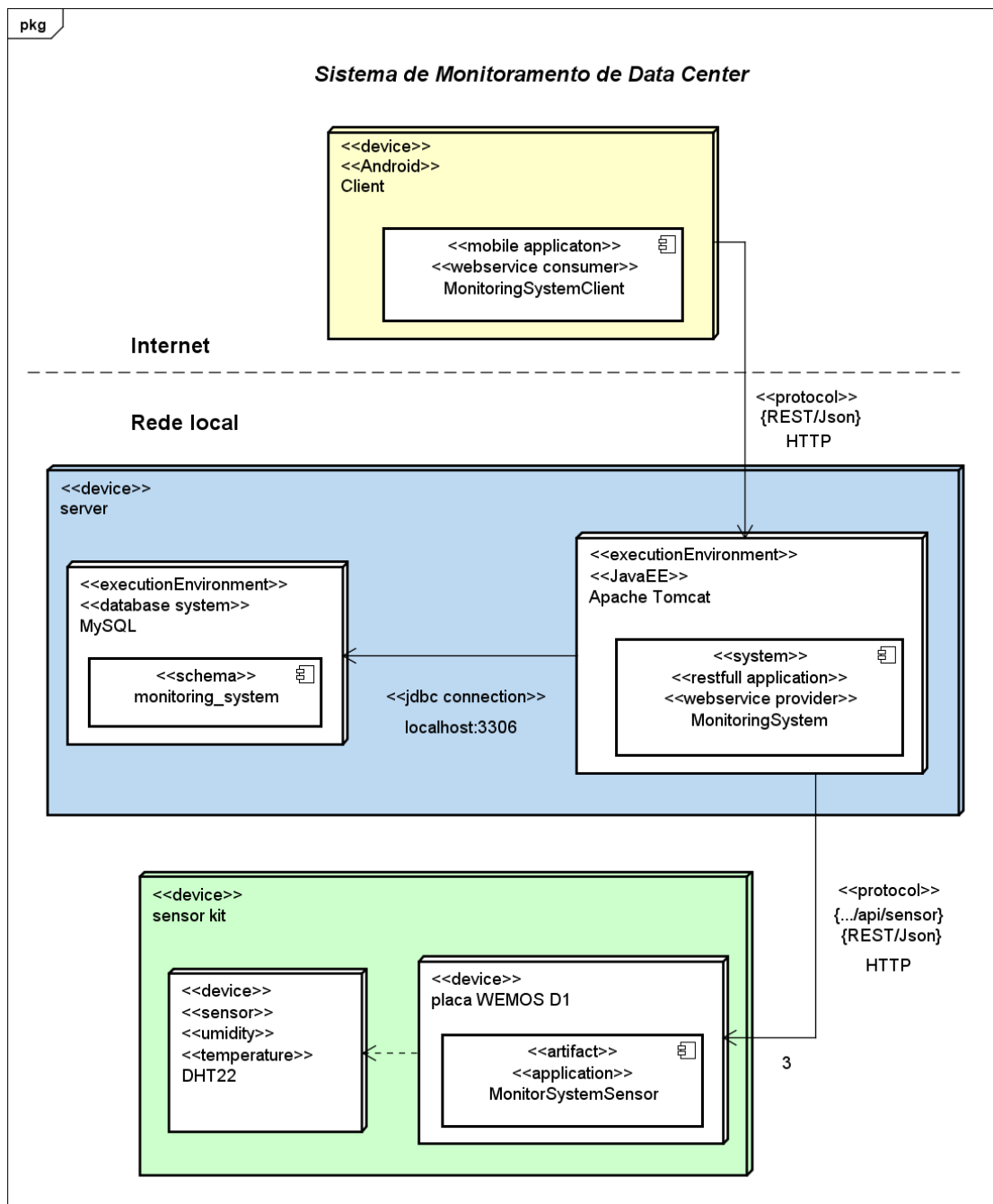
3.1.1. Aplicação Servidora

A aplicação servidora é uma aplicação desenvolvida em linguagem de programação Java baseada no padrão de projeto *Data Access Object* (DAO). O padrão DAO é definido como um objeto que encapsula e abstrai o acesso a dados de um armazenamento persistente ou de um sistema externo [3]. O padrão DAO permite que a implementação do código dos objetos de acesso a dados fique em uma camada diferente da aplicação. Esse tipo de implementação torna a aplicação mais fácil de manter e gerenciar.

A aplicação servidora é responsável por constantemente solicitar dados de temperatura e umidade relativa através de requisições HTTP para o conjunto de componentes eletrônicos que possui um sensor de temperatura e umidade. Esses componentes respondem à requisição HTTP com um conjunto de dados em formato Json. A aplicação

⁷JavaScript Object Notation é uma formatação leve de troca de dados.

Figura 1. Diagrama de implantação do *Monitoring System*.



servidora recebe esses dados, realiza todos os procedimentos necessários para validação desses dados e armazena em um banco de dados do tipo MySQL.

Uma outra função da aplicação servidora é constantemente analisar se a média dos últimos valores de temperatura e umidade relativa salvos no banco de dados estão dentro de uma faixa limite aceitável, que é definida pelo usuário através do aplicativo Android. Quando o sistema identifica alguma anomalia, ou seja, algum valor fora da faixa limite aceitável a aplicação servidora prontamente se conecta a um serviço externo de envio de notificações e através desse serviço notifica os usuários do aplicativo Android sobre a ocorrência do problema.

3.1.2. Componentes Eletrônicos

A placa Wemos D1 é uma placa compatível Arduino Uno que possui conectividade Wifi. Essa placa foi desenvolvida pela empresa chinesa Wemos. A Wemos é uma empresa especializada no desenvolvimento de produtos voltados para a Internet das Coisas. Abaixo segue algumas especificações técnicas da placa Wemos D1 fornecidas pelo fabricante.

- 1 microcontrolador ESP-8266EX
- 11 pinos digitais de entrada e saída
- 1 pino analógico de entrada
- 1 Entrada micro USB
- Voltagem de operação 3.3V
- 1 entrada de energia 9-24V
- Compatibilidade com Arduino
- Compatibilidade com NodeMCU

Essa placa possui um microcontrolador do tipo ESP-8266EX que foi desenvolvido pela empresa chinesa Espressif. Esse microcontrolador possui a capacidade de conexão com a rede Wifi. Quando corretamente configurada, a placa se conecta à rede Wifi e adquire um endereço de IP dessa rede. A placa passa a responder as requisições HTTP que são feitas para o endereço de IP que a placa adquiriu. Por se tratar de uma placa compatível Arduino Uno, ela possui todos os recursos e comandos que podem ser aplicados ao Arduino Uno.

A configuração e programação da placa é feita através do Arduino IDE. O Arduino IDE é um ambiente de desenvolvimento que foi criado pela empresa responsável pela fabricação das placas Arduino. A linguagem de programação utilizada para programar a placa Arduino é uma Linguagem Específica de Domínio (DSL), que foi desenvolvida baseada em na linguagem C/C++. O código desenvolvido e compilado deve ser transferido para a memória do microcontrolador. Essa transferência é feita através da entrada micro USB da placa. Com o auxílio de uma fonte de alimentação elétrica, o microcontrolador passa a executar o código salvo na memória em um laço infinito.

O sensor DHT22 é um sensor de temperatura e umidade relativa que foi desenvolvido pela empresa Norte Americana Adafruit. Esse sensor é composto por um sensor capacitivo de umidade relativa e um termistor, que é um semicondutor sensível à temperatura. Esse conjunto possui um microchip que faz a conversão de sinais analógicos para sinais digitais. Abaixo segue algumas especificações técnicas do sensor de temperatura e umidade relativa DHT22 fornecidas pelo fabricante.

- Voltagem de operação de 3V a 5V
- Margem de precisão de temperatura de +- 0,5°C
- Faixa de medição de temperatura de -40°C a 80°C
- Margem de precisão de umidade de 2% a 5%
- Faixa de medição de umidade de 0% a 100%

A placa Wemos D1 fica aguardando requisições HTTP e quando recebe uma requisição ela realiza o processamento necessário para converter os sinais digitais fornecidos pelo sensor de temperatura e umidade relativa em números flutuantes e retorna uma resposta em formato Json para a aplicação que realizou a requisição. Essa resposta possui uma estrutura que conta com a identificação da placa e os valores de temperatura e umidade relativa. A aplicação servidora quando realiza as requisições e recebe as respostas, faz a validação dos dados recebidos para garantir que os dados não estão com algum problema e esses dados são salvos no banco de dados MySQL. A Figura 2 é exemplo de como é o formato da resposta Json gerada pela placa Wemos D1.

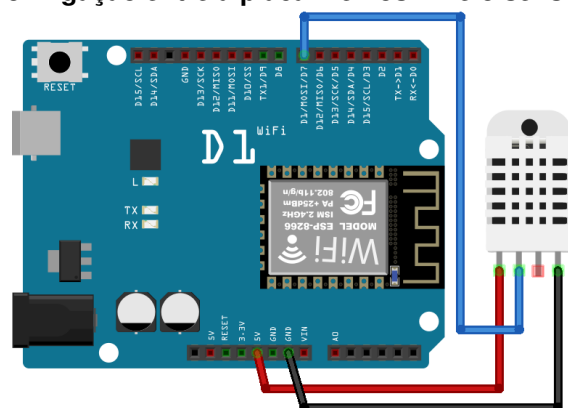
Figura 2. Exemplo de resposta Json enviada pela placa Wemos D1.

```

1  {
2    "server_id": 1,
3    "server_name": "Server One",
4    "temperature": 28.5,
5    "humidity": 60.8
6  }
```

Para um melhor controle dos componentes eletrônicos que formam o conjunto, eles foram conectados através de uma placa de ensaio de circuitos elétricos. A Figura 3 representa a ligação entre os componentes eletrônicos da placa Wemos D1 e o sensor de temperatura e umidade relativa DHT22.

Figura 3. Ligação entre a placa Wemos D1 e o sensor DHT22



3.1.3. Aplicativo Android

O monitoramento da temperatura e umidade relativa é feita através da aplicação servidora desenvolvida em linguagem de programação Java. Essa aplicação possui a responsabili-

dade de realizar o monitoramento e fornecer dados através da sua estrutura REST. A forma para acompanhar as medições realizadas pela aplicação servidora é através do aplicativo para Android. O aplicativo foi desenvolvido para consumir os dados que são armazenados pela aplicação servidora.

O aplicativo Android foi desenvolvido baseado no padrão arquitetural *Model-View-Presenter* (MPV). O MVP é um padrão arquitetural que possibilita a divisão do código da aplicação em camadas. Seu principal objetivo é separar a camada de apresentação (*View*) da camada de modelo (*Model*). A camada de apresentação é composta pelas telas de apresentação do aplicativo, que são as *Activities* do Android. A camada de modelo concentra as regras de negócio do aplicativo e a comunicação entre essas camadas é gerenciada pela camada *Presenter*.

Através do aplicativo Android, o usuário é capaz de realizar cadastro de contas, realizar login, acompanhar os valores médios de temperatura e umidade relativa, alterar as configurações de limite máximo e mínimo de temperatura e umidade relativa, alterar o período de leitura realizada pelo servidor e visualizar um gráfico com as médias de temperaturas e umidades relativas dos 3 sensores que enviam dados para a aplicação servidora.

4. Avaliação

A avaliação e implantação do *Monitoring System* em um Centro de Processamento de Dados foi dividida em algumas etapas. A primeira etapa foi a preparação da avaliação, onde foi necessário realizar algumas configurações como, por exemplo, preparar uma rede de Internet com uma autenticação suportada pela placa Wemos D1 e definir os locais onde as placas iriam ficar durante o período de captação de dados.

A segunda etapa do processo de avaliação foi a definição dos questionamentos e objetivos do experimento. Nesta etapa foram definidos os questionamentos a serem respondidos com os dados coletados e as métricas que seriam utilizadas para a obtenção dos dados. Após a segunda etapa foi realizada a coleta dos dados.

A última etapa do processo de avaliação foi a análise e interpretação dos dados. Ao final do processo de captura desses dados, eles estavam salvos em uma base de dados MySQL. Foram definidas algumas consultas SQL⁸ para a obtenção de dados como, por exemplo, a média das leituras de temperatura e umidade relativa.

4.1. Preparação da Avaliação

Para realizar a implantação da infraestrutura do *Monitoring System* foi necessária a criação de uma rede de Internet específica para a conexão das placas Wemos D1. Essa necessidade ocorreu por causa de uma incompatibilidade entre os protocolos de autenticação suportados pelas placas Wemos D1 e os protocolos requeridos pela rede da Faculdade de Computação (Facom). O segundo passo foi a definição de três endereços de IP estáticos para cada uma das placas Wemos D1. Uma das principais funções da aplicação servidora é realizar requisições constantes aos endereços de IP das placas.

O equipamento responsável por designar endereços de IP para os dispositivos é o roteador. Alguns roteadores cedem os endereços de IP para os dispositivos por um

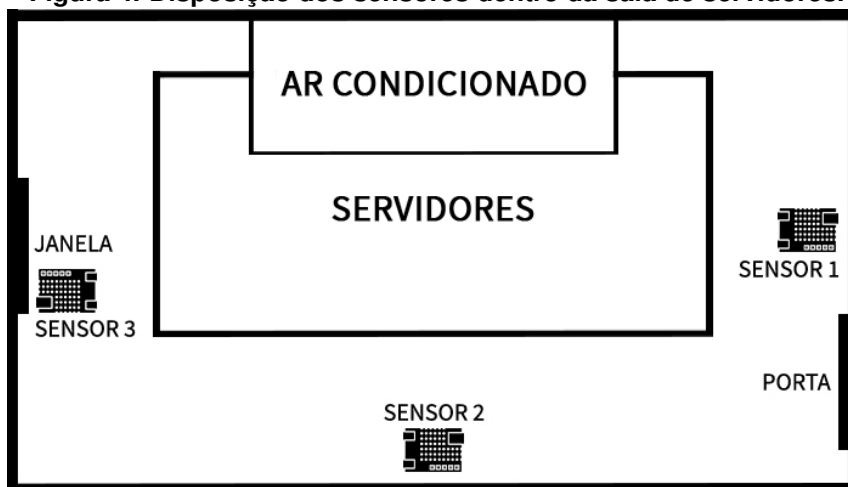
⁸Sigla do inglês *Structured Query Language*.

determinado tempo. Quando esse tempo expira, o roteador pode renovar o período ou definir um novo endereço de IP para o dispositivo. Para garantir que as placas Wemos D1 tivessem sempre o mesmo endereço de IP foram definidos endereços de IP estáticos relacionados aos endereços MAC das placas.

A implantação da infraestrutura foi realizada em um dos Centros de Processamento de Dados que se encontram dentro da Facom. A sala possui um formato retangular e abriga servidores responsáveis por hospedar alguns dos serviços online. A sala possui um aparelho de ar condicionado principal localizado no centro da sala, que é responsável por manter o controle de temperatura do ambiente.

Os três sensores de temperatura e umidade relativa foram distribuídos de forma uniforme dentro da sala com o objetivo de possibilitar a leitura de temperatura e umidade relativa em diferentes áreas da sala. O sensor 1 foi colocado próximo a uma parede lateral ao aparelho de ar condicionado. A porta de entrada da sala fica nessa parede. O sensor 2 foi colocado próximo a uma parede paralela ao aparelho de ar condicionado. O sensor 3 ficou próximo a outra parede lateral ao aparelho de ar condicionado e do lado oposto a parede do sensor 1. A parede próxima ao sensor 3 possui uma janela. A Figura 4 é um desenho que representa a sala onde fica o Centro de Processamento de Dados e a disposição que os sensores ficaram durante o experimento.

Figura 4. Disposição dos sensores dentro da sala de servidores.



4.2. Planejamento da Avaliação

Para realizar a implantação do *Monitoring System* foram definidos dois questionamentos principais. Esses questionamentos visavam analisar duas características importantes do local, que era verificar se a variação de temperatura e umidade relativa estavam de acordo com os padrões estabelecidos pela ASHRAE e se existiam variações de temperatura e umidade relativa em diferentes áreas do local.

Para cada um dos questionamentos foram definidos métricas para mensurar os dados coletados e responder aos questionamentos. Foram definidas doze métricas, que são as variáveis que se desejava mensurar.

- *Questão 1.* Os valores mínimo, médio e máximo para temperatura e umidade

relativa dentro do Centro de Processamento de Dados estão de acordo com os padrões estabelecidos pela ASHRAE?

- *M1*. Temperatura mínima atingida entre os sensores;
- *M2*. Temperatura máxima atingida entre os sensores;
- *M3*. Temperatura média atingida entre os sensores;
- *M4*. Umidade relativa mínima atingida entre os sensores;
- *M5*. Umidade relativa máxima atingida entre os sensores;
- *M6*. Umidade relativa média atingida entre os sensores;
- *Questão 2*. Existem variações de temperatura e umidade relativa entre diferentes áreas dentro do Centro de Processamento de Dados?
 - *M7*. Temperatura média do sensor 1;
 - *M8*. Temperatura média do sensor 2;
 - *M9*. Temperatura média do sensor 3;
 - *M10*. Umidade relativa média do sensor 1;
 - *M11*. Umidade relativa média do sensor 2;
 - *M12*. Umidade relativa média do sensor 3;

Para auxiliar no processo de monitoramento e mensuração das métricas foram definidas duas estratégias. Essas estratégias estão relacionadas as questões 1 e 2 e auxiliam os usuários em uma rápida visualização das métricas definidas.

- *Estratégia 1*

- A estratégia 1 está relacionada a questão 1 e ao acompanhamento em tempo real das leituras médias de temperatura e umidade relativa. Durante o desenvolvimento da aplicação servidora, foram criados alguns componentes que fornecem a média das dez últimas leituras de temperatura e umidade relativa. Esses valores são fornecidos para o subsistema Android. Essas são as primeiras informações que são visualizadas quando algum usuário entra no aplicativo Android.

- *Estratégia 2*

- A estratégia 2 está relacionada a questão 2 e ao acompanhamento em tempo real da variação de temperatura e umidade relativa entre diferentes áreas dentro do Centro de Processamento de Dados. Durante o desenvolvimento da aplicação servidora foram criados alguns componentes que fornecem dados de temperatura e umidade relativa por sensores. Esses valores são utilizados no subsistema Android para a criação de um gráfico que mostra as variações captadas por cada um dos sensores.

4.3. Análise e Interpretação dos Dados

A análise dos dados obtidos após o período de implantação foi baseada nos questionamentos estabelecidos. Para a questão 1 foi observado que o valor da média de temperatura máxima atingida captada pelos 3 sensores foi de 19.6°C. O valor da média de temperatura mínima atingida captada pelos 3 sensores foi de 18.9°C. Essa observação favorece a conclusão de que a variação de temperatura dentro do Centro de Processamento de Dados está de acordo com o padrão recomendado pela ASHRAE, que é uma variação de 18°C até 27°C.

A média de umidade relativa máxima atingida captada pelos 3 sensores foi de 45.7%. O valor da média de umidade mínima atingida captada pelos 3 sensores foi de 43.6%. Esses dados observados favorecem a conclusão de que a variação de umidade relativa dentro do Centro de Processamento de Dados está de acordo com o padrão recomendado pela ASHRAE, que é uma variação entre 20% e 60%. A Tabela 2 contém os valores de temperatura e umidade relativa máximas e mínimas captadas pelos sensores durante o experimento.

Tabela 2. Temperaturas e umidades relativas máximas e mínimas por sensor.

Métricas	Sensor 1	Sensor 2	Sensor 3	Média
Temperatura Máxima Atingida	19,8°C	18,0°C	21,2°C	19,6°C
Temperatura Mínima Atingida	19,2°C	17,3°C	20,4°C	18,9°C
Umidade Máxima Atingida	46.1%	46.6%	44.4%	45.7%
Umidade Mínima Atingida	44.2%	45.1%	41.6%	43.6%

Para a questão 2 foi observado que existe uma variação de temperatura e umidade relativa em diferentes pontos dentro da sala. Essas variações estão principalmente relacionadas a elementos como janela, porta e posição do aparelho de ar condicionado.

A área mais fria dentro da sala é local onde ficou o sensor 2. Essa área fica em frente ao aparelho de ar condicionado e recebe maior incidência do ar gelado que sai do aparelho. O ponto médio da variação de temperatura captada pelo sensor 2 foi de 17.6°C. O ponto médio da variação de umidade relativa captada pelo sensor 2 foi de 45.8%.

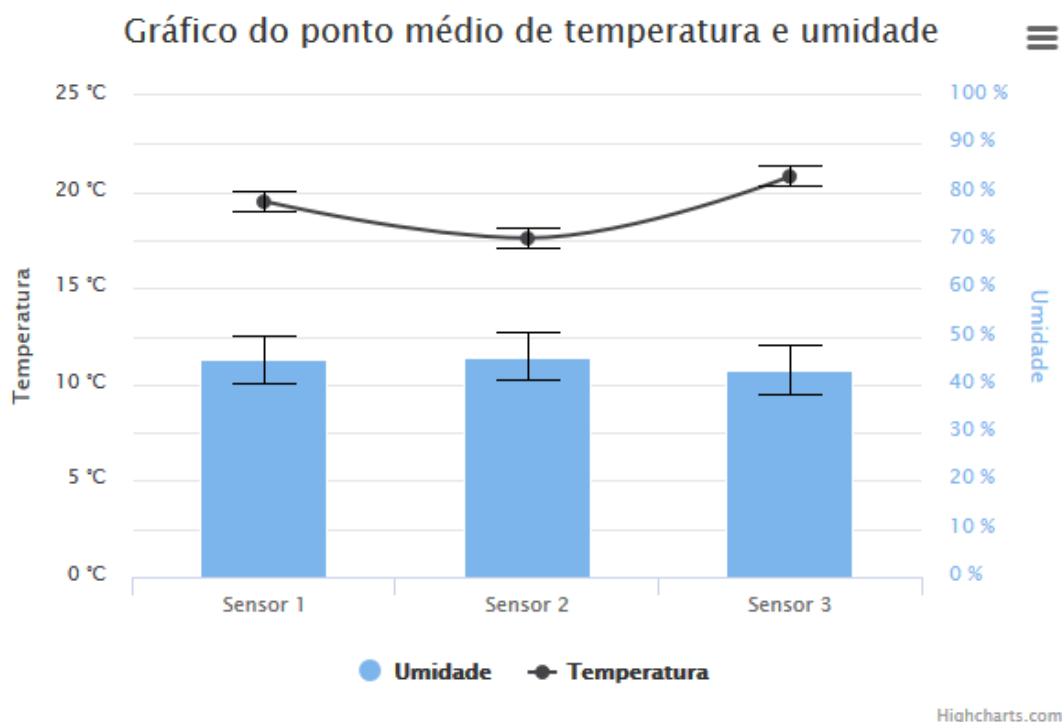
A área mais quente dentro da sala é o local onde ficou o sensor 3. Essa área fica na lateral do aparelho de ar condicionado, portanto não recebe uma incidência direta do ar gelado que sai do aparelho. Outro fator que contribui para que essa área seja mais quente é a janela que existe na parede. Essa janela possui uma cortina e permite a entrada parcial da luz solar, que naturalmente aquece essa área. O ponto médio da variação de temperatura captada pelo sensor 3 foi de 20.8°C. O ponto médio da variação de umidade relativa captada pelo sensor 3 foi de 43%.

Dentre as áreas monitoradas pelos sensores, a área que apresentou uma variação que ficou entre a área mais fria e a mais quente foi a área do sensor 1. A parede próxima onde ficou o sensor 1 também fica na lateral do aparelho de ar condicionado e não recebe a incidência direta de ar gelado do aparelho.

Outro elemento característico da parede próxima a área onde ficou o sensor 1 é a presença de uma porta para a entrada e saída de pessoas. O fato da porta estar constantemente trancada e poucas pessoas possuírem as chaves de acesso faz com que a circulação de pessoas seja pequena e a porta não seja aberta com muita frequência. Ao contrário da área onde ficou o sensor 3, a área do sensor 1 não recebe incidência de luz solar.

Conforme pode ser visualizado na Figura 5, o ponto médio da variação de temperatura observada na área do sensor 1 foi de 19.4°C. O ponto médio da variação de umidade observada na área do sensor 1 foi de 45.1%. Desta forma, a área próxima ao sensor 1 é um meio termo entre a área mais quente e a área mais fria dentro do Centro de Processamento de Dados.

Figura 5. Gráfico representando o ponto médio das leituras de temperatura e umidade.



5. Conclusão

Em uma era em que a informação é um dos bens mais valiosos para uma organização, a constante preocupação com o correto armazenamento e gerenciamento dessas informações, pode ser um dos fatores fundamentais que definem um possível sucesso ou fracasso de uma organização. Serviços online indisponíveis podem representar grandes prejuízos financeiros para uma organização.

A Internet das Coisas fornece muitas ferramentas para o processo de monitoramento de temperatura e umidade relativa através da Internet. A utilização de um servidor Restful com uma API bem definida possibilita que os dados possam ser facilmente compartilhados entre diferentes dispositivos e plataformas, inclusive em umas das plataformas que mais cresce no cenário de dispositivos móveis, que é a plataforma Android.

O constante monitoramento em Centros de Processamento de Dados favorece não só a identificação de problemas, mas também a prevenção desses problemas. Centros de Processamento de Dados exigem investimentos em infraestrutura e monitoramento, por causa do alto valor financeiro agregado aos dados que os servidores armazenam.

O *Monitoring System* é uma infraestrutura que é capaz de realizar o monitoramento de temperatura e umidade relativa em Centros de Processamento de Dados. A infraestrutura correspondeu aos requisitos e cumpriu os objetivos para o quais foi desenvolvida. Através dos dados obtidos pelo monitoramento foi possível identificar pontos de desequilíbrio de temperatura e umidade relativa dentro do Centro de Processamento de Dados da Facom.

A facilidade de acompanhamento e alteração de configurações através do subsistema Android é um dos grandes diferenciais oferecidas por essa infraestrutura. O acompanhamento pode ser feito de forma remota em qualquer horário através de um dispositivo móvel conectado à Internet. Outra grande vantagem da infraestrutura é a facilidade de agregar novos sensores, sendo necessário apenas configurar os novos sensores com um endereço de IP de uma rede de Internet e indicar esses endereços de IP na aplicação servidora. Desta forma, a aplicação servidora passa a ser capaz de solicitar e armazenar os dados dos novos sensores.

5.1. Dificuldades Encontradas

1. Um dos subsistemas que fazem parte do *Monitoring System* é composto por componentes eletrônicos. Para realizar as configurações necessárias foi preciso buscar bibliografias relacionadas ao assunto. Por se tratar de um tópico que não é abordado no curso de Sistemas de Informação, foi necessário um esforço para compreender os conceitos.
2. A linguagem de programação base do subsistema da aplicação servidora é o Java. Para programar todos os requisitos da aplicação foi necessário buscar bibliografias e tutoriais que auxiliaram no processo de desenvolvimento da aplicação.

5.2. Limitações

1. A placa Wemos D1 possui uma incompatibilidade com relação ao protocolo de autenticação suportado pela placa e o protocolo requerido pela rede da Facom. Foi necessário a utilização de um roteador que possui um protocolo de autenticação compatível com a placa Wemos D1.
2. O sistema de notificações é realizado por um serviço externo fornecido pela empresa Google. Esse serviço se chama *Google Cloud Messaging*. Esse sistema possui atrasos dependendo do tipo de dispositivos utilizado para conexão com a Internet.

5.3. Trabalhos Futuros

O modo atual de visualizar e alterar as configurações e dados da aplicação servidora é através do aplicativo Android. O aplicativo se conecta ao servidor para realizar as ações de interesse do usuário. Uma sugestão de trabalho futuro é a implementação de uma aplicação web como uma alternativa para visualização e alteração dos dados do servidor. Desta forma, o usuário poderá utilizar mais de um único meio para acessar e alterar as configurações da aplicação servidora.

Uma outra sugestão de trabalho futuro é a utilização do Framework Isalyne [4] como um dos componentes que formam a infraestrutura do *Monitoring System*. O Framework Isalyne é um framework desenvolvido para aplicações autoadaptativas. A utilização do Isalyne favorece a identificação de estações de leitura de temperatura e umidade relativa que não estejam funcionando corretamente. Desta forma, é possível utilizar estações de redundância e quando for identificado um mal funcionamento, o servidor passa a solicitar dados de alguma outra estação diferente daquela identificada com mal funcionamento. Isso favorece uma segurança maior na coleta de dados.

Referências

- [1] Refrigerating American Society of Heating and Air-Conditioning Engineers. Thermal guidelines for data processing environments. Relatório técnico, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, Georgia, 2015.
- [2] Refrigerating American Society of Heating and Air-Conditioning Engineers. Data center power equipment thermal - guidelines and best practices. Relatório técnico, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, Georgia, 2016.
- [3] John Crup e Dan Malks Deepak Alur. *core J2EE PATTERNS*. Sun Microsystems Press, 2012.
- [4] Jane Dirce Alves Sandim Eleutério. *A Formal Approach to Software Architecture*. Tese de Doutorado, Universidade de Campinas - UNICAMP, 2017.
- [5] Dave Evans. A Internet das Coisas - Como a próxima evolução da Internet está mudando tudo. Relatório técnico, Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG), SanJose, CA, 2006.
- [6] Roy Thomas Fielding. *Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures*. Tese de Doutorado, University of California, School of Computer Science, 200. Disponível em: <http://www.ics.uci.edu/~fielding/pubs/dissertation/top.htm>, acessado em 02/05/2018.
- [7] Google. Android things [on-line]. Disponível em: <https://developer.android.com/things>, acessado em 20/05/2018.
- [8] International Data Corporation (IDC). Idc forecasts worldwide spending on the internet of things to reach \$772 billion in 2018 [on-line]. Disponível em: <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS43295217>, acessado em 10/06/2018.
- [9] International Telecommunication Union. Internet of things global standards initiative [on-line]. Disponível em: <https://www.itu.int/en/ITU-T/gsi/iot/Pages/default.aspx>, acessado em 27/04/2018.
- [10] Marcia Kaufman Fern Halper Judith Hurwitz, Robin Bloor. *Service Oriented Architecture For Dummies*. Wiley Publishing, Inc., 2007.
- [11] Kevin Ashton. That 'internet of things' thing [on-line]. Disponível em: <http://www.rfidjournal.com/articles/view?4986>, acessado em 27/04/2018.
- [12] Raghu R. Kodali. What is service-oriented architecture? [on-line]. Disponível em: <https://www.javaworld.com/article/2071889/soa/what-is-service-oriented-architecture.html>, acessado em 20/05/2018.
- [13] Mark Massé. *REST API Design Rulebook*. O'Reilly Media, Inc, 2011.
- [14] Mike P. Papazoglou and Willem-Jan van den Heuvel. Service oriented architectures: approaches, technologies and research issues. *The VLDB Journal*, 2007.
- [15] Paulo R. de S. e Silva Filho Phillipe S. Cavalcante e Alejandro C. Frery Rian G. S. Pinheiro1, Endhe E. Soares. Monitoramento de um data center usando redes de sensores sem fio – um estudo de caso. 2010.

- [16] Statista - The Statistic Portal. Number of available applications in the google play store from december 2009 to december 2017 [on-line]. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/266210/number-of-available-applications-in-the-google-play-store/>, acessado em 27/04/2018.
- [17] Robi Sen e Chris King W. Frank Ableson. *Android em Ação – 3ª Edição*. ELSEVIER, 2012.
- [18] Web Services Architecture - W3. Web services architecture [on-line]. Disponível em: <https://www.w3.org/TR/ws-arch/>, acessado em 02/05/2018.