

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**CARLOS SOLON SOARES GUIMARÃES JUNIOR**

**ARQUITETURA ATIIOT:  
INTEGRANDO TECNOLOGIAS ASSISTIVAS COM  
INTERNET DAS COISAS**

Porto Alegre

2019

**CARLOS SOLON SOARES GUILMARÃES JUNIOR**

**ARQUITETURA ATIIOT:  
INTEGRANDO TECNOLOGIAS ASSISTIVAS COM  
INTERNET DAS COISAS**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Elétrica.

Área de concentração: Controle e Automação

ORIENTADOR: Prof. Dr. Carlos Eduardo Pereira

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. Renato Ventura

Bayan Henriques

Porto Alegre

2019

CARLOS SOLON SOARES GUIMARÃES JUNIOR

**ARQUITETURA ATIoT:  
INTEGRANDO TECNOLOGIAS ASSISTIVAS COM  
INTERNET DAS COISAS**

Esta tese foi julgada adequada para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Elétrica e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Carlos Eduardo Pereira, UFRGS

Doutor pela Universidade de Stuttgart – Stuttgart, Alemanha

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Teodiano Freire Bastos Filho, PPGEE-UFES

Doutor pela Universidad Complutense de Madrid – Madrid, Espanha

Prof. Dr. Edson Prestes e Silva Jr., PPGC-UFRGS

Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre, Brasil

Prof. Dr. Walter Fetter Lages, PPGEE-UFRGS

Doutor pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica – São José dos Campos, Brasil

Prof. Dr. Ivan Müller, PPGEE-UFRGS

Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre, Brasil

Prof. Dr. Rodrigo da Silva Guerra, PPGEE-UFSM

Doutor pela Universidade de Osaka – Osaka, Japão

Coordenador do PPGEE: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. João Manoel Gomes da Silva Jr.

Porto Alegre, Julho de 2019.

## DEDICATÓRIA

Nessa fase de minha vida, não faltaram empenho, dedicação e incentivo por parte daqueles que estiveram sempre ao meu lado. É a eles que desejo expressar reconhecimento e gratidão.

Aos meus familiares, pais, irmãos, minha companheira Roberta e minha filha Maria Tereza, por serem luz, conforto, incentivo e força na minha vida.

Ao meu orientador, Professor Dr. Carlos Eduardo Pereira, pela paciência, oportunidade e incentivo. Ao meu coorientador, Professor Dr. Renato Ventura Bayan Henriques, pela confiança, compreensão e apoio de sempre. Ambos me apoiaram, permitindo-me alcançar o objetivo maior do meu projeto: "promover a inclusão de pessoas com deficiência e idosos na sociedade através do desenvolvimento contínuo de Tecnologias Assistivas". Do mesmo modo, agradeço aos Professores Dr. Teodiano Freire Bastos Filho e Dr. Walter Fetter Lages, por todo auxílio, inspiração e colaboração científica, tão importantes nas heurísticas da pesquisa.

## **AGRADECIMENTOS**

A seguir, reporto os meus agradecimentos aos demais professores da UFRGS, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica dessa universidade, ao apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela provisão da bolsa de doutorado, e aos demais colegas e funcionários.

Do mesmo modo, agradeço aos pesquisadores e amigos, Yves Ludovico Coelho e Wagner da Silva Silveira, os quais foram essenciais para os testes de integração e validação desta tese.

Enfim, a todos que me incentivaram, meu agradecimento. Também a eles, o meu compromisso: levar adiante o princípio de solidariedade, tão abordado em minha tese, não apenas como objeto de estudos acadêmicos, mas também como projeto de vida.

## RESUMO

A inclusão de pessoas com deficiência e idosos na sociedade progrediu significativamente através do desenvolvimento contínuo de Tecnologias Assistivas, normas, políticas e diretrizes, combinadas com o uso de Tecnologias de Informação e Comunicação. Uma tendência tecnológica muito recente que terá impacto na sociedade (e, portanto, na inclusão) é a Internet das Coisas. Para criar uma infraestrutura que funcione para todos, a acessibilidade deve ser levada em consideração em todas as etapas do processo de desenvolvimento. As pessoas com deficiência são um grupo heterogêneo e cada caso individual precisa ser cuidadosamente examinado ao considerar como e quais componentes de hardwares e softwares devem ser construídos ou adaptados em quais circunstâncias. Atualmente, há uma grande variedade de dispositivos e aplicações que podem ser ou já estão integrados à Internet das Coisas, talvez a barreira mais significativa para que as pessoas com deficiência possam tirar pleno partido dessa tendência tecnológica é garantir que todos os intervenientes nos ecossistemas considerem a acessibilidade ao desenvolverem novas tecnologias, produtos ou serviços. Esta tese apresentará uma arquitetura que tem como objetivo facilitar a integração das Tecnologias Assistivas com à Internet das Coisas, de forma a permitir a inserção de todos na sociedade da informação. A camada de aplicação da arquitetura propõe um sistema na internet para prover serviços supervi-sórios para análises das Tecnologias Assistivas, que conseqüentemente, estendem-se para as pessoas com deficiências e ecossistemas aos quais pertencem. As camadas da arquitetura são dotadas com sistemas multiagentes dedicados ou especializados nas Tecnologias Assistivas.

**Palavras-chave:** *Tecnologia Assistiva, Internet das Coisas, Robótica, Robot Operating System, Framework e Middleware.*

## ABSTRACT

The inclusion of people with disabilities and older people in society has made significant progress through the continued development of Assistive Technologies, standards, policies and guidelines combined with the use of Information and Communication Technologies. A very recent technological trend that will impact society (and therefore inclusion) is the Internet of Things. To create an infrastructure that works for everyone, accessibility must be considered at all stages of the development process. People with disabilities are a heterogeneous group and each individual case needs to be carefully examined when considering how and what hardware and software artifacts should be constructed or adapted under which circumstances. Today, there is a wide variety of devices and applications that may or may already be integrated into the Internet of Things, perhaps the most significant barrier for people with disabilities to take full advantage of this technological trend is to ensure that all actors in ecosystems consider accessibility when developing new technologies, products or services. This thesis will present an architecture that aims to facilitate the integration of Assistive Technologies with the Internet of Things, in order to allow the insertion of everyone in the information society. The architecture application layer proposes a system on the internet to provide supervisory services for assistive technology analysis, which consequently extends to people with disabilities and ecosystems to which they belong. The architectural layers are endowed with dedicated or specialized multi-agent systems in Assistive Technologies.

**Keywords: Assistive Technology, Internet of Things, Robotics, Robot Operating System, Framework and Middleware.**

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Atualmente a produção científica sobre IoT para TA está abaixo em relação as outras áreas. . . . .	22
Figura 2 – Na alínea a) alguns tipos de deficiência; em b) tecnologias assistivas. . . . .	24
Figura 3 – Áreas para aplicações da IoT. . . . .	38
Figura 4 – Cisco IBSG estimou o número de dispositivos conectados por pessoa. . . . .	40
Figura 5 – O <i>Hype Cycle</i> do Gartner divulgado em Julho de 2015 mostra a IoT como uma das principais tecnologias emergentes. . . . .	41
Figura 6 – <i>Frameworks</i> para desenvolvimento orientados a objetos. . . . .	43
Figura 7 – <i>Frameworks</i> para desenvolvimento orientados a componentes. . . . .	46
Figura 8 – Dois <i>subscriber</i> assinando dois tópicos diferentes. O <i>publisher</i> A está publicando os dois tópicos, enquanto o <i>publisher</i> B publica apenas um. . . . .	48
Figura 9 – O <i>broker</i> atua como um nó de distribuição e controle para toda a comunicação. . . . .	49
Figura 10 – Uma rede de <i>brokers</i> que encaminham mensagens para diferentes partes do sistema. . . . .	49
Figura 11 – Abordagem orientada a serviços (SOA). . . . .	50
Figura 12 – Os cinco blocos de construção de tecnologia. . . . .	52
Figura 13 – Um ambiente de IoT baseado em nuvem para TA. . . . .	56
Figura 14 – Modelo conceitual da arquitetura proposta. . . . .	59
Figura 15 – Cidades inteligentes para todos. . . . .	61
Figura 16 – Modelo de referência Parcial da Gartner para IoT. . . . .	75
Figura 17 – Modelo de referência Parcial da IBM para arquitetura IoT. . . . .	77
Figura 18 – Arquitetura IoT em perspectiva simples da IBM. . . . .	83
Figura 19 – Modelo de Referência da Cisco para IoT. . . . .	85
Figura 20 – Modelo de Referência Parcial da Intel para IoT. . . . .	87
Figura 21 – Fluxo de Dados para Dispositivos sem Conectividade Nativa com a Internet. . . . .	89
Figura 22 – Modelo de Referência Parcial da Microsoft para IoT. . . . .	92
Figura 23 – Hierarquia de necessidades de Maslow. . . . .	95
Figura 24 – Hierarquia de necessidades de Maslow adaptado para IoT. . . . .	95



Figura 25 – Visão geral da arquitetura ATIoT integrando TA com IoT. . . . .	97
Figura 26 – Arquitetura ATIoT e seus níveis (ou camadas). . . . .	98
Figura 27 – Modelo de referência da arquitetura ATIoT. . . . .	100
Figura 28 – Pilha de software para a camada de borda. . . . .	101
Figura 29 – Pilha de software para a camada de névoa. . . . .	103
Figura 30 – Pilha de software para a camada de nuvem. . . . .	105
Figura 31 – Modelo de Referência da Arquitetura ATIoT. . . . .	107
Figura 32 – Arquitetura baseada no modelo de referência ATIoT para desenvolvi- mento e validação. . . . .	109
Figura 33 – O conceito de XML-RPC aplicado no projeto. . . . .	110
Figura 34 – Arquitetura parcial para o VPS (Nó A). . . . .	112
Figura 35 – Acesso ao Nó A usando SSH. Comandos executados para apresentar as versões dos principais serviços instalados para este estudo de caso: Pritunl e ROS. . . . .	113
Figura 36 – Servidor Pritunl (Nó A) para conexão e gerenciamento dos Nós B e C na VPN. . . . .	113
Figura 37 – O comando "roscore" executa o servidor XML-RPC no Nó A, o qual passa a ser o ROS mestre. . . . .	114
Figura 38 – Arquitetura parcial para o dispositivo <i>smartphone</i> com Android (Nó B). . . . .	116
Figura 39 – Nó B: app OVPN (à esquerda) e app AW (à direita). . . . .	116
Figura 40 – DW para reconhecimento de atividades humanas aplicado a idosos. . . . .	119
Figura 41 – Diagrama de blocos do <i>firmware</i> . . . . .	120
Figura 42 – Classificador hierárquico baseado em perceptrons. . . . .	121
Figura 43 – Arquitetura parcial para o VPS (Nó C). . . . .	122
Figura 44 – Modelo do back-end e front-end web usado para construção do sis- tema Web de monitoramento do DW. . . . .	123
Figura 45 – Diagrama de classes parcial do front-end web de monitoramento. . . . .	124
Figura 46 – Ambiente do terminal shell do Nó C para acesso e gerenciamento da máquina do VPS. Os três últimos dados coletados de uma janela de 15 segundos são apresentados no final do terminal. . . . .	126
Figura 47 – Sistema de monitoramento web para o DW. . . . .	128
Figura 48 – Modelo Conceitual da bengala eletrônica. . . . .	129
Figura 49 – Diagrama de implantação da bengala eletrônica. . . . .	130
Figura 50 – Protótipo da bengala eletrônica inteligente. . . . .	132
Figura 51 – Protótipo para serviço de localização de TA para macro-escala ( <i>out- door</i> ). . . . .	133
Figura 52 – Protótipo para serviço de domótica para TA. . . . .	134
Figura 53 – Protótipo para serviço de localização de TA para micro-escala ( <i>indoor</i> ). . . . .	134

Figura 54 – Protótipo do serviço de monitoramento e análise de métricas das TA. 135

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Resultados referentes aos anos: 2015, 2018, 2019 e a qualquer momento. . . . .	21
Tabela 2 –	IoT para pessoas com deficiência: funções, categoria de aplicativos, benefícios e trabalhos futuros. . . . .	72
Tabela 3 –	Continuação . . . . .	73
Tabela 4 –	Tabela com dados: registros de data e hora, HAR, MAD e a diferença entre os Nós C e B. Os relógios foram sincronizados usando <i>Network Time Protocol</i> ou Protocolo de Tempo para Redes. . . . .	127

## LISTA DE ABREVIATURAS

ADC	<i>Analog to Digital Converter</i>
API	<i>Application Programming Interface</i>
App	Aplicativos para telefones móveis
ARPANET	<i>Advanced Research Projects Agency Network</i>
ASL	Linguagem de Sinais Americana
ATIoT	<i>Assistive Technology for IoT</i>
AW	Aplicativo ATIoT Wearable
BCI	<i>Brain Computer Interfaces</i>
BEI	Bengala Eletrônica Inteligente
BLE	<i>Bluetooth Low Energy</i>
CAN	<i>Controller Area Network</i>
CDPD	Convenção sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência
CEO	<i>Executive Officer</i>
CIF	Classificação Internacional de Funcionalidade e Saúde
CogInfoCom	<i>Cognitive info-communications</i>
CAT	Comitê de Ajudas Técnicas
CORBA	<i>Common Object Request Broker Architecture</i>
CPS	<i>Cyber-Physical Systems</i>
CRM	<i>Customer Relationship Management</i>
CSP	<i>Communications service providers</i>
DAC	<i>Digital to Analog Converter</i>
DDS	<i>Data Distribution System</i>
DOC	Desenvolvimento Orientado a Componentes
DNA	<i>Deoxyribonucleic Acid</i>
DOO	Desenvolvimento Orientados a Objetos
DPS	<i>Device Provisioning Service</i>

DW	Dispositivo <i>Wearable</i>
G3ICT	<i>Global Initiative for Inclusive Information and Communication Technologies</i>
GCI	<i>Global Connectivity Index</i>
GUID	<i>Global Unique ID</i>
HAR	<i>Human activity recognition</i>
HEART	<i>European Activities in Rehabilitation Technology</i>
HP	Hierarquia de <i>Perceptrons</i>
HTTPS	<i>Hyper Text Transfer Protocol Secure</i>
IAB	<i>Internet Architecture Board</i>
IA	Inteligência Artificial
IBSG	<i>Internet Business Solutions Group</i>
iCB	Intel <i>Contract Broker</i>
IC	Implante Coclear
ID	Identificador
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronic Engineers</i>
IETF	<i>Internet Engineering Task Force</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
IPDI	Inclusão de Pessoas com Defícia e Idosos
IP	Protocolo de Internet
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
ISV	<i>Independent software vendors</i>
ITU	<i>International Telecommunication Union</i>
JSON	JavaScript <i>Object Notation</i>
LAI	Laboratório de Automação Inteligente
LAN	<i>Local Area Network</i>
M2M	<i>Machine-to-Machine</i>
MAD	<i>Mean Absolute Deviation</i>
MAN	<i>Metropolitan Area Networks</i>
MCU	<i>MicroController Unit</i>
MQTT	<i>Message Queuing Telemetry Transport</i>
MV	Máquinas Virtuais
OEM	<i>Original Equipment Manufacturer</i>
OMS	Organização Mundial da Saúde

ONF	<i>Open Networking Foundation</i>
OSI	<i>Open System Interconnection Model</i>
PAN	<i>Personal Area Network</i>
REST	<i>Representational State Transfer</i>
RFID	<i>Radio-Frequency Identification</i>
ROS	<i>Robot Operating System</i>
RPC	<i>Remote Procedure Call</i>
RSCSF	Rede de Sensores Corporais Sem Fio
RSSF	Rede de Sensores Sem Fio
SAS	<i>System Architecture Specification</i>
SBE	<i>Sequential Backward Elimination</i>
SDK	<i>Software Development Kit</i>
SDN	<i>Software Defined Networking</i>
SMA	Sistemas Multiagentes
SMS	<i>Short Message Service</i>
SOAP	<i>Simple Object Access Protocol</i>
SOA	<i>Service-Oriented Architecture</i>
SoC	<i>System on Chip</i>
SO	Sistema Operacional
SQL	<i>Structured Query Language</i>
TA	Tecnologias Assistivas
TEA	Transtorno do Espectro do Autismo
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação
TIDE	<i>Technology Initiative for Disabled and Elderly People</i>
TI	Tecnologia da Informação
TSI	<i>Time Series Insights</i>
UCA	Unidades de Controle de Ambiente
UI	<i>User Interface</i>
USO	<i>Universal Smart Objects</i>
VPN	<i>Virtual Private Network</i>
VPS	<i>Virtual Private Server</i>
WAN	<i>Wide Area Network</i>
XML	<i>Extensible Markup Language</i>

## LISTA DE SÍMBOLOS

$a_{e,m}$	Amostra $m$ do conjunto de dados do eixo $e$ (y ou z);
$a_{mag}$	Módulo da aceleração nos três eixos do acelerômetro (x, y e z);
$a_x$	Aceleração no eixo x;
$a_y$	Aceleração no eixo y;
$a_z$	Aceleração no eixo z;
$MAD$	Desvio Absoluto da Média;
$\mu_e$	Média do conjunto de dados do eixo $e$ (y ou z);
$r_e$	Faixa do sinal do conjunto de dados do eixo $e$ (y ou z);
$sma_e$	Área do módulo do sinal do conjunto de dados do eixo $e$ (y ou z);
$\sigma_e$	Desvio padrão do conjunto de dados do eixo $e$ (y ou z);
$\mathbf{w}_e$	Vetor com o conjunto de dados do eixo $e$ (y ou z);
$\mathbf{v}$	Vetor de características formado pelos parâmetros extraídos dos conjuntos de dados dos eixos $e$ (y ou z);
$\bar{x}$	Média da variação do atraso entre os sucessivos pacotes de dados trocados.
$x_i$	Diferença entre os registros de <i>timestamps</i> .

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	17
1.1	Objetivo da Tese	18
1.2	Motivação	19
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTOS CONCEITUAIS</b>	23
2.1	Tecnologias Assistivas	23
2.1.1	Classificações das TA	25
2.2	Internet das Coisas	35
2.2.1	Breve Histórico sobre a Internet das Coisas	37
2.3	<i>Frameworks</i>	42
2.3.1	<i>Framework DOO</i>	42
2.3.2	<i>Framework DOC</i>	44
2.4	Middlewares	45
2.4.1	Padrão Publicação/Assinatura	47
2.4.2	Arquitetura Orientada a Serviços	49
2.4.3	Projeto Orientado a Banco de Dados	51
2.4.4	Projeto Esquizofrênico	51
2.5	Arquitetura Internet das Coisas para Tecnologias Assistivas	52
2.5.1	Identificação por radiofrequência	52
2.5.2	Sensores	53
2.5.3	Rede de Sensores	54
2.5.4	Computação em Nuvem	55
2.5.5	Aplicações	57
<b>3</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b>	59
3.1	Integrar Tecnologias Assistivas com Internet das Coisas	59
3.2	Iniciativas Globais: Cidades Inteligentes para Todos	60
3.3	Integrar Tecnologias Assistivas à Internet das Coisas	63
3.3.1	Aplicativos IoT para Pessoas com Deficiência Auditiva	64
3.3.2	Aplicativos IoT para Pessoas com Deficiência Visual	65
3.3.3	Aplicativos IoT para Pessoas com Deficiência em Mobilidade	67
3.3.4	Segurança	68
3.3.5	Privacidade	69
3.3.6	Mudando os Papéis dos Profissionais de Saúde e Cuidadores	70
3.3.7	Envolvimento de Usuários e Famílias	70
3.4	Resumo das Pesquisas Científicas	71
3.5	Modelo de Referência para IoT	71



3.5.1	Gartner Group . . . . .	74
3.5.2	IBM Corporation . . . . .	76
3.5.3	Cisco Systems . . . . .	85
3.5.4	Intel Corporation . . . . .	87
3.5.5	Microsoft Corporation . . . . .	91
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA PARA ARQUITETURA ATIIOT . . . . .</b>	<b>94</b>
<b>4.1</b>	<b>Visão Global da Arquitetura ATIIOT . . . . .</b>	<b>97</b>
<b>4.2</b>	<b>Modelo de Referência para Arquitetura ATIIOT . . . . .</b>	<b>97</b>
<b>4.3</b>	<b>As Três Pilhas de Software Necessárias para Arquitetura ATIIOT . . . . .</b>	<b>106</b>
<b>5</b>	<b>EXPERIMENTO COM A ARQUITETURA ATIIOT . . . . .</b>	<b>108</b>
<b>5.1</b>	<b>Nó A: Servidor ATIIOT . . . . .</b>	<b>111</b>
<b>5.2</b>	<b>Nó B: App ATIIOT e Dispositivo <i>Wearable</i> . . . . .</b>	<b>115</b>
5.2.1	Estudo de Caso: Dispositivo <i>Wearable</i> - Sistema Remoto de Reconhecimento de Atividades Humanas e de Monitoramento para Idosos . . . . .	118
5.2.2	Reconhecimento de Atividades Humanas (HAR) . . . . .	120
5.2.3	Monitoramento de Intensidade da Atividade . . . . .	121
<b>5.3</b>	<b>Nó C: Cliente-Servidor Web de Monitoramento . . . . .</b>	<b>122</b>
<b>5.4</b>	<b>Bengala Eletrônica Inteligente . . . . .</b>	<b>129</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES . . . . .</b>	<b>136</b>
	<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>139</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A tecnologia conhecida como Internet das Coisas (ou *Internet of Things* - IoT) emergiu dos avanços da computação ubíqua e suas áreas correlatas como microeletrônica, comunicação e sensoriamento. De fato, a IoT tem recebido bastante atenção tanto da academia quanto da indústria, devido ao seu potencial de uso nas mais diversas áreas das atividades humanas. A conexão de objetos digitais <sup>1</sup> com a rede mundial de computadores viabilizará, primeiro, controlar remotamente esses objetos e, segundo, permitir que os próprios objetos sejam acessados como consumidores ou provedores de serviços. Estas novas habilidades, dos objetos, geram um grande número de oportunidades em variadas áreas.

Pessoas portadoras de deficiências têm feito uso, por vários anos, de vários tipos de Tecnologias Assistivas (TA) para ajudá-las no cotidiano, sendo que os recursos e serviços mais comuns são dispositivos mecânicos, que proporcionam ou ampliam as habilidades funcionais dessas pessoas. Essas TA, fazem parte de uma área do conhecimento de característica interdisciplinar, que engloba produtos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivam promover a funcionalidade, relacionada à atividade e participação de pessoas com deficiência, incapacidades ou mobilidade reduzida, visando sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social (AGUIAR; ATASSI; PASCOAL, 2000). A empregabilidade desse ramo está presente em situações onde haja necessidade de comunicação alternativa, adaptações de acesso ao computador, equipamentos de auxílio para visão e audição, adaptação de jogos e brincadeiras, adaptações da postura e mobilidade, próteses e a integração dessa tecnologia nos diferentes ambientes como a casa, a escola, a comunidade e o local de trabalho (BRASIL, 2016).

Por outro lado, sistemas e aplicações para IoT podem alterar em muitos aspectos a vida cotidiana de pessoas com deficiências (BANDYOPADHYAY; SEN, 2011). Saúde inteligente, vida assistida, casas inteligentes, assistentes virtuais e aprendizado de máquina, são apenas alguns dos exemplos de possíveis cenários de aplicações (ATZORI; IERA; MORABITO, 2010).

---

<sup>1</sup>Os termos "objetos digitais", referem-se aos objetos físicos e digitais, conectados e que se comunicando entre si e com o usuário, através de sensores inteligentes e softwares que transmitem dados para uma rede.

Agentes de softwares, que sejam dedicados e especializados em TA podem facilitar à IPDI no mundo cibernético, permitindo uma compreensão mais profunda das preferências e comportamentos dos usuários com deficiências nos ambientes (cenários ou ecossistemas) da IoT. As interações e relações desses usuários com os objetos digitais da IoT, precisam de uma abordagem eficiente para melhor atender aos interesses dos usuários. Definir objetos úteis no ambiente da IoT para as pessoas com deficiência é uma tarefa muito importante para o desenvolvimento dos ecossistemas com agentes inteligentes de software, e precisa ser amplamente investigado.

A deficiência faz parte da condição humana. Quase todas as pessoas terão uma deficiência temporária ou permanente em algum momento de suas vidas, e enfrentarão dificuldades cada vez maiores com a funcionalidade de seus corpos. A maioria das grandes famílias possui um familiar deficiente, e muitas pessoas não deficientes assumem a responsabilidade de prover suporte e cuidar de parentes e amigos com deficiências. Todos períodos históricos enfrentaram a questão moral e política de como melhor incluir e apoiar as pessoas com deficiência (GALLEGOS, 2015).

O relatório mundial sobre deficiência, produzido conjuntamente pela Organização Mundial da Saúde (OMS) e pelo Banco Mundial, sugere que mais de um bilhão de pessoas no mundo hoje sofram de incapacidades. As pessoas com deficiência têm, em geral, pior saúde, menores realizações educacionais, menos oportunidades econômicas e taxas mais altas de pobreza do que pessoas sem deficiência. Isto é em grande parte devido à falta de serviços disponíveis para eles e os muitos obstáculos que enfrentam em sua vida cotidiana. O relatório fornece as melhores evidências disponíveis sobre o que funciona para superar as barreiras aos serviços de saúde, reabilitação, educação, emprego e apoio, e para criar os ambientes que permitirão que as pessoas com deficiência floresçam. O relatório termina com um conjunto concreto de ações recomendadas para os governos e seus parceiros, para a implementação da convenção sobre os direitos das pessoas com deficiência (GHEBREYESUS, 2011).

Essa questão se tornará mais premente conforme a demografia das sociedades mudam, e cada vez mais pessoas alcançam a idade avançada (GHEBREYESUS, 2011). Nesse contexto, a IoT se tornará imensamente importante, uma vez que pode melhorar a qualidade de vida para aqueles que mais precisam. Os profissionais da área de saúde e das áreas relacionadas precisam ter um melhor entendimento de como a Inclusão de Pessoas com Deficiência e Idosos (IPDI) podem interagir com várias inovações da IoT para ajudar os pesquisadores a desenvolverem aplicativos para TA mais amigáveis e eficazes.

## **1.1 Objetivo da Tese**

O objetivo da pesquisa é desenvolver uma arquitetura de camadas que auxilie a integração de TA à IoT. Os ecossistemas englobam ambientes internos e externos qualificados

ou quantificados em micro ou macroescalas, dotados com um conjunto de agentes (nós inteligentes) ou Sistemas Multiagentes (SMA). Os nós clientes e servidores da arquitetura ATIoT podem consumir ou prover aplicações (ou serviços) dedicados as TA e especializados na IPDI. O modelo de referência gerado para construção de teste e validação poderá servir como um modelo para auxiliar nas abstrações e interoperabilidades entre as camadas de borda (TA ou objetos digitais), névoa (elementos de rede como *switches*, roteadores e *gateways*) e nuvem<sup>2</sup> (servidores centralizados com serviços dedicados e especializados nos tipos de TA e deficiência<sup>3</sup>), que em suas formas de manifestação são heterogêneas de componentes de software e hardware. A arquitetura ATIoT preza a alta coesão e o baixo acoplamento dos componentes que são em, sua grande maioria, baseados em IoT e robótica, para agilizar os processos e recursos que forneçam componentes e serviços para gerar uma família de aplicações e suas nuances. Os *middlewares* e *frameworks* utilizados para as construções dos serviços devem ser definidos conforme os requisitos de engenharia de cada estudo de caso ou TA.

O uso das ferramentas baseadas em IoT e robótica surgem das necessidades e comprovações científicas da arquitetura, ou seja, a IoT, provê modelos de infraestruturas de TIC, onde nós digitais (ou inteligentes) estão alocados em ecossistemas com computação ubíqua, enquanto a robótica, provê um arsenal de componentes robóticos (atuação, percepção, controle, IA, etc.), que podem ser usados e adaptados para gerar novos dispositivos ou aplicações para auxiliar na IPDI à IoT. Através de análise empírica, constata-se que os robôs possuem tantas necessidades (percepção, atuação, controle, etc.) quanto as pessoas com deficiências, essas mesmas necessidades robóticas geram tecnologias que podem ser (re)usadas para o contexto das TA, uma simbiose que permite herdar características e propriedades entre as partes, logo, esses componentes robóticos permitem criar ou adaptar dispositivos ou serviços para as pessoas com necessidades especiais e suas TA.

## 1.2 Motivação

As arquiteturas de referências tradicionais para IoT tendem a focar somente na lógica de negócios em suas aplicações, dentro desse espectro, podemos citar as aplicações industriais, governamentais, segurança, saúde, etc. A IoT, assim como a maioria das tecnologias existentes não são desenvolvidas pensando exclusivamente na IPDI ou acessibilidade, isso dado que, desenvolver ou adaptar interfaces ou tecnologias para diferentes tipos de deficiências geram uma complexidade inerente ao contexto. Pessoas com limitações, geralmente utilizam-se de TA definidas conforme a categoria da sua deficiência

---

<sup>2</sup>Os termos borda, névoa e nuvem, são traduções literais (em inglês) dos termos *edge*, *fog* e *cloud*, os quais são definidos pela Cisco (EVANS, 2011) e cujo modelo de referência é utilizado para construção da arquitetura ATIoT.

<sup>3</sup>Conforme criados os servidores centralizados (na nuvem) uma arquitetura de servidores descentralizados naturalmente será gerada.

(orientação e mobilidade, órteses e próteses, sistemas de controle de ambiente, recursos de acessibilidade ao computador, etc.), podem ser dispositivos de hardware e software utilizados para auxiliar a vida diária e prover meios ou interfaces para torná-las acessíveis.

Obtendo-se essa consciência, de que, as TA fazem (ou são) parte da vida cotidiana das pessoas com deficiência, em conjuntura com essa nova realidade da IoT em que objetos digitais interagem com o ambiente onde se encontram e com os outros objetos que os cercam, um grande impacto na vida dos usuários é inevitável, em especial, para usuários com deficiência e suas TA que passam a ser objetos embarcados (agentes inteligentes) integrados à IoT e portanto aos ecossistemas que podem ser compostos com serviços dedicados (ou especializados) para usuários com necessidades especiais. Todavia, isso levará a uma nova forma de comunicação onipresente das TA que poderão se comunicar com os ecossistemas ou outros objetos de forma independente.

Para tanto, é importante diferenciar a TA de outras tecnologias da saúde como as aplicadas na área médica e de reabilitação. No campo da saúde a tecnologia visa facilitar e qualificar a atividade dos pacientes ou profissionais em procedimentos de avaliação e intervenção terapêutica. São equipamentos utilizados no diagnóstico, no tratamento de doenças ou na atividade específica de reabilitação, como melhorar a força muscular de um indivíduo, sua amplitude de movimentos ou equilíbrio, etc. Estes equipamentos não são TA e sim tecnologia médica ou de reabilitação e podem ser facilmente confundidos com TA. Na arquitetura ATIoT, as TA são os dispositivos responsáveis (e determinantes) pela integração e abstração dos usuários e suas deficiências aos ecossistemas, entretanto, as tecnologias médicas ou de reabilitação também podem (co)existir como dispositivos (camada de borda) ou serviços (camada de aplicação) que interagem com as TA.

É nesse contexto incerne que encontra-se a grande motivação para a criação e desenvolvimento da arquitetura denominada ATIoT, que poderá, além de facilitar a integração das TA à IoT, também ajudará a promover a IPDI, contribuindo socialmente com esses usuários na era digital, possibilitando uma maior qualidade de vida, uma vez que, serviços podem ser construídos para monitorar as TA em ambientes (ou ecossistemas), sendo que, em situações de emergência de saúde ou segurança, sistemas que geram alertas acionam *triggers* automaticamente para familiares ou órgãos competentes (hospitais, bombeiros, etc.). As aplicações tradicionais da IoT certamente adicionam um novo nível de importância quando usados por pessoas com deficiência.

LOPES *et al.* (2014) ressalta que, apesar das tecnologias de IoT poderem ser muito úteis para o cuidado e apoio das pessoas com deficiência e idosos, faz lembrar que juntar diferentes áreas representa grandes desafios tanto tecnológicos como sociais, envolve um trabalho interdisciplinar, entre ciências, engenharias, sociologia e estruturas sociais.

As diferentes camadas de computação da arquitetura ATIoT fornecem diretrizes para torná-la acessível a todos que queiram implantar, ou seja, pode servir como um modelo de referência simples para fornecer todos os aspectos computacionais que podem ajudar

a promover a participação e a IPDI na vida social, econômica, política e cultural (GALLEGOS, 2015). A tese, apresentará o desenvolvimento de uma aplicação prática da engenharia, em uma área socialmente relevante e tecnologicamente desafiadora.

Para um melhor entendimento da contribuição científica dessa pesquisa com o estado da arte, buscas por periódicos científicos denotam que há poucos trabalhos com propostas de integrar TA com à IoT, quando comparada à temas de periódicos científicos para integrar a IoT com *Healthcare*, *Disabled People* ou *Assisted Living* (LEE, 2017a), áreas correlatas, porém, ainda assim, distintas entre si. As buscas demonstram ou quantificam os periódicos científicos ordenados pela relevância e citações. A Tabela 1, apresenta os resultados das buscas pelas sentenças citadas (PAGE; BRIN, 2004).

Tabela 1 – Resultados referentes aos anos: 2015, 2018, 2019 e a qualquer momento.

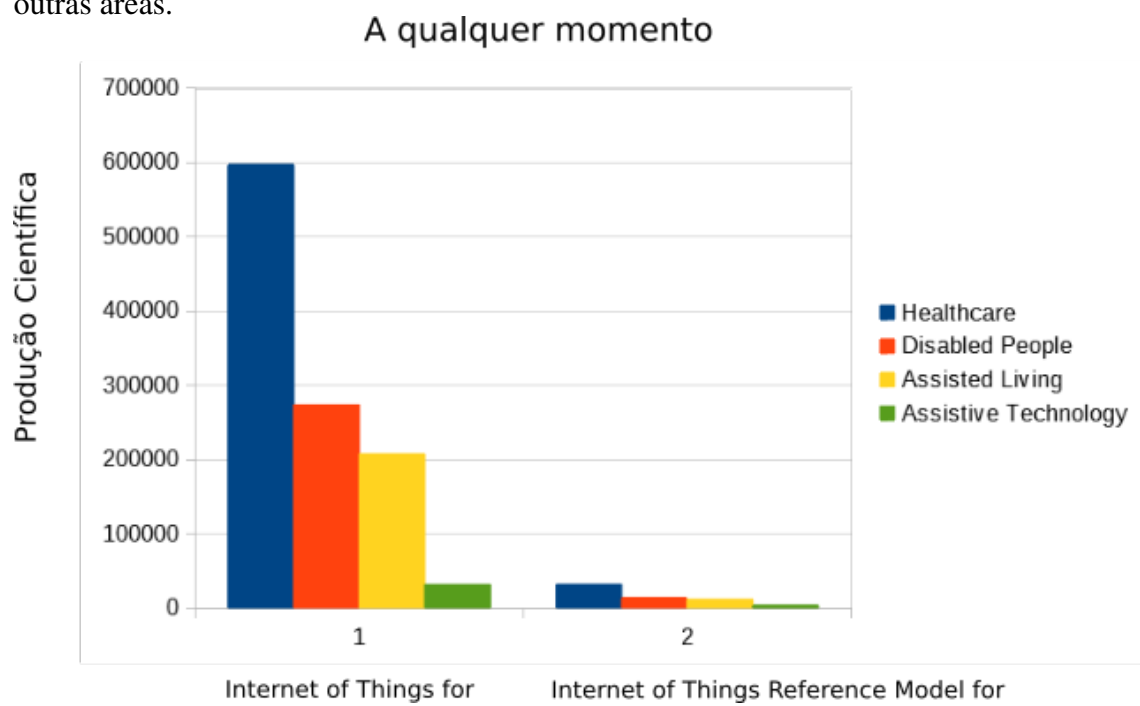
<b><i>Termos</i></b> <b><i>"Internet of Things for"</i></b>	<b>Desde</b> <b>2015</b>	<b>Desde</b> <b>2018</b>	<b>Desde</b> <b>2019</b>	<b>A qualquer</b> <b>momento</b>
<i>Healthcare</i>	16.600	16.700	17.000	597.000
<i>Disabled people</i>	16.800	16.500	5.760	273.000
<i>Assisted Living</i>	17.300	16.400	5.580	207.000
<i>*Assistive Technology</i>	14.100	4.970	1.070	31.200
<b><i>Termos</i></b> <b><i>"Internet of Things Reference Model for"</i></b>	<b>Desde</b> <b>2015</b>	<b>Desde</b> <b>2018</b>	<b>Desde</b> <b>2019</b>	<b>A qualquer</b> <b>momento</b>
<i>Healthcare</i>	16.900	17.200	6.550	31.400
<i>Disabled people</i>	8.710	3.990	923	13.600
<i>Assisted Living</i>	7.220	3.260	806	11.200
<i>*Assistive Technology</i>	2.830	1.400	328	3.580

A seguir, a Figura 1, produz uma representação com gráfico de barras (ou colunas) verticais e agrupadas, que ilustra apenas o período denominado "A qualquer momento" da Tabela 1, que evidencia a menor quantidade de produção científica para a área de TA em relação as outras.

Conforme levantamento de diferentes fontes de divulgação do conhecimento científico, destaca-se uma oportunidade identificada para desenvolver uma arquitetura que auxilie a integração de TA à IoT, fomentando a IPDI. Tendo em vista os cenários apresentados acima, a delimitação do escopo e a afirmação dos objetivos desta tese, os problemas a serem abordados podem ser formulados.

O trabalho está estruturado da seguinte forma. No capítulo 2 estão descritos os Fundamentos Conceituais. No capítulo 3 é apresentada o Estado da Arte. O Capítulo 4 apresenta a proposta da Arquitetura ATIoT. O capítulo 5 apresenta o Experimento. Por fim, no capítulo 6, a tese é concluída.

Figura 1 – Atualmente a produção científica sobre IoT para TA está abaixo em relação as outras áreas.



Fonte: do autor

## 2 FUNDAMENTOS CONCEITUAIS

### 2.1 Tecnologias Assistivas

Ajudas Técnicas é o termo anteriormente utilizado para o que hoje se convencionou designar TA. Primeiramente, destaca-se o Decreto no 3.298 de 1999 que apresenta, dentro do capítulo de reabilitação, a referência ao direito do cidadão brasileiro às Ajudas Técnicas: "Consideram-se ajudas técnicas, para os efeitos deste Decreto, os elementos que permitem compensar uma ou mais limitações funcionais motoras, sensoriais ou mentais da pessoa portadora de deficiência, com o objetivo de permitir-lhe superar as barreiras da comunicação e da mobilidade e de possibilitar sua plena inclusão social." (BRASIL, 1999). Também o conceito do Desenho Universal esteve presente em vários textos estudados, sendo discutido juntamente com o tema da TA. O Decreto no 5.296 de 2004 diz: "Desenho Universal: concepção de espaços, artefatos e produtos que visam atender simultaneamente todas as pessoas, com diferentes características antropométricas e sensoriais, de forma autônoma, segura e confortável, constituindo-se nos elementos ou soluções que compõem a acessibilidade." (BRASIL, 2004). Em 16 de novembro de 2006 foi instituído, pela Portaria nº 142, o Comitê de Ajudas Técnicas (CAT), estabelecido pelo Decreto no 5.296/2004 no âmbito da Secretaria Especial dos Direitos Humanos da Presidência da República, na perspectiva de, ao mesmo tempo aperfeiçoar, dar transparência e legitimidade ao desenvolvimento da TA no Brasil (CAT, 2009).

A maioria das pessoas pode pensar que esse seja um tema afeto à ciência e tecnologia, à saúde, à indústria, à educação, etc. Na verdade é um conceito muito mais amplo, um elemento chave para a promoção dos Direitos Humanos, pelo qual as pessoas com deficiência têm a oportunidade de alcançarem sua autonomia e independência em todos os aspectos de suas vidas. Para isso é necessária a adoção de medidas que assegurem seu acesso, em bases iguais com as demais pessoas.

Nos conceitos de TA constantes nos decretos brasileiros, EUSTAT (RENZO, 1999), Cook & Hussey (COOK; HUSSEY, 1995) e ADA (BLIZARD, 1994), não aparecem como objetivo da TA eliminar ou compensar a deficiência (que diz respeito à condição do corpo). O foco destes documentos é a ampliação ou obtenção de uma habilidade na re-



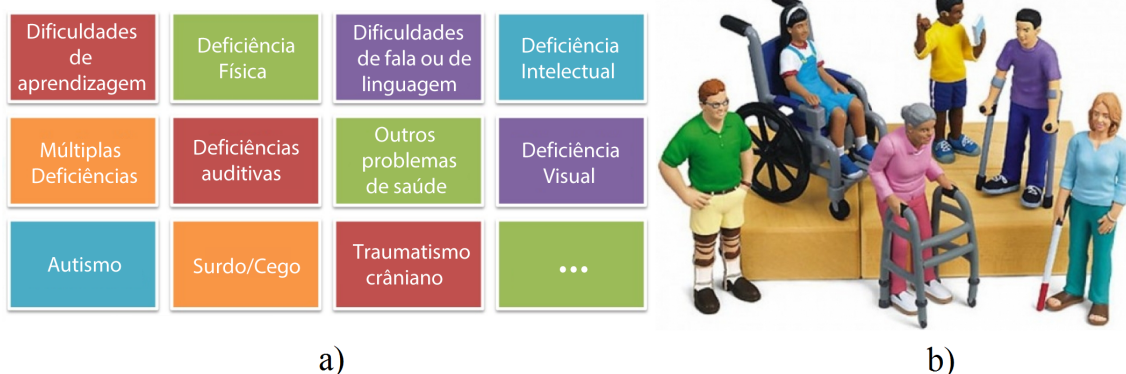
alização da atividade pretendida e, conseqüentemente, de participação social das pessoas com deficiência. Estes documentos nacionais e internacionais evidenciam uma compreensão conceitual abrangente, sendo a TA entendida como a aplicação de um conhecimento que se traduz numa técnica, procedimento, metodologia ou recurso específico, que busca ampliar ou proporcionar o desempenho de atividades necessárias e pretendidas por uma pessoa com deficiência ou incapacidade.

Os modelos de Sistemas de Prestação de Serviços (SPS) em TA e a rede interdisciplinar envolvida nesta prática são outro tema de central importância. Com relação aos modelos de serviços, constatou-se que em países onde a organização de serviços de TA já existe há mais tempo, como em vários países europeus e da América do Norte, há uma tendência de revisão e mudança de paradigma, que abandona o modelo médico, pautado no déficit individual e na prescrição de um recurso de TA específico, para um modelo social, tecnológico e ecológico (PALACIOS, 2008).

Para a formulação das bases conceituais de TA, foi realizado um levantamento e revisão de literatura, utilizando três termos de referência: Ajudas Técnicas, TA e Tecnologia de Apoio. Constatou-se que estes três termos são utilizados em diferentes países, com a predominância do termo *Assistive Technology* em países de língua inglesa, *Ayudas Técnicas* em língua espanhola e Tecnologia de Apoio na tradução de Portugal para *Assistive Technology* (CAT, 2009).

A TA é fruto da aplicação de avanços tecnológicos em áreas já estabelecidas. É uma disciplina de domínio de profissionais de várias áreas do conhecimento que interagem para restaurar a função humana. TA diz respeito à pesquisa, fabricação, uso de equipamentos, recursos ou estratégias utilizadas para potencializar as habilidades funcionais das pessoas com deficiência (Figura 2). Sua aplicação abrange todas as ordens do desempenho humano, desde as tarefas básicas de autocuidado até o desempenho de atividades profissionais.

Figura 2 – Na alínea a) alguns tipos de deficiência; em b) tecnologias assistivas.



Fonte: adaptado de (SALGADO, 2008).

Um dispositivo de TA pode ser definido como "qualquer item, parte de equipamento,

ou produto, adquirido no comércio ou adaptado ou modificado, usado para aumentar, manter ou melhorar a capacidade funcional de pessoas com deficiência”.

A revisão da literatura apontou também para a necessidade de conhecer mais profundamente os modelos existentes de classificação de TA.

### 2.1.1 Classificações das TA

No estudo sobre Classificação de TA, foram adotadas três importantes referências que apresentam diferentes focos de organização e aplicação.

- ISO 9999;
- Classificação Horizontal European Activities in Rehabilitation Technology - HEART;
- Classificação Nacional de TA, do Instituto Nacional de Pesquisas em Deficiências e Reabilitação, dos Programas da Secretaria de Educação Especial, Departamento de Educação dos Estados Unidos.

#### 2.1.1.1 ISO 9999

A classificação da ISO 9999 é amplamente usada em vários países, em bases de dados e catálogos, sendo focada especificamente em recursos, que são organizados em classes que se desdobram em itens de produtos (ISO 9999:2007, 2008).

A ISO - International Organization for Standardization (Associação Internacional de Normalização) é uma federação mundial composta por associações nacionais. O trabalho de preparar as normas internacionais é geralmente executado pelos comitês técnicos da ISO. Cada representante interessado em um assunto para o qual o comitê técnico foi criado tem o direito de estar representado naquele comitê. Organizações internacionais, governamentais e não-governamentais, em colaboração com a ISO, também tomam parte no trabalho de elaboração de normas.

A tarefa principal dos comitês técnicos é preparar as normas internacionais. Projetos de normas internacionais elaborados pelos comitês circulam entre os associados, para votação. Para ser publicada, uma norma internacional requer aprovação de pelo menos 75% de votos.

A ISO 9999:2007 - Produtos assistivos para pessoas com deficiência - Classificação e terminologia, publicada em 01/03/2007, é a 4ª edição desta norma. Neste documento, os produtos assistivos, incluindo software, são classificados por função. Esta classificação consiste de três níveis hierárquicos com seus respectivos códigos. Como em outras classificações, para cada nível são fornecidos os códigos, títulos, notas explicativas, inclusões, exclusões e referências cruzadas. Além do texto explicativo e da própria classificação, é fornecida uma tabela de conversão entre a edição anterior (2002) e a mais recente (2007)

desta norma, bem como um índice alfabético, para facilitar o uso da norma e o acesso a esta classificação.

Na 4ª edição da norma ISO 9999:2007, o título anterior - "Ajudas técnicas para pessoas com deficiência - Classificação e terminologia" - mudou para "Produtos Assistivos para pessoas com deficiência - Classificação e terminologia". Assim, "Ajudas Técnicas" são citadas agora como "Produtos Assistivos".

Em 2003, a ISO 9999:2007 foi aceita como um membro associado da Organização Mundial de Saúde (OMS). A CIF (Classificação Internacional de Funcionalidade e Saúde) e é uma das classificações-chave da OMS.

A CIF compreende classificações altamente qualificadas de saúde e domínios relacionados à saúde. Estes domínios são classificados a partir de perspectivas fisiológicas, individuais e sociais, por meio de duas listagens:

- uma lista de funções e estrutura do corpo humano e
- uma lista de domínios de atividade e participação.

Como a funcionalidade e a deficiência ocorrem em um contexto, a CIF também inclui uma listagem de fatores ambientais.

A ISO 9999:2007 tem como escopo estabelecer uma classificação de produtos assistivos, especialmente produzidos ou geralmente disponíveis para pessoas com deficiência. Também estão incluídos nesta classificação aqueles produtos assistivos que requerem o auxílio de outra pessoa para sua operação. Esta classificação fundamenta-se na função do produto classificado.

Como é enfatizado em seu escopo, estão explicitamente excluídos dessa Norma Internacional os seguintes itens:

- itens utilizados para a instalação dos produtos assistivos;
- soluções obtidas pela combinação de produtos assistivos que, isoladamente, estão classificados nesta Norma Internacional;
- medicamentos;
- produtos e instrumentos assistivos utilizados exclusivamente por profissionais de serviços de saúde;
- soluções não-técnicas, tais como auxílio pessoal, cães-guia ou leitura labial;
- implantes;
- apoio financeiro.

A classificação apresenta-se em três níveis diferentes: classe, subclasse e detalhamento da classificação, com explicações e referências. O primeiro nível mais geral de classificação tem onze classes de produtos assistivos, respectivamente, para:

- Tratamento médico pessoal;
- Treinamento de habilidades;
- Órteses e próteses;
- Proteção e cuidados pessoais;
- Mobilidade pessoal;
- Cuidados com o lar;
- Mobiliário e adaptações para residenciais e outras edificações;
- Comunicação e informação;
- Manuseio de objetos e equipamentos;
- Melhorias ambientais, ferramentas e máquinas;
- Lazer.

#### 2.1.1.2 *Classificação HEART*

O modelo de classificação "Horizontal European Activities in Rehabilitation Technology" - HEART surgiu no âmbito do Programa "Technology Initiative for Disabled and Elderly People" – TIDE, da União Européia, que propõe um foco em TA, com base nos conhecimentos envolvidos na sua utilização. Esse modelo entende que devem ser consideradas três grandes áreas de formação em TA: componentes técnicos, componentes humanos e componentes socioeconômicos.

Nos componentes técnicos, quatro áreas principais de formação são identificadas, com igual importância: comunicação, mobilidade, manipulação e orientação (EUROPEAN COMMISSION – DGXIII, 1998).

- Comunicação:
  - Comunicação interpessoal
    1. sistemas de comunicação com e sem ajuda;
    2. dispositivos de baixa tecnologia, tais como pranchas de comunicação;
    3. pranchas de comunicação dinâmicas, alta tecnologia;
    4. saída de voz gravada e sintetizada;

5. técnicas de seleção: direta, varredura e codificada;
  6. técnicas para o aumento de velocidade de comunicação e de predição;
  7. técnicas de leitura e de escrita;
  8. próteses auditivas;
  9. amplificadores de voz;
  10. auxiliares ópticos;
- Acesso a computador/interfaces com usuários
1. interfaces de controle (acionadores, joystick, track ball);
  2. teclados alternativos (expandidos, reduzidos);
  3. teclados e emuladores de teclados;
  4. mouses e emuladores de mouse;
  5. monitores sensíveis ao toque;
  6. ponteiros de cabeça e de boca;
- Telecomunicações
1. rádios, telefones (portátil, texto, vídeo), beepers;
  2. sistemas de e-mail;
  3. internet e WWW;
- Leitura/Escrita
1. livros adaptados (com símbolos gráficos, em CD ou em cassete);
  2. computadores com leitores de tela e fala sintetizada;
  3. dispositivos com saída em Braille;
  4. software específico;
  5. dispositivos de amplificação óptica;
  6. máquinas de leitura por reconhecimento de caracteres;
  7. displays tácteis;
  8. máquinas e impressoras Braille;
- Mobilidade:
- Mobilidade manual
1. cadeiras de rodas manuais
  2. bengala branca, bengala de apoio, bengalas canadenses e andadores;
  3. bicicletas e triciclos;
  4. cadeiras de transporte;

5. elevadores manuais e ajudas de transferência;

– Mobilidade elétrica

1. cadeira de rodas motorizada;
2. ajudas elétricas de transferência;
3. interfaces de controle para cadeira de rodas;
4. braços de robô para cadeira de rodas;

– Acessibilidade

1. ajudas para acessibilidade interior e exterior;
2. adaptações de casas;

– Transportes privados

1. controles especiais para condução;
2. assentos especiais;
3. rampas e plataformas;

– Transportes públicos

1. adaptação de veículos públicos;
2. rampas e plataformas;
3. elevadores;

– Próteses e órteses

1. órteses do membro inferior;
2. próteses do membro inferior;
3. calçado ortopédico;
4. estimulação eletro-funcional;

– Posicionamento

1. dispositivos de controle postural;
2. componentes dos sistemas de posicionamento;
3. almofadas anti-escaras;

● Manipulação:

– Controle de ambiente

1. unidades de controle de ambiente (UCA);

2. interfaces de controle do usuário (reconhecimento de voz, ultrassom, acionadores);
- Atividades da vida diária
    1. cuidados pessoais (higiene; incontinência; sexualidade; vestuário);
    2. trabalhos de casa (cozinhar; limpar);
    3. segurança, dispositivos de alarme e de sinalização;
  - Robótica
    1. manipuladores e braços de controle;
    2. robôs para atividades de escritório;
    3. virador de páginas;
    4. robô de alimentação;
  - Próteses e órteses
    1. órteses do membro superior;
    2. próteses do membro superior;
    3. estimulação eletro-funcional do membro superior;
  - Recreação e desportos
    1. ajudas para jogos, ginástica, desporto, fotografia, caçar e pescar;
    2. brinquedos adaptados;
    3. instrumentos musicais;
    4. ferramentas para trabalhos manuais, desporto e lazer;
- Orientação:
    - Sistemas de navegação e orientação
      1. bengalas;
      2. ajudas para a orientação e mobilidade;
      3. guias sonoros;
      4. adaptações do ambiente;
    - Cognição
      1. ajudas de compensação de memória;
      2. ajudas de suporte a noções de espaço e tempo;

A classificação HEART também aborda os Componentes Humanos, os quais incluem tópicos relacionados com o impacto causado pela deficiência no ser humano. As noções adotadas pelas ciências biológicas, pela psicologia e pelas ciências sociais, podem ajudar na compreensão das transformações da pessoa, e como esta se relaciona com o espaço em que vive, como resultado de uma deficiência, e como é que a TA pode facilitar a autonomia dessa pessoa. Outra abordagem são os Componentes socioeconômicos, este grupo de componentes indica que a tecnologia afeta as interações dentro do contexto social (pessoas, relacionamentos e impacto no usuário final). Os socioeconômicos também enfatizam as vantagens e desvantagens dos diferentes modelos de prestação de serviços (CAT, 2009).

### *2.1.1.3 Classificação Nacional de Tecnologia Assistiva, do Instituto Nacional de Pesquisas em Deficiências e Reabilitação, dos Programas da Secretaria de Educação Especial - Departamento de Educação dos Estados Unidos, 2000*

A Classificação Nacional de TA do Departamento de Educação dos Estados Unidos foi desenvolvida a partir da conceituação de TA que consta na legislação norte-americana e integra recursos e serviços. Além de catalogar 10 itens de componentes de recursos, por áreas de aplicação, esta classificação apresenta um grupo de serviços de TA que promove o apoio à avaliação do usuário, o desenvolvimento e customização de recursos, a integração da TA com ação e objetivos educacionais e de reabilitação, e os apoios legais de concessão.

Sistema de Classificação para os Recursos e Serviços de TA.

- Elementos Arquitetônicos:
  - Recursos de apoio
  - Recursos para abrir e fechar portas e janelas
  - Elementos para a Construção da casa
  - Elevadores/guindastes/rampas
  - Equipamentos de segurança
  - Pavimentos
  
- Elementos Sensoriais
  - Ajudas ópticas
  - Recursos auditivos
  - Ajudas cognitivas
  - Recursos para deficiência múltipla
  - Ajudas para comunicação alternativa



- Computadores
  - *Hardware*
  - *Software*
  - Acessórios para o computador
  - Calculadoras especializadas
  - Recursos de realidade virtual
- Controles
  - Sistemas de controle do ambiente
  - Acionadores temporizados
  - Controle remoto
  - Controles operacionais
- Vida Independente
  - Vestuário
  - Ajudas para higiene
  - Ajudas/recursos para proteção do corpo
  - Ajudas para vestir/despir
  - Ajudas para banheiro
  - Ajudas para lavar/tomar banho
  - Ajudas para manicure/pedicure
  - Ajudas para cuidado com o cabelo
  - Ajudas para cuidado com os dentes
  - Ajudas para o cuidado facial/da pele
  - Ajudas para organização da casa/doméstica
  - Ajudas para manusear/manipular produtos
  - Ajudas para orientação
  - Outros equipamentos médicos duráveis
- Mobilidade
  - Transporte (veículo motor, bicicleta)
  - Ajudas para caminhar e ficar em pé

- Cadeira de rodas
- Outros tipos de mobilidade
- Órteses/Próteses
  - Sistemas de órtese para coluna
  - Sistemas de órtese para membros superiores
  - Sistemas de órteses para membros inferiores
  - Estimuladores elétricos funcionais
  - Sistemas de órtese híbridas
  - Sistemas de prótese para membros superiores
  - Próteses para membros superiores
  - Sistemas de prótese para membros inferiores
  - Próteses cosméticas/não-funcionais para membros inferiores
  - Outras Próteses
- Recreação/Lazer/Esportes
  - Brinquedos
  - Jogos para ambientes internos
  - Artes e trabalhos manuais
  - Fotografia
  - Aptidão física
  - Jardinagem/atividade horticultural
  - Acampamento
  - Caminhada
  - Pesca/caça/tiro
  - Esportes
  - Instrumentos musicais
- Recreação/Lazer/Esportes
  - Brinquedos
  - Jogos para ambientes internos
  - Artes e trabalhos manuais
  - Fotografia

- Aptidão física
- Jardinagem/atividade horticultura
- Acampamento
- Caminhada
- Pesca/caça/tiro
- Esportes
- Instrumentos musicais
- Móveis Adaptados/Mobiliário
  - Mesas
  - Fixação para luz
  - Cadeiras/móveis para sentar
  - Camas/ roupa de cama
  - Ajuste de altura dos móveis
  - Móveis para o trabalho
- Serviços
  - Avaliação individual
  - Apoio para adquirir recursos/serviços
  - Seleção de recursos e serviços e utilização dos serviços
  - Coordenação/articulação com outras terapias e serviços
  - Treinamento e assistência técnica
  - Outros serviços de apoio

O CAT concluiu que não existe uma única forma de classificar TA e as várias classificações existentes são aplicadas de acordo com os objetivos de catalogação de recursos, ensino, trocas de informação, organização de serviços de aconselhamento e concessão. O importante é ter claro o conceito de TA e os objetivos para os quais as classificações foram criadas.

Em alguns países, dispositivos assistivos são parte integrante da assistência médica, os quais são fornecidos pelo sistema nacional de saúde. Em outros, TA são fornecidas pelos governos através dos serviços de reabilitação, de reabilitação vocacional ou de agências de educação especial, companhias de seguros e organizações filantrópicas e não governamentais.

## 2.2 Internet das Coisas

Apesar da agitação global em torno da Internet das Coisas, não existe uma definição única e universalmente aceita para o termo. Diferentes definições são usadas por vários grupos para descrever ou promover uma visão particular do que significa IoT e seus atributos mais importantes. Algumas definições especificam o conceito da Internet ou do Protocolo de Internet (IP), enquanto outras, talvez surpreendentemente, não o fazem. Por exemplo, considere as seguintes definições.

A IAB (Internet Architecture Board) inicia o (TSCHOFENIG *et al.*, 2015) com "Considerações sobre arquitetura de *Smart Object Networking*" com esta descrição:

- O termo IoT denota uma tendência em que um grande número de dispositivos incorporados emprega serviços de comunicação oferecidos pelos protocolos da Internet. Muitos desses dispositivos, frequentemente chamados de "objetos inteligentes", não são operados diretamente por humanos, mas existem como componentes em edifícios ou veículos, ou estão espalhados no ambiente.

Dentro da *Internet Engineering Task Force* (IETF), o termo rede de objetos inteligentes é comumente usado em referência à IoT. Nesse contexto, objetos inteligentes são dispositivos que normalmente têm restrições significativas, como energia, memória e recursos de processamento limitados ou largura de banda. O trabalho no IETF é organizado em torno de requisitos específicos para obter interoperabilidade de rede entre vários tipos de objetos inteligentes (VYNCKE *et al.*, 2015).

Publicado em 2012, a *International Telecommunication Union* (ITU) Recomendação ITU-T Y.2060, *Overview of the Internet of things* (ZHAO; JOHNSON, 2012), discute o conceito de interconectividade, mas não vincula especificamente a IoT à Internet:

- 3.2.2 IoT: Uma infra-estrutura global para a sociedade da informação, permitindo serviços avançados através da interconexão (física e virtual) de objetos com base em tecnologias de informação e comunicação interoperáveis existentes e em evolução.
  - Nota 1 - Através da exploração de capacidades de identificação, captura de dados, processamento e comunicação, a IoT faz uso total de objetos para oferecer serviços a todos os tipos de aplicativos, garantindo que os requisitos de segurança e privacidade sejam atendidos.
  - Nota 2 - De uma perspectiva mais ampla, a IoT pode ser percebida como uma visão com implicações tecnológicas e sociais.

A definição em uma chamada de artigos para uma edição de tópico de recurso da IEEE *Communications Magazine* (CHAN, 2019) conecta a IoT aos serviços de nuvem:

- A IoT é uma estrutura na qual todos os objetos têm uma representação e uma presença na Internet. Mais especificamente, a IoT visa oferecer novos aplicativos e serviços unindo os mundos físico e virtual, nos quais as comunicações *Machine-to-Machine* (M2M) representam a comunicação de base que permite as interações entre os objetos e os aplicativos na nuvem.

Em seu relatório especial sobre a IoT, publicado em março de 2014 (IEEE, "Internet of Things", 2014) (MINERVA; BIRU; ROTONDI, 2015), o IEEE descreveu a expressão IoT como: "Uma rede de itens, cada um com sensores conectados à Internet". Esta declaração é escrita como uma descrição da IoT, não como uma definição oficial do conceito. Mas podemos ver que a descrição aborda apenas o aspecto físico da IoT.

A IEEEISA (Associação de Padrões do IEEE), um órgão de definição de padrões reconhecido globalmente dentro do IEEE, desenvolve padrões de consenso - por meio de um processo aberto que envolve a indústria e reúne uma ampla comunidade de interessados. Os padrões do IEEE estabelecem especificações e melhores práticas com base no conhecimento científico e tecnológico atual.

O IEEEISA possui um portfólio de mais de 900 padrões ativos e mais de 500 padrões em desenvolvimento. Em sua pesquisa em IoT, identificou mais de 140 padrões e projetos existentes que são relevantes para a IoT <sup>1</sup>.

Um projeto que se relaciona diretamente com a IoT é o IEEE P2413 <sup>2</sup>. O escopo do IEEE P2413 é definir uma estrutura arquitetural, abordando descrições de vários domínios de IoT, definições de IoT abstrações de domínio e identificação de semelhanças entre diferentes domínios de IoT.

As metas para o grupo de trabalho IEEE P2413 que está desenvolvendo esse padrão são:

- acelerar o crescimento do mercado de IoT, possibilitando a interação entre domínios e unificação de plataforma através de maior compatibilidade de sistema, interoperabilidade e troca funcional.
- definir uma estrutura de arquitetura de IoT que cubra as necessidades arquitetônicas dos vários domínios de aplicativo IoT.
- aumentar a transparência das arquiteturas de sistemas para dar suporte a avaliações comparativas e de segurança do sistema.
- reduzir a fragmentação da indústria e criar uma massa crítica de atividades de múltiplos investidores em todo o mundo.

---

<sup>1</sup>Listas de padrões e projetos: <https://standards.ieee.org/initiatives/iot/>

<sup>2</sup>Projeto de Norma IEEE para uma Estrutura Arquitetural para a IoT (IoT): <https://standards.ieee.org/project/2413.html>

- alavancar o corpo de trabalho existente.

O dicionário Oxford (MURRAY, 1884) oferece uma definição concisa que invoca a Internet como um elemento da IoT:

- *Internet of Things* (substantivo): A interconexão via Internet de dispositivos computacionais embarcados em objetos do cotidiano, permitindo que eles enviem e recebam dados.

Todas as definições descrevem cenários nos quais a conectividade de rede e a capacidade de computação se estendem a uma constelação de objetos, dispositivos, sensores e itens do dia-a-dia que normalmente não são considerados digitais. Isso permite que os dispositivos gerem, troquem e consumam dados, geralmente com mínima intervenção humana. As várias definições de IoT não discordam necessariamente - em vez disso, enfatizam diferentes aspectos do fenômeno da IoT a partir de diferentes pontos focais e casos de uso.

No entanto, as definições discrepantes podem ser uma fonte de confusão no diálogo sobre questões de IoT, particularmente em discussões entre grupos de partes interessadas ou segmentos da indústria. Nos últimos anos, houve confusão semelhante em relação à neutralidade da rede e à computação em nuvem, onde diferentes interpretações dos termos às vezes apresentavam obstáculos ao diálogo. Embora seja provavelmente desnecessário desenvolver uma definição única de IoT, deve-se reconhecer que existem diferentes perspectivas a serem consideradas nas discussões.

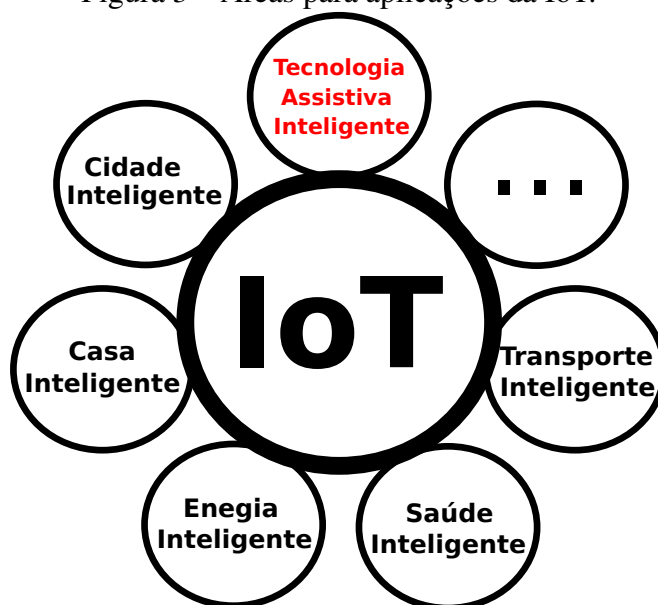
O termo IoT refere-se amplamente à extensão da conectividade de rede e da capacidade de computação ubíqua para usuários, com dispositivos, sensores e objetos digitais que podem ser integrados a ecossistemas ou ambientes inteligentes, a Figura 3, representa um modelo conceitual da IoT e suas áreas correlatas, onde computadores embarcados, *gateways* e aplicações, criam novas tendências.

Os modelos de redes e comunicações para os objetos inteligentes incluem aqueles em que os dados trocados não atravessam a internet (ROSE; ELDRIDGE; CHAPIN, 2015), esses modelos estão inseridos na arquitetura ATIoT na camada de borda, onde os dados gerados ou processados a partir desses objetos inteligentes passam por *gateways* (camada de névoa) cuja conectividade é baseada em redes IP. A camada de névoa é a responsável por conectar-se e enviar dados ou informações para as aplicações na camada de nuvem na internet.

### 2.2.1 Breve Histórico sobre à Internet das Coisas

Esse conceito chamado *Internet of Things* foi apresentado inicialmente por Mark Weiser no início de 1990 (WEISER, 1991), porém o termo (acrônimo) "IoT" foi cunhado pelo

Figura 3 – Áreas para aplicações da IoT.



Fonte: do autor

britânico "Kevin Ashton", e estabelecido durante o desenvolvimento do projeto "Auto-ID" de (RFID - "Radio-Frequency IDentification") do *Massachusetts Institute of Technology* (ASHTON *et al.*, 1999) em setembro de 1999, mas o uso do conceito o antecede desde a origem da própria concepção da Internet. Estima-se que no projeto ARPANET (*Advanced Research Projects Agency Network*) iniciado em 1962, que deu origem à Internet como a conhecemos, já previa utilizar a rede para controlar dispositivos eletrônicos remotos a ela interligados.

É importante entender que IoT não se constitui apenas na conexão e controle de objetos digitais através da Internet. O significado de IoT hoje é muito maior, pois a Internet é apenas a principal rede através da qual a inter-relação entre o mundo físico e o virtual ocorre. No entanto, no mundo virtual, as informações de objetos digitais podem ser correlacionadas por meio da conexão de pessoas, processos e dados em larga escala, através de diversas tecnologias como Computação em Nuvem, *Big Data* e *Analytics*, empregando novas e poderosas tecnologias de Transmissão de dados Wireless (sem fio), entre outras.

Fundamentalmente, IoT se baseia em sistemas computacionais com sensores embarcados em objetos e que através de interfaces eletroeletrônicas de comunicação e controle, possam ser interligadas às redes, inclusive à Internet, para que os dados coletados pelos sensores possam ser tratados e correlacionados a outros dados e informações de outros objetos IoT ou de bases de dados existentes.

A IoT se caracteriza também por possibilitar a capacidade de autonomia e de inteligência artificial de objetos, que podem responder e se modificar às variações do ambiente, desde que estejam devidamente programadas em seus microprocessadores. Como exemplo tradicional de aplicação tem-se sistemas autônomos de gerenciamento de semáforos

inteligentes de trânsito, operando com base no volume de veículos que cruzam as vias, esses, semáforos inteligentes podem ser considerados "sistemas IoT" (PERES, 2017).

Para melhor compreensão do fenômeno IoT, a indústria internacional desenvolveu um indicador, denominado "*Global Connectivity Index - GCI*- (Índice de Conectividade Global) que considera que a economia de todos os países está se transformando em uma "economia digital", onde a adoção de tecnologias de *Cloud Computing*, *Big Data*, *Analytics* e mobilidade combinadas estão potencializando a IoT para se tornar uma das forças disruptivas mais poderosas da economia mundial.

No relatório que divulga o indicador GCI, se apresenta o fato de que a "conectividade IoT" se tornará tão ubíqua (onipresente) e espalhada globalmente que no ano de 2025 o número de dispositivos ou objetos de IoT instaladas, conectadas, e autonomamente gerenciadas, deverá atingir a marca de 100 bilhões. Esta, indica ainda, que nos próximos 10 anos, países em desenvolvimento como o Brasil, China, Indonésia, dentre outros, irão desfrutar uma transformação digital mais rápida do que as economias mais maduras mundiais, devido aos seus altos crescimentos em gastos e investimentos com Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) e maior população consumidora de dados (PERES, 2017).

De 1990, com a primeira torradeira de pão "Sunbeam Deluxe", controlada pela Internet, apresentada por "John Romkey" na INTEROP-USA, até hoje, muita coisa mudou e evoluiu no mundo, principalmente com o uso massivo da Internet e o surgimento de inúmeras novas tecnologias. Objetos digitais conectadas às redes, na atualidade são mais triviais do que parecem. A conexão desses objetos *gadgets* (dispositivos) como *Smartphones*, *Tablets*, *iPads*, *SmartWatch*, *SmartGlasses*, *Smartcar*, *SmartClothes*, etc., conectados e inteligentes, estão à venda e presentes na vida de muitas pessoas. Da mesma forma, sistemas avançados de logística e transporte rodoviário, controle de estoque em tempo real, transportes metropolitanos (metrô), transportes aéreos, transportes navais, entre tantos outros, estão de uma forma ou de outra, ligados às redes privadas e também à Internet. Para se assimilar claramente os conceitos de IoT é preciso entender o ecossistema da Internet como um todo, onde IoT se agrega e com ela se confunde. Por outro lado, observando IoT como produto final, analogamente, neste momento ele é uma "semente" que se encontra em pleno período de "germinação" e deve evoluir e crescer com base no seu DNA tecnológico, no futuro. Hoje, mais de 95% dos objetos conectáveis no mundo físico ainda estão desconectadas (PERES, 2017).

Antes de falarmos sobre o estado atual da IoT, é importante concordar em uma definição. De acordo com a Cisco *Internet Business Solutions Group* (IBSG), a IoT é simplesmente o momento em que mais "coisas" (ou objetos) se conectaram à Internet do que pessoas. Em 2003, havia aproximadamente 6,3 bilhões de pessoas vivendo no planeta, e 500 milhões de dispositivos conectados à Internet. Ao dividir o número de dispositivos conectados pela população mundial, descobre-se que há menos de um dispositivo (0,08)



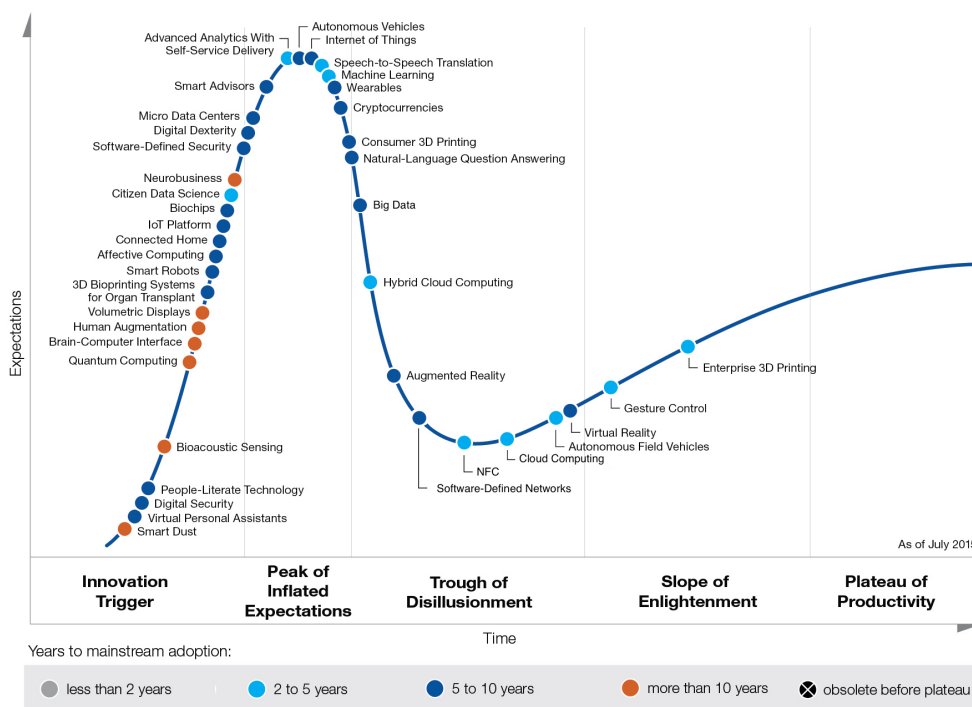


quase todas as pessoas que usam redes sociais o fazem também pelo *smartphone* (2,9 bilhões de pessoas, ou seja 39% da população mundial).

Segundo os dados levantados, o Brasil é o terceiro país que mais fica online: são, em média, 9h14min todos os dias. A Tailândia lidera o ranking, com uma média 9h38min, seguida das Filipinas, com 9h24min. Esses dados levam em conta o acesso feito a partir de qualquer dispositivo, e foi obtido por meio de pesquisas com usuários de 16 a 64 anos de idade (Holmes, 2008; FITZGERALD, 2018).

Ainda, dentre os mais recentes paradigmas da computação, a IoT é apontada por LEVY (2015), como uma tecnologia extremamente emergente. Em seu documento eletrônico apresentasse um relatório gráfico atualizado todos os anos com expectativas na área de Tecnologia da Informação (TI) e *Marketing Digital*. O *Hype Cycle* serve como referência mundial para governos e organizações sobre a relevância e amadurecimento das tecnologias, os quais são divididos em cinco fases: inovação (*Innovation Trigger*), ápice (*Peak of Inflated Expectations*), desilusão (*Trough of Disillusionment*), esclarecimento (*Slope of Enlightenment*) e plenitude (*Plateau of Productivity*). A Figura 5 mostra que em 2015 a IoT atingiu seu ápice de expectativas apoiada pelo surgimento de diferentes aplicações específicas (VERMESAN; FRIESS, 2014).

Figura 5 – O *Hype Cycle* do Gartner divulgado em Julho de 2015 mostra a IoT como uma das principais tecnologias emergentes.



Fonte: LEVY, 2015.

A fase de inovação é um período inicial onde são estabelecidas provas de conceito e protótipos sobre o paradigma. Na fase de ápice acontece uma diminuição de suas expec-

tativas com o lançamento de seus primeiros produtos ou aplicações. A fase de desilusão envolve adaptações que resultam em novas versões ou mesmo em sua obsolescência prematura. Caso ultrapasse esse período, novas aplicações podem ser descobertas na fase de esclarecimento para atingir seu potencial produtivo na fase de plenitude.

O desenvolvimento de ambientes para IoT é um passo necessário à evolução de tecnologias como Redes Inteligentes de Energia (*Smart Grids*), Sistemas de Transporte Inteligentes (*Intelligent Transportation*) e Cidades Inteligentes (*Smart Cities*). Juntas com a IoT, essas soluções fazem parte de uma classe mais genérica de sistemas chamada de Sistemas Ciber-Físicos (*Cyber-Physical Systems, CPS*) (STOJMENOVIC, 2014).

## 2.3 Frameworks

*Frameworks* podem ser classificados de diversas formas. Inicialmente, são classificados em dois grupos principais: Desenvolvimento Orientados a Objetos (DOO) e Desenvolvimento Orientado a Componentes (DOC). O primeiro define uma estrutura para o desenvolvimento de aplicações com DOO enquanto que o segundo define uma infraestrutura de execução onde componentes podem ser conectados.

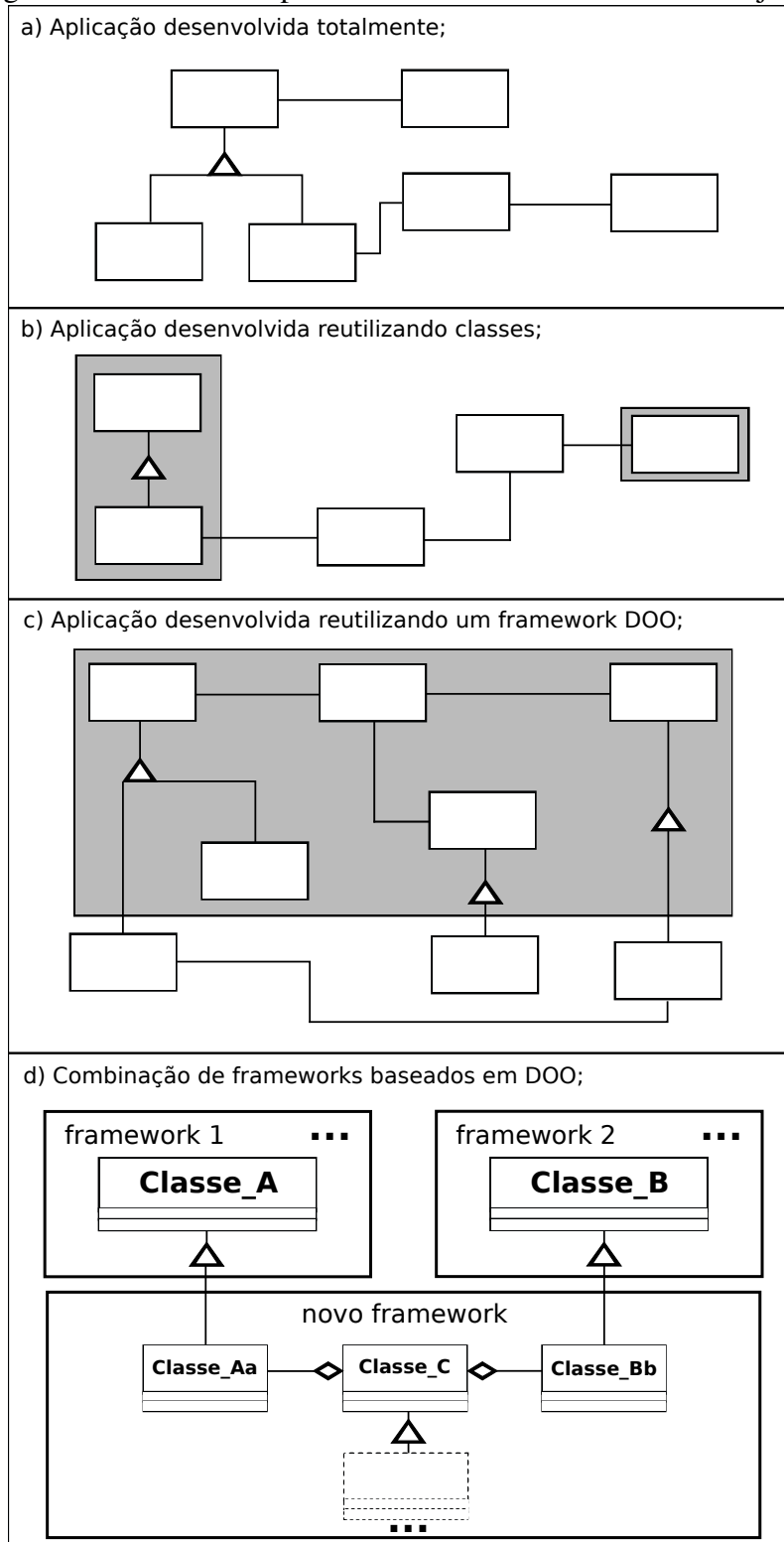
### 2.3.1 Framework DOO

Um *framework* com DOO fornece a reutilização de classes de uma biblioteca, que neste caso, são usados como pacotes de software isolados, cabendo ao desenvolvedor estabelecer sua interligação, para proceder-se à reutilização de um conjunto de classes inter-relacionadas (SILVA, 2000). A Figura 6 ilustra as diferenças, onde a parte sombreada representa classes e associações que são reutilizadas. As alíneas representam: a) Aplicação desenvolvida totalmente com bibliotecas e classes; b) Aplicação desenvolvida reutilizando classes de bibliotecas; c) Aplicação desenvolvida reutilizando um *framework* com DOO; e d) Combinação de *frameworks* baseados em DOO.

O paradigma de DOO produz uma descrição de um domínio para ser reutilizada, por meio de estruturas de classes inter-relacionadas, que correspondem a uma implementação para um conjunto de aplicações. Esta estrutura de classes deve ser adaptada para a geração de aplicações específicas, gerando um modelo de interação ou colaboração entre as instâncias de classes definidas. Os *frameworks* baseados em DOO portam a infraestrutura do projeto disponibilizada ao desenvolvedor da aplicação, o que reduz a quantidade de código a ser desenvolvida, testada e depurada. As interconexões preestabelecidas definem a arquitetura da aplicação, liberando o desenvolvedor desta responsabilidade. O código escrito pelo desenvolvedor visa estender ou particularizar o comportamento, de forma a moldá-lo a uma necessidade específica (MAXWELL, 2014).

Um *framework* com DOO se destina a gerar diferentes aplicações para um domínio. Precisa-se, portanto, conter uma descrição dos conceitos deste domínio. Apenas atributos

Figura 6 – *Frameworks* para desenvolvimento orientados a objetos.



Fonte: SILVA, 2000.

a serem utilizados por todas as aplicações de um domínio são incluídos em classes abstratas. No processo de desenvolvimento, deve-se produzir uma estrutura de classes com a capacidade de adaptar-se a um conjunto de aplicações diferentes. É fundamental que se disponha de modelagens de um conjunto significativo de aplicações do domínio. Este conjunto pode se referir a aplicações previamente desenvolvidas, ou a aplicações que se deseja produzir. A ótica de diferentes aplicações é o que dá ao desenvolvedor a capacidade de diferenciar conceitos gerais de conceitos específicos. Isto passa pela observação de princípios de projeto baseados em DOO, como o uso de herança para reutilização de interfaces, reutilização de código através de composição de objetos e preocupação em promover polimorfismo, na definição das classes e métodos, de modo a possibilitar acoplamento dinâmico. O uso adequado de herança implica na concentração das generalidades do domínio em classes abstratas, no topo da hierarquia de classes. Isto promove uso adequado de herança, pois a principal finalidade desta classe abstrata é definir as interfaces a serem herdadas pelas classes concretas das aplicações.

### 2.3.2 *Framework* DOC

*Frameworks* com DOC destinam-se a mudar a ênfase na construção do sistema de programação tradicional para compor sistemas de software com uma mistura de componentes padrões e componentes customizados. A utilização desta abordagem permite a reutilização de componentes de software em diversas aplicações, ao invés de se construir um sistema inteiramente novo, o que diminui significativamente a quantidade de código gerado. Além da diminuição do esforço empregado, outros benefícios são evidentes, pois um componente amplamente usado torna-se confiável, robusto, eficiente e bem conhecido quanto as suas funcionalidades, interfaces e limitações.

Tendo-se em vista um projeto complexo que envolva diferentes funcionalidades, pode-se mais facilmente construí-lo utilizando blocos funcionais a partir do reuso de componentes prontos. Assim, o projetista não necessita conhecer a implementação específica de cada funcionalidade, focando apenas na de seu interesse (API). Além disso, este sistema torna-se modular, o que ajuda nas dependências de controle e aumenta a exigibilidade do sistema para futuras alterações e manutenções. Os testes no sistema também ficam mais fáceis, uma vez que pode-se testar cada componente separadamente.

As interfaces são classificadas em fornecidas (*provided interfaces*) e requeridas (*required interfaces*). Um componente possui uma interface fornecida ao implementar todas as operações definidas naquela interface, e uma interface requerida ao usar pelo menos uma operação definida na interface. Componentes se conectam por meio da interface requerida de um com a interface fornecida do outro. Para conectar componentes com conectores incompatíveis, utiliza-se um código adicional chamado de adaptador, que faz as conversões e operações necessárias para compatibilizar interfaces.

A Figura 7 ilustra as diferenças, onde a parte sombreada representa componentes que

são reutilizadas (SILVA, 2000). As alíneas representam: a) Aplicação desenvolvida totalmente; b) Aplicação desenvolvida reutilizando componentes de bibliotecas; c) Aplicação desenvolvida reutilizando um *framework* com DOC; e d) Combinação de *frameworks* baseados em DOC.

O modelo de componentes (*component model*) define vários aspectos da construção e da interação dos componentes, entre eles, a forma de implementar as interfaces e os conectores. Vários modelos apoiam-se na orientação a objetos para a implementação de interfaces e mensagens, entretanto, esta tecnologia não provê suporte à representação de interfaces requeridas e aspectos não-funcionais.

Um exemplo de arquitetura para projetos que envolvam o reuso de componentes podemos citar *Service-Oriented Architecture* (SOA), ou Arquitetura Orientada a Serviços, pois nela, dividem-se as funcionalidades do sistema nos chamados serviços. Esses serviços representam para os requisitos o mesmo que os componentes representam para a arquitetura da aplicação. Sendo assim, pode-se dizer que um sistema que será desenvolvido utilizando uma SOA pode ser visto como uma composição de funcionalidades baseadas em componentes.

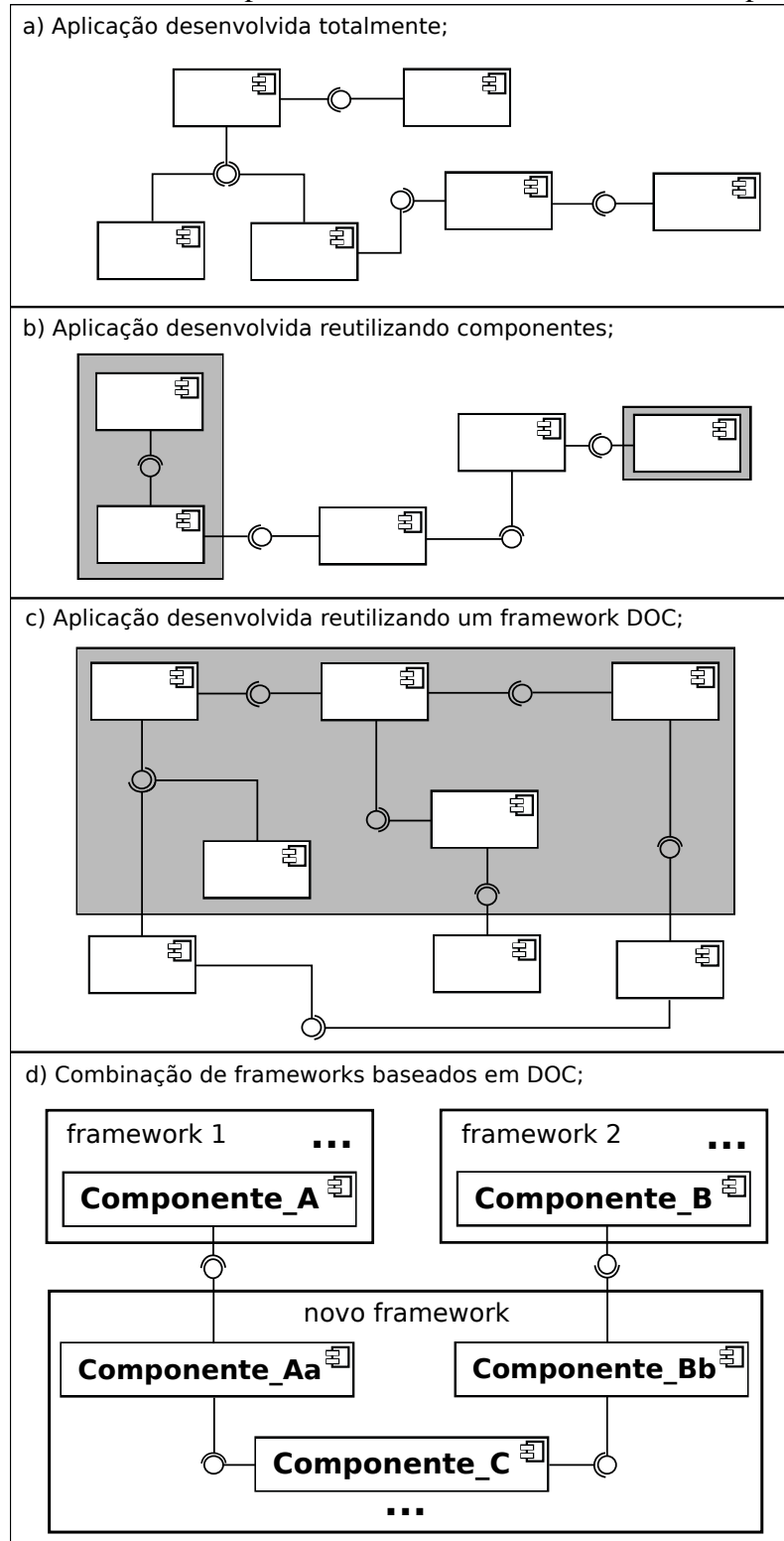
Para acessar e interconectar componentes, são utilizadas suas portas. Uma porta é um meio identificável de conexão, por onde um componente oferece seus serviços ou acessa os serviços dos outros. As portas são ligadas através de conectores, implementados através de chamada de métodos, propagação de eventos, fluxo de dados, transferência de arquivos, etc. Os tipos de conectores variam para cada tecnologia e possibilitam a conexão em tempo de codificação, compilação, inicialização ou execução. A interface é o contrato de utilização do componente. Respeitando-se os contratos, pode-se alterar a implementação interna do componente ou substituí-lo por outro, sem modificar seus clientes. A interface define as maneiras de utilizar o componente, separando a especificação da implementação. Um componente apresenta múltiplas interfaces correspondendo aos conjuntos de serviços que visam diferentes necessidades dos clientes. Normalmente, o componente possui pelo menos uma interface relativa aos serviços disponibilizados (interface de negócio ou aplicação) e outra à conexão com a infra-estrutura de execução (interface de sistema), onde são tratados serviços técnicos, como os relacionados ao ciclo de vida, à instalação e à persistência (SILVA, 2000).

## 2.4 Middlewares

Existem vários *middlewares* propostos, projetados e implementados (SCHNEIDER, 2012). Existem grandes diferenças entre esses *middlewares*, embora a maioria siga diretrizes de projeto básico semelhantes. A maioria dos *middlewares* pode ser classificada nas seguintes categorias, considerando seu conceito básico:

- Projeto Orientado para Publicação/Assinatura;

Figura 7 – *Frameworks* para desenvolvimento orientados a componentes.



Fonte: do autor

- Projeto Orientado a Serviços;
- Projeto Orientado a Banco de Dados;
- Projeto Esquizofrênico;

As subseções a seguir explanam parcialmente os diferentes princípios de projetos de *middlewares*.

#### 2.4.1 Padrão Publicação/Assinatura

Este princípio é centrado em torno do chamado padrão de projeto publicação/assinatura (em inglês, *publisher-subscriber*). Nesse padrão os dados são orientados a mensagens, e os dados derivados são publicados pelos chamados *publisher*. Se outra parte do sistema quiser obter acesso a esses dados, precisará se inscrever no fluxo de dados publicado pelo *publisher*. Isso fornece um acoplamento entre as diferentes partes do sistema, contanto que o *publisher* e o *subscriber* possam concordar em um formato de dados comum, nenhuma outra base comum entre os dois precisa existir para permitir que eles se comuniquem.

O fluxo de dados transporta mensagens discretas cobrindo informações sobre um tópico específico, através de operações *publisher* e *subscriber*. Logo, os fluxos de dados são organizados como um conjunto de tópicos, para os quais um *subscriber* pode anunciar seu interesse. Podem haver vários *subscribers*, assinando um único *publisher*, e vários *publishers* sendo assinados por um único *subscriber*. Os diferentes *publishers* não precisam estar cientes um dos outros, assim como os diferentes *subscribers*. Para fornecer aos *subscribers* acesso aos seus fluxos de dados (tópicos), é necessário criar um banco de dados (registro) que contenha todas as informações necessárias para localizar fluxos de dados de interesse para os diferentes *subscribers*. Existem diferentes opções para implementar esse registro:

- **Servidor de Registro Central:** um nó central é escolhido para atuar como o servidor de registro central. Ele é contatado por todos os *publishers* e armazena as informações sobre o *publisher* em um banco de dados interno. Os *subscribers* precisam entrar em contato com o registro sempre que quiserem recuperar informações sobre um fluxo de dados.

- **Servidor de Registro Distribuído:** nesse cenário, o registro é composto por um conjunto de servidores, e cada servidor mantém uma parte do registro. Quando um *subscriber* solicita informações sobre um dos servidores de registro, o servidor de registros já pode ter todos os dados necessários. Caso contrário, o servidor de registro contata outros servidores e os consulta para obter informações.

- **Banco de Dados de Registro Distribuído:** nesse projeto, o banco de dados é distribuído por um conjunto arbitrário de nós na rede. Não há um nó coordenador especial, e tampouco há servidores especiais mantendo uma parte específica do registro. Em vez

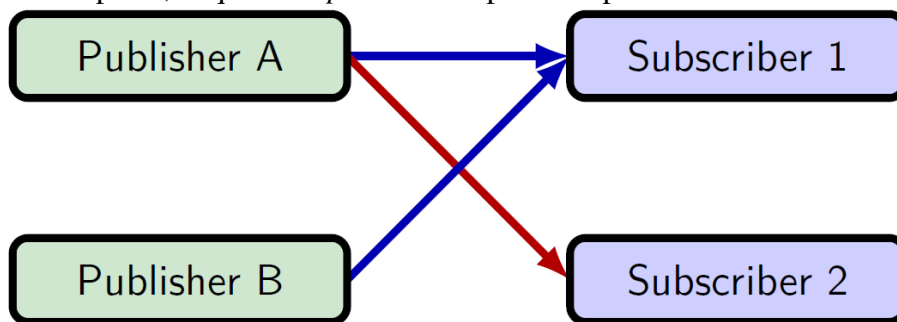


disso, o registro é distribuído em partes uniformes em toda a rede usando tabelas de *hash* distribuídas (NAOR; WIEDER, 2003).

Depois que um aplicativo encontrar um fluxo de dados de interesse, ele deve se inscrever em eventos provenientes desse fluxo. Existem três princípios básicos, e como isso pode ser implementado:

- **Conexão Direta com os *Publishers*:** conforme apresentado na Figura 8, nesse caso, o nó de inscrição contata diretamente cada *publisher* que está publicando um tópico específico, e mantém uma assinatura separada para cada um deles.

Figura 8 – Dois *subscriber* assinando dois tópicos diferentes. O *publisher A* está publicando os dois tópicos, enquanto o *publisher B* publica apenas um.



Fonte: SCHNEIDER, 2012

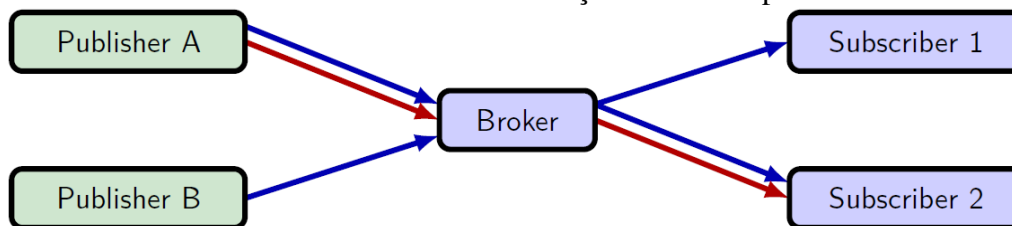
Ele também deve monitorar o sistema para os *publishers* que iniciam ou param para publicar este tópico. Esse sistema tem a vantagem de que cada conexão entre um *publisher* e um *subscriber* é independente de outras conexões. Isso leva a um sistema que é estável contra falhas de rede ou nós com falha. Se a largura de banda da rede subjacente for grande o suficiente, ela também fornece uma baixa latência entre os *publisher* e os nós. A principal desvantagem é a transmissão redundante de dados que os mesmos links de rede quando mais de um assinante está conectado através do mesmo link para o mesmo *publisher*. Isso também pode levar ao congestionamento da rede se o link de rede não tiver a largura de banda necessária.

- **Conexão Indireta Através de um *Broker Central*:**

Nesse cenário, os dados não fluem diretamente dos *publishers* para os *subscribers*. Em vez disso, os fluxos de dados de todos os *publishers* estão concentrados em um único nó, conforme mostrado na Figura 9. Este nó é chamado de *broker*. Os *subscriber* precisam entrar em contato com o *broker*. Eles também não precisam acompanhar o estado dos *publisher*, pois o *broker* manterá conexões com todos os *publisher* que tiverem pelo menos um *subscriber* correspondente.

O *broker* pode oferecer serviços adicionais para *publisher* e *subscriber*. Ele pode servir como um ponto central, ao qual nós diferentes podem se conectar e trocar dados, sem precisar trocar chaves de criptografia. Ele também pode impor políticas, que regulam o compartilhamento de dados entre diferentes partes do sistema. O sistema ainda

Figura 9 – O *broker* atua como um nó de distribuição e controle para toda a comunicação.



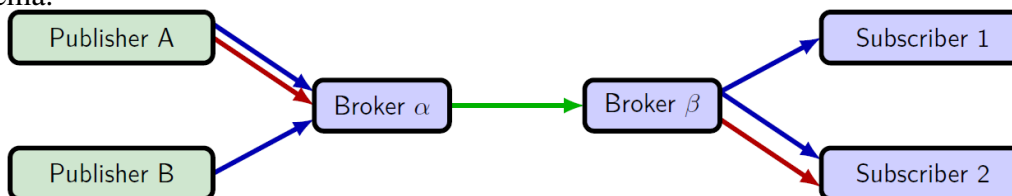
Fonte: SCHNEIDER, 2012

sofre com dados transmitidos redundantemente pelos mesmos *links* de rede e introduz um único ponto de falha. Quando o *broker* não puder encaminhar mais mensagens, nenhum assinante poderá mais receber mensagens. A concentração de todas as trocas de dados em um único sistema também pode levar a latências severas, já que o sistema tem que lidar com várias solicitações de uma só vez.

#### - Conexão Indireta Através de uma Rede de *Brokers*:

Neste cenário, o agente central é substituído por um conjunto distribuído de *brokers*. Esses *brokers* mantêm conexões entre si para rotear mensagens entre eles. A Figura 10 fornece um exemplo com dois *brokers* encaminhando mensagens entre si.

Figura 10 – Uma rede de *brokers* que encaminham mensagens para diferentes partes do sistema.



Fonte: SCHNEIDER, 2012

Se um assinante estiver interessado em um tópico específico, ele poderá entrar em contato com qualquer *broker* e solicitar esse tópico. A rede de *brokers* agora é responsável por rotear as mensagens deste tópico para este *broker*. O *broker* então envia as mensagens para o assinante. As soluções que envolvem um ou mais *brokers* permitem mais possibilidades de incorporar lógica e outras funcionalidades arbitrárias dentro deles. Exemplos são filtragem ou transformação de tópicos, sem duplicar esse esforço em cada assinante.

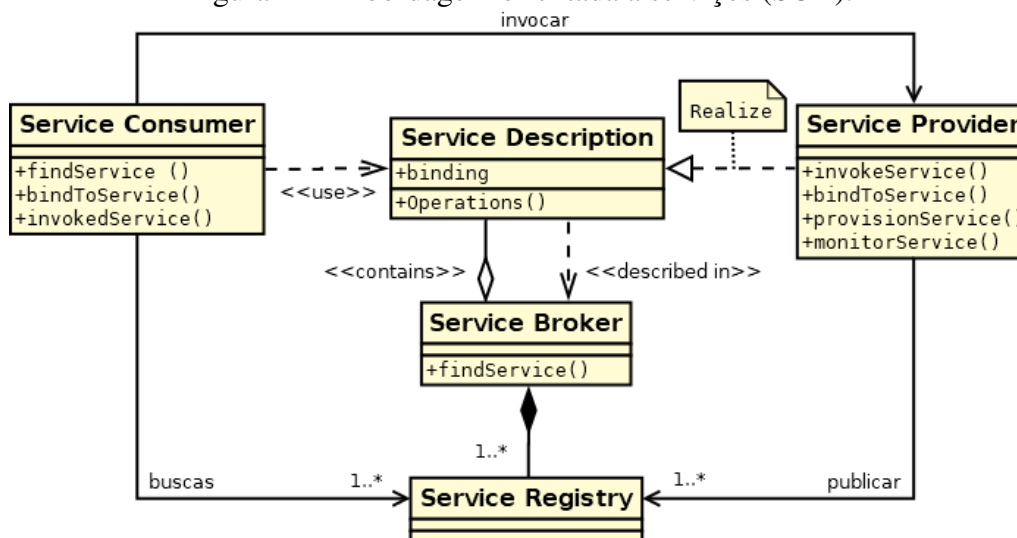
### 2.4.2 Arquitetura Orientada a Serviços

Uma Arquitetura Orientada a Serviços (ou SOA) é um paradigma de construção e integração de *software* que estrutura aplicações em elementos modulares chamados serviços. O serviço, a unidade fundamental de uma SOA, é um elemento computacional que tem como propósito desempenhar uma função específica e que pode ser utilizado por um cliente ou nó. Segundo os conceitos básicos de SOA, um serviço é composto por uma

interface e uma implementação. Geralmente, um serviço consiste em uma função de negócio desempenhada por um módulo de *software* (a implementação) e encapsulada por uma interface bem definida e acessível aqueles que desejam utilizar o serviço, ou seja, os potenciais clientes. Os clientes do serviço não têm acesso aos detalhes de como ele foi construído, mas apenas aos detalhes expostos em sua *interface*. A interface define as funções desempenhadas pelo serviço e eventuais precondições para utilizá-lo, mas não revela como estas funções são realizadas. Esta forma de encapsulamento é conhecida como caixa-preta<sup>5</sup> e é um princípio característico de paradigmas como orientação a objetos e componentes de *software*. Porém, diferentemente destes, serviços representam funções completas de negócio e são projetados de modo a serem usados não somente no âmbito de um programa ou sistema, mas no âmbito da organização ou até entre organizações.

Desta maneira, uma arquitetura SOA possibilita uma infraestrutura para computação distribuída, por meio de serviços que podem ser fornecidos e consumidos dentro de uma organização e entre organizações, por meio de redes de comunicação como a Internet. Uma SOA básica é caracterizada pelas interações entre três tipos de agentes de *software*: Provedor de Serviço (*Service Provider*), Consumidor de Serviço (*Service Consumer*) e o Registro de Serviço (*Service Registry*). As interações entre estes agentes podem ser visualizados na Figura 11.

Figura 11 – Abordagem orientada a serviços (SOA).



Fonte: do autor

Os serviços são oferecidos pelos Provedores de Serviços, organizações responsáveis por desenvolver suas implementações, fornecer suas descrições e prestar suporte técnico e de negócio. De modo geral, os provedores disponibilizam módulos de *software* (as implementações dos serviços) que podem ser acessados através de uma rede e publicam suas

<sup>5</sup>Refere-se à ocultação de detalhes técnicos (infraestrutura em uso, bancos de dados, mecanismos de controle de acesso etc.). Aplicações que venham a consumir um serviço não necessitam conhecer detalhes internos da implementação, apenas quais funcionalidades tal estrutura disponibiliza para uso.

descrições em um Registro de Serviços, agente que abriga informações sobre as funções oferecidas, os requisitos para se utilizar o serviço e orientações sobre como realizar a interação. É o Registro de Serviços que torna essas informações disponíveis para serem consultadas por clientes em potencial. Por sua vez, os Consumidores de Serviço são os agentes que necessitam solicitar a execução de um Serviço. Os Consumidores buscam nos registros a descrição de um serviço que satisfaça às suas necessidades e, ao encontrá-lo, utiliza-se desta descrição para ligar-se ao provedor e realizar a invocação do serviço. Os papéis de provedor e consumidor são lógicos, de modo que um mesmo agente pode exibir características de ambos dependendo do contexto.

Uma SOA gira em torno do conceito de invocar métodos em nós remotos. Cada nó, que está participando do sistema, oferece uma interface para os outros nós, para chamar os procedimentos implementados neste nó. Os procedimentos podem ser chamados com um protocolo RPC (*Remote Procedure Call*). Existe todo um conjunto de protocolos RPC existentes, como *Common Object Request Broker Architecture* (CORBA), *Simple Object Access Protocol* (SOAP) ou RPC com *Extensible Markup Language* (XML-RPC), entre outros. Novos conjuntos de protocolos estão sendo criados para atender especialmente às necessidades de dispositivos usados na IoT (NIXON *et al.*, 2009; AVILÉS-LÓPEZ; GARCÍA-MACÍAS, 2009).

### 2.4.3 Projeto Orientado a Banco de Dados

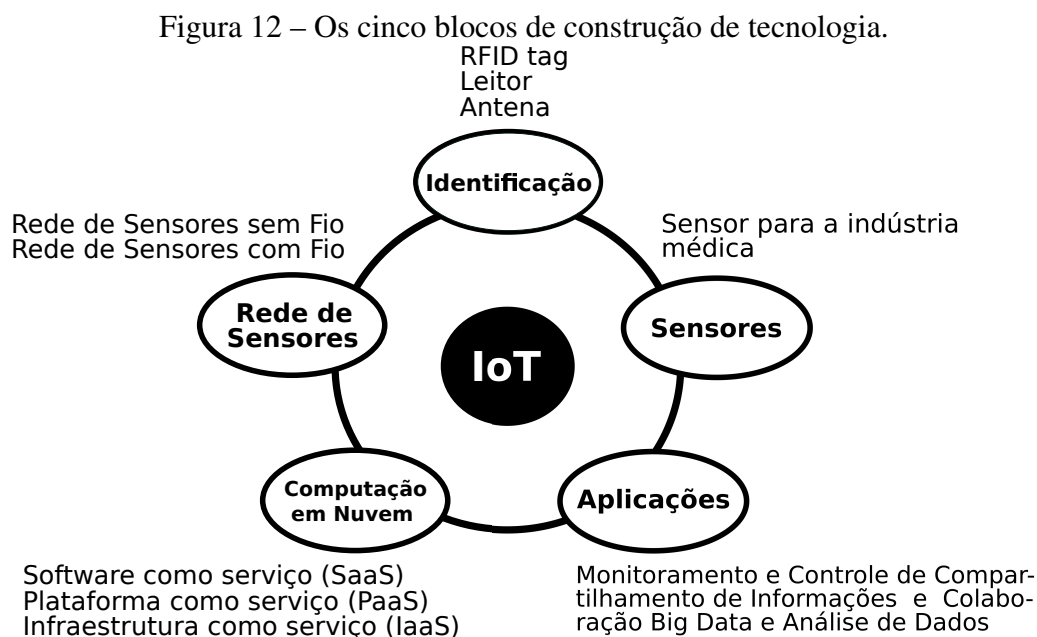
Em um projeto orientado a banco de dados, todos os dados dos sensores são coletados em um banco de dados. Outros nós podem consultar esse banco de dados usando linguagens de consulta como o SQL (ANASTASI; BINI; LIPARI, 2012). Isso possibilita que outros nós formem consultas complexas sem a necessidade de processar todos os dados envolvidos. Essa abordagem tem interatividade e concentra o gerenciamento completo em banco de dados. Esse paradigma ajuda a modelar as funcionalidades dos dados.

### 2.4.4 Projeto Esquizofrênico

Um projeto esquizofrênico leva em consideração que os protocolos de rede evoluem constantemente e novos são projetados (NAIN *et al.*, 2008). Existem também protocolos diferentes, que sempre coexistirão um ao lado do outro, executando essencialmente a mesma funcionalidade. Isso pode ser resultado das forças do mercado ou da necessidade de permanecer compatível com projetos mais antigos. Portanto, é benéfico projetar o *middleware* de uma forma que possa suportar diferentes protocolos sobre sua lógica central. O objetivo é facilitar a inclusão de novos protocolos à medida que se tornam relevantes para o sistema. Os diferentes protocolos podem ter visões diferentes sobre o ambiente inteligente subjacente, e o *middleware* pode ter que emular certos aspectos para satisfazer às necessidades de alguns protocolos.

## 2.5 Arquitetura Internet das Coisas para Tecnologias Assistivas

Uma arquitetura adequada para IoT requer a implementação de diversas e distintas tecnologias em computação, comunicações e mineração de dados (LOPES *et al.*, 2014). A Figura 12 apresenta cinco blocos de tecnologia. Esses blocos de construção tornam-se a base para uma integração de TA a um ecossistema IoT para apoiar a independência e a liberdade das pessoas com deficiência, conforme LEE (2017a).



Fonte: LEE, 2017a.

Para complementar essa visão hierárquica dos sistemas de IoT, cinco blocos de construção de tecnologia da arquitetura IoT podem ser examinados: identificação por radiofrequência (RFID), sensores, rede de sensores, computação em nuvem e aplicativos. Dispositivos de IoT para pessoas com deficiências utilizam-se de todos esses blocos de construção.

### 2.5.1 Identificação por radiofrequência

Identificação por radiofrequência (RFID) são sistema de dispositivos eletrônicos e de computação que permite que objetos com uma etiqueta RFID incorporada sejam identificados e rastreados sem fio. O RFID, usa energia eletromagnética para transmitir dados sem fio da tag RFID para o leitor RFID (WANT, 2006). Quando o objeto embarcado com a tag RFID passa perto de um leitor, a energia eletromagnética emanada das antenas do leitor cria energia elétrica para o tag transmitir dados armazenados por ondas de rádio para o dispositivo. As principais aplicações do RFID foram desenvolvidas nos setores de manufatura, saúde e transporte. O RFID tornou-se um importante bloco de construção para a IoT (LEE; LEE, 2015).

As etiquetas RFID podem fornecer muitos dos dados essenciais que os dispositivos IoT precisam fornecer. Quando usadas em ambientes hospitalares ou domiciliares para pessoas com deficiências, os aplicativos de TA habilitados por RFID permitem que os cuidadores identifiquem a localização exata das pessoas dentro das instalações dos serviços de atendimento e monitorem seus movimentos em tempo real. EL-BASIONI; EL-KADER; EISSA (2014), propuseram uma casa inteligente que apresenta uma solução completa para um ambiente de apoio que utiliza o sistema RFID com TA para pessoas com deficiências e idosos. Além disso, uma casa inteligente com um sistema RFID permite que pessoas com deficiências façam contribuições significativas, concluindo tarefas que não seriam possíveis sem essa tecnologia (NESSELRATH *et al.*, 2011; MULFARI *et al.*, 2014).

### 2.5.2 Sensores

Um dos maiores impulsionadores da revolução da IoT é o crescente número de sensores de baixo custo disponíveis para muitos tipos diferentes de funcionalidade (SWAN, 2012). A indústria de sensores está acelerando as inovações tecnológicas devido ao potencial de mercado criado pelo advento da IoT.

Os sensores podem ser com ou sem fio e são usados para monitorar e alertar alterações em ambientes como temperatura, peso, altitude, produtos químicos, umidade, luz, som, movimento, etc. Os sensores são frequentemente incorporados em máquinas e dispositivos. A tecnologia baseada em sensores inteligentes permitiu a automação residencial utilizando vários dispositivos, incluindo iluminação e controle de temperatura, dispositivos de gerenciamento de segurança doméstica e cozinhas adaptáveis (DOMINGO, 2012).

A aplicação de sensores pode ser dividida em duas categorias principais: aplicações médicas e aplicações não médicas (AL AMEEN; LIU; KWAK, 2012). As aplicações médicas dos sensores podem ser de dois tipos: vestíveis e implantadas. Dispositivos vestíveis são aqueles que podem ser usados na superfície do corpo de um ser humano, para medir a temperatura e monitorar a pressão arterial, respiração, frequência cardíaca, etc. Por outro lado, os dispositivos médicos implantáveis são aqueles que são inseridos dentro do corpo humano, para monitorar arritmia cardíaca, pressão do líquido cerebral, etc. Nesses casos, o sensor se comunica com outros sensores para transmitir dados coletados, uma rede de vários sensores também pode ser usada para executar tarefas colaborativas. Por exemplo, um sensor de temperatura pode funcionar com um sensor de umidade para manter o nível ideal da condição do ambiente para os pacientes. Os dados gerados pelo sensor são usados para análise de dados e tomada de decisão. Em outro exemplo, a coleta remota de dados médicos do paciente ajuda a fornecer atendimento de emergência, realizar diagnósticos e até mesmo administrar tratamento médico preventivo. Informações precisas, automatizadas e em tempo real reduzem erros e melhoram a qualidade e a eficiência dos serviços médicos. Devido à miniaturização de dispositivos IoT, os sensores têm os requisitos de

tamanho pequeno e eficiência energética.

Com relação as TA vários tipos de dispositivos sensores estão sendo utilizados em ambientes inteligentes para coleta e gerenciamento de dados para pessoas com deficiências (EL-BASIONI; EL-KADER; EISSA, 2014; JOSEPH *et al.*, 2015; LAMBRINOS; DOSIS, 2013; ONIGA; SÜTÖ, 2014). Além disso, existem trabalhos que mesclam IoT para a área médica e TA. Por exemplo, BUSCH *et al.* (2013), propuseram uma caixa de medicamento inteligente centrado no usuário, com elementos de interface claros e autoexplicativos, além de recursos de TA, como a conversão de texto em fala. Uma característica notável deste tipo de tecnologia é uma maior privacidade, segurança e confiança para as pessoas com deficiências cognitivas e motoras.

### 2.5.3 Rede de Sensores

Uma rede de sensores conecta os sensores entre si e transmite sinais, sendo utilizada em alguns aplicativos IoT. Uma Rede de Sensores Sem Fio (RSSF ou *wireless sensor network*), consiste em um grande número de nós de baixo consumo de energia, pequenos e de baixo custo, que possuem pequenas capacidades de detecção, processamento e comunicação via rádio (DEMIGHA; HIDOUCI; AHMED, 2013). As RSSF podem ser categorizadas em orientadas a eventos, orientadas a tempo e orientadas a consultas (BARRENETXEA *et al.*, 2008). Enquanto o RFID é usado para identificação e rastreamento de baixo custo, as RSSF trazem aos aplicativos da IoT capacidades mais ricas para detecção e atuação (LAZARESCU, 2013).

As RSSF estão ganhando impulso no setor de IoT com o crescimento de dispositivos IoT. Casa inteligente, fabricação inteligente e cidade inteligente dependem principalmente da RSSF para a implantação de sensores e dispositivos. Pesquisas em aplicações de sensores na saúde estão atualmente em progresso, sendo que aplicações de redes de sensores na área de saúde têm potencial para grandes impactos. Uma Rede de Sensores Corporais Sem Fio (RSCSF) com inteligência computacional local fornece um ambiente de monitoramento pervasivo (ubíquo) e, ao mesmo tempo, garante a mobilidade de usuários monitorados (AZIZ *et al.*, 2008). Esses benefícios podem ser obtidos por meio do monitoramento vital contínuo e em tempo real para fornecer alertas imediatos aos profissionais de saúde ou cuidadores sobre o status do usuário. À medida que milhares de dispositivos e sensores são conectados, as redes de sensores precisam ser eficientes em energia, altamente confiáveis e seguras.

As tecnologias de rede na coleta de dados permitem que os usuários controlem e monitorem eventos em várias configurações. SULA *et al.* (2014), apresentam uma estrutura baseada em IoT que utiliza uma combinação de robôs, *tablets*, *smartphones*, *laptops* e dispositivos *Playstation* para ajudar crianças com Transtorno do Espectro do Autismo (TEA) a realizar várias tarefas. O dispositivo *SmartBox* integrado nesta estrutura inclui vários sensores e atuadores, como sensor vestível, controle de cadeira ou vibrador de cama,

cheiro, som e controle remoto. Este dispositivo é combinado com vários sistemas visuais, como objetos, fotografias, imagens, desenhos e palavras escritas para crianças que podem compreender prontamente a representação visual. Crianças com autismo são altamente interessadas e motivadas por computadores e *tablets* com tela de toque, portanto, o dispositivo *SmartBox* integrado permite que crianças com autismo interajam, façam escolhas, respondam, obtenham novas habilidades de comunicação e criem comunicação ponto a ponto (P2P) entre crianças, cuidadores e terapeutas. Este ambiente de apoio é utilizado juntamente com processos de ensino de diagnóstico heurístico para identificar habilidades de aprendizado e traços criativos de alunos com autismo (SULA *et al.*, 2014).

Uma tentativa de unir a IoT e TA com o uso de redes neurais produziu um sistema que pode contribuir para a independência das pessoas com deficiência (ONIGA; SÜTÖ, 2014). Eles propõem um sistema de monitoração de atividade e saúde humana composto de placa de desenvolvimento com microcontrolador, um sensor acelerômetro de 3 eixos, um sensor de frequência cardíaca e módulos de comunicação, que fazem parte de um ambiente inteligente com recursos de IoT e TA.

#### **2.5.4 Computação em Nuvem**

A computação em nuvem é um paradigma de computação que depende do compartilhamento de recursos de computação, como servidores, armazenamento, largura de banda e aplicativos para as necessidades de computação de uma organização. De acordo com o Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia (MELL; GRANCE *et al.*, 2016), "A computação em nuvem é um modelo para permitir acesso onipresente e conveniente à rede a um conjunto compartilhado de recursos computacionais configuráveis (por exemplo, redes, servidores, armazenamento, aplicativos e serviços) que podem ser rapidamente provisionados e liberados com o mínimo esforço de gerenciamento ou interação com prestadores de serviço". A computação em nuvem tem cinco características essenciais: autoatendimento sob demanda, amplo acesso à rede, agrupamento de recursos, elasticidade rápida e serviço medido (MELL; GRANCE *et al.*, 2016). Os três principais serviços são fornecidos pela arquitetura de computação em nuvem para atender às diversas necessidades dos usuários: Software como Serviço (SaaS), Plataforma como um Serviço (PaaS) e Infraestrutura como Serviço (IaaS) (BUYA *et al.*, 2009; CUSUMANO, 2010).

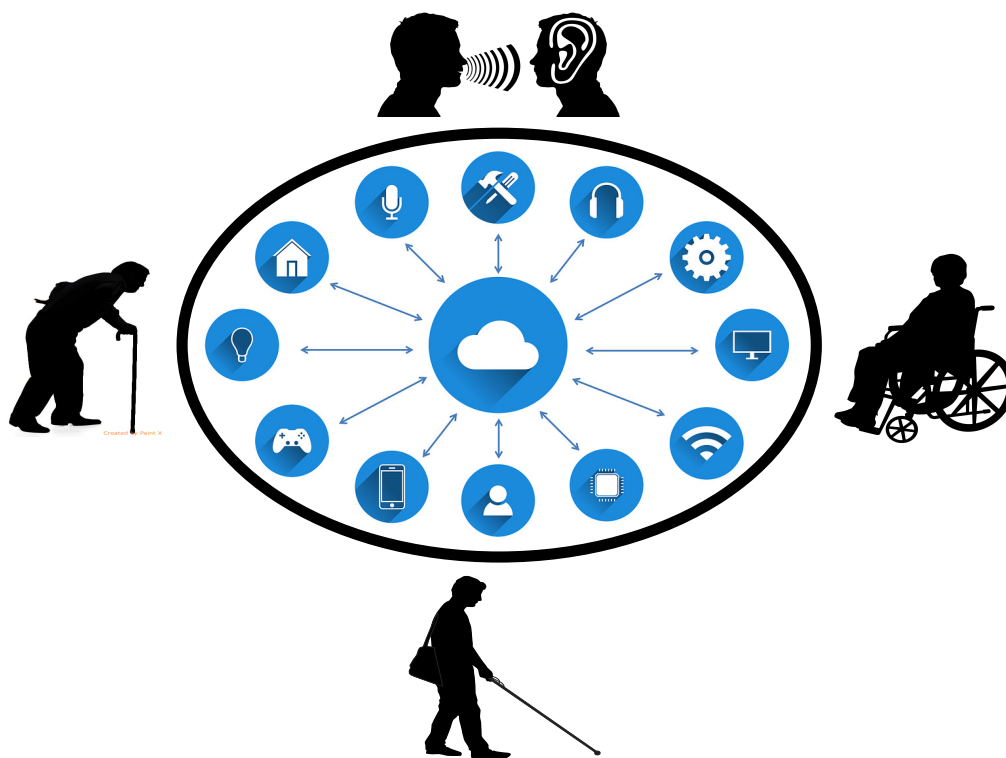
Os dispositivos de IoT geram uma enorme quantidade de dados, que precisam ser armazenados, processados e compartilhados (GUBBI *et al.*, 2013). Os principais modelos de implantação incluem a nuvem pública, a nuvem privada, a nuvem comunitária e híbrido. A nuvem da comunitária é compartilhada por várias organizações com propósitos similares de implantação. A nuvem híbrida é um ambiente de nuvem no qual uma organização possui e gerencia sua nuvem privada e aproveita uma nuvem pública ou uma nuvem da comunitária fornecida externamente. A computação em nuvem tem sido reconhecida como um bloco de construção da arquitetura de IoT, já que pode suportar as necessida-



des gigantescas de armazenamento e processamento de dados dos sensores e dispositivos individuais. Por exemplo, os dispositivos IoT podem alimentar dados em *data centers* em nuvem para análise e compartilhar dados pelo *data center* com outros dispositivos conectados à rede de sensores.

Dispositivos de TA baseados em IoT podem usar a computação em nuvem para atualizar ou expandir funções sem muito esforço e tempo do usuário. Como a computação em nuvem tem vantagens como independência de plataforma, alta confiabilidade, alta eficiência e escalabilidade, a construção de centros de nuvem em hospitais e instalações médicas pode promover o compartilhamento de recursos e facilitar o desenvolvimento de sistemas médicos de monitoramento e gestão altamente confiáveis (LIU *et al.*, 2015). A Figura 13 apresenta um ambiente de IoT baseado em nuvem para TA.

Figura 13 – Um ambiente de IoT baseado em nuvem para TA.



Fonte: adaptado de (LEE, 2017a).

Os *data centers* em nuvem possuem a capacidade de aumentar e diminuir a capacidade de computação, de acordo com a demanda, permanecendo acessíveis em qualquer lugar a partir de qualquer dispositivo. Algoritmos de processamento de dados de alto desempenho, métodos de controle e técnicas de aprendizado podem ser instalados e executados nos *data centers* centralizados. A integração da nuvem em sistemas de IoT acelera o desenvolvimento de novos aplicativos baseados em IoT. Com tantos dados gerados por potencialmente milhares de diferentes sensores e dispositivos, a computação em nuvem desempenha o papel central de filtrar, analisar, armazenar e acessar dados e

aplicativos de maneiras úteis. A computação em nuvem pode ser um dos principais facilitadores potenciais dos ambientes inteligentes de próxima geração para pessoas com deficiências (GUBBI *et al.*, 2013). A IoT baseada em nuvem é considerada uma tendência futura (DORES; REIS; LOPES, 2014). A computação em nuvem pode dissociar os dispositivos de TA dos computadores, evitando instalações de aplicativos em cada computador disponível (MULFARI *et al.*, 2015).

### 2.5.5 Aplicações

A IoT pode ser classificada em três áreas principais de aplicativos: monitoramento e controle, compartilhamento e colaboração de informações, e análise de dados (LEE; LEE, 2015). Aplicativos IoT são a parte mais visível para os usuários no sistema IoT. Os aplicativos de IoT executam funções específicas, como monitorar máquinas remotamente, informar um cuidador sobre a condição médica em tempo real de uma pessoa com deficiência e analisar dados ambientais coletados de sensores. A saúde inteligente, que monitora as condições de vida e o estado de saúde dos usuários usando pequenos dispositivos de detecção e coleta de dados em uma rede no dia a dia, é esperada como uma nova tendência (SUZUKI *et al.*, 2013). Por exemplo, os aplicativos baseados em IoT para detecção de queda fornecem ajuda e segurança para pessoas idosas ou com deficiência que vivem de forma independente. Os aplicativos de IoT para colaboração exigem comunicações e interações constantes entre dispositivos e dispositivos e dispositivos, e seres humanos.

Embora os dispositivos de monitoramento e controle possam funcionar independentemente uns dos outros, os aplicativos de colaboração exigem que vários dispositivos trabalhem em sincronia para fins comuns. Por exemplo, vários dispositivos sensores em edifícios e instalações podem realizar a colaboração para uma operação inteligente (YU *et al.*, 2016). *Big data* e análise de dados é outra área promissora de aplicativos de IoT (LEE; LEE, 2015). Os dados da IoT podem ser muito grandes quando os dados são gerados durante um certo período de tempo (LIU *et al.*, 2015). Esses dados da IoT também podem ser colocados em *data centers* na nuvem para processamento (MA *et al.*, 2012). A capacidade dos *data centers* em nuvem está crescendo exponencialmente e a capacidade de armazenamento agora é uma preocupação menor, entretanto o uso adequado da informação para agregar valor significativo aos usuários e organizações é uma preocupação maior. Por exemplo, a análise de enormes quantidades de dados armazenados no *data center* pode indicar certos padrões de quando uma pessoa com deficiência está em risco à saúde e pode ser capaz de alertar os profissionais de saúde ou cuidadores sobre o problema iminente. Por exemplo, tal como mencionado anteriormente, BUSCH *et al.* (2013), propõem um gabinete de medicina inteligente centrado no usuário que se concentra no compartilhamento de informações e colaboração. Essa tecnologia fornece elementos de interface claros e autoexplicativos, além de recursos de TA, como a fun-

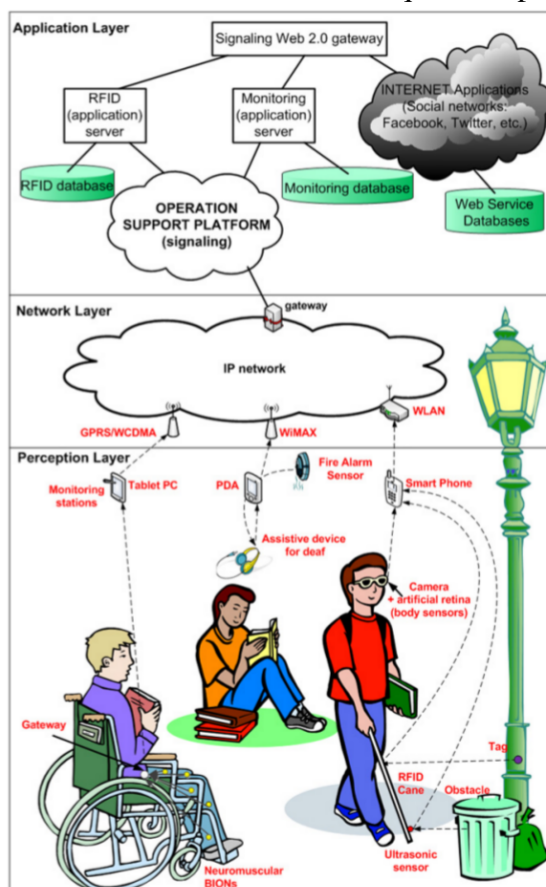
ção de saída de texto para fala. Uma característica notável desta tecnologia é a maior privacidade, segurança e confiança das pessoas com deficiências cognitivas e motoras.

### 3 REVISÃO DA LITERATURA

#### 3.1 Integrar Tecnologias Assistivas com Internet das Coisas

No espectro dos trabalhos científicos sobre TA integradas à IoT, destaca-se a pesquisa de DOMINGO (2012), que propõe, um modelo conceitual de uma arquitetura IoT para usuários com TA. Os desafios críticos estão identificados e descritos junto com os principais benefícios da pesquisa, os quais, permanecem em aberto para futuras investigações, assim conclui à pesquisadora, ou seja, o modelo conceitual não foi construído ou validado.

Figura 14 – Modelo conceitual da arquitetura proposta.



Fonte: DOMINGO, 2012.

Desse modo, a tese propõe a construção de uma arquitetura denominada ATIoT, que reaproveita parcialmente o modelo conceitual (idealização) de DOMINGO (2012), em conjunto com uma gama de TIC, diretrizes e modelos de referência para IoT baseados na produção ciência e indústria.

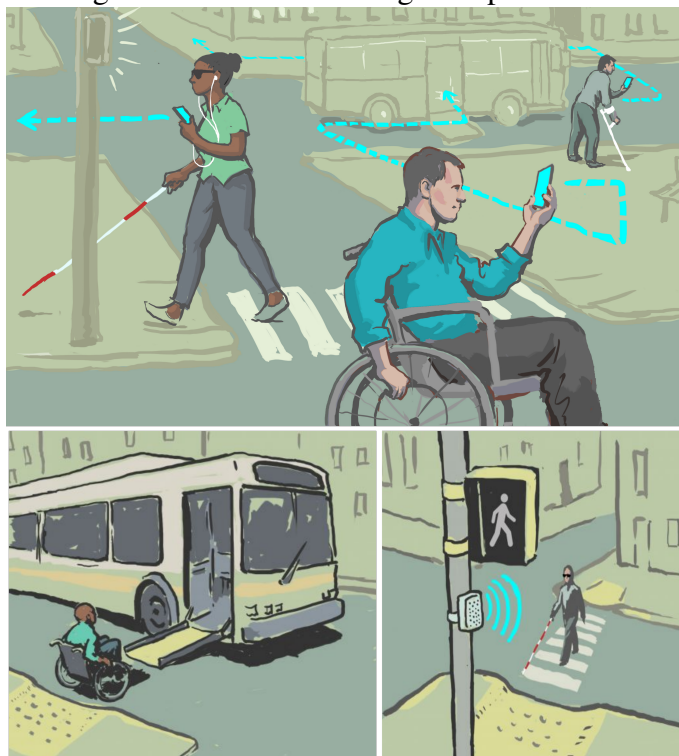
### 3.2 Iniciativas Globais: Cidades Inteligentes para Todos

Cidades Inteligentes do mundo inteiro possuem o privilégio de utilizar o seu considerável poder de compra, inclusive de TIC, para promover os direitos e a inclusão digital de pessoas com deficiências e idosos. Processos de contratos públicos são cada vez mais reconhecidos como uma ferramenta política altamente eficaz para promover a acessibilidade de equipamentos (TIC), software, aplicativos e serviços adquiridos por governos ou programas financiados pelo governo. O interesse global no efeito positivo dos contratos públicos é em grande parte resultado de duas atividades de políticas públicas de acessibilidade bem conhecidas; a Seção 508 do *Rehabilitation Act* nos Estados Unidos (que rege a aquisição, desenvolvimento, manutenção e uso de tecnologias eletrônicas e de informação acessíveis pelo governo federal) e a ETSI EN 301 549 (a norma europeia de acessibilidade que inclui critérios de acessibilidade para os contratos públicos de produtos e serviços de TIC na Europa). Especialistas do mundo todo concordam que exigir acessibilidade em todos os contratos públicos de TIC é necessário para criar cidades inteligentes acessíveis (THURSTON; PINEDA, 2016).

Em junho de 2016, a *Global Initiative for Inclusive Information and Communication Technologies* (GALLEGOS, 2006) e a *World Enabled* (PINEDA, 2005), lançaram a iniciativa *Smart Cities for All* (THURSTON *et al.*, 2016) para definir o estado da acessibilidade das TIC nas cidades inteligentes em todo o mundo. O foco é eliminar o fosso digital para pessoas com deficiência e idosos em cidades inteligentes, além de construir parcerias com organizações e empresas líderes para criar e implantar as ferramentas e estratégias necessárias para construir cidades inteligentes mais inclusivas, Figura 15.

A iniciativa incluiu uma pesquisa com mais de 250 especialistas internacionais de governos municipais, indústrias, sociedade civil e universidades, uma série de mesas-redondas em cidades inteligentes globais (Quito, Barcelona, Londres, São Francisco e Nova York) e entrevistas com os gestores e tecnólogos de programas com temas sobre cidades inteligentes. Essa iniciativa confirmou que a maioria das cidades inteligentes de hoje não é totalmente acessível e o resultado disso é uma exclusão digital cada vez maior de pessoas com deficiência e idosos. Dos especialistas globais pesquisados pelo projeto *Smart Cities for All* em 2016, 60% acreditam que as cidades inteligentes de hoje falham com as pessoas com deficiências. O resultado é um impacto negativo em diversas áreas, incluindo a vida independente, transporte, governo eletrônico, emprego, participação cívica, segurança e justiça, resposta de emergência, eleições e serviços financeiros.

Figura 15 – Cidades inteligentes para todos.



Fonte: adaptado de (THOMPSON, 2017; THURSTON *et al.*, 2016).

Atualmente, especialistas globais não veem uma ligação clara entre as normas de acessibilidade para TIC e os programas de cidades inteligentes ao redor do mundo. Apenas 18% dos especialistas globais pesquisados têm conhecimento de cidades inteligentes que usam padrões de acessibilidade para TIC. Peritos do mundo todo foram claros na crença de que para criar cidades inteligentes verdadeiramente acessíveis, a acessibilidade deve ser um critério exigido em todos os contratos públicos de TIC (THURSTON; PINEDA, 2016).

A G3ict é uma iniciativa de advocacia lançada em dezembro de 2006 pela Aliança Global das Nações Unidas para TIC e Desenvolvimento, em cooperação com o Secretariado da Convenção sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência da Organização das Nações Unidas (ONU DESA). Sua missão é apoiar e ajudar a implementar os objetivos da Convenção sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência (CDPD), promovendo a acessibilidade digital e as Tecnologias Assistivas.

O *World Enabled* é um grupo global de educação, comunicação e consultoria estratégica. Apoiar empresas e governos com a plena implementação de mandatos legais que promovem os direitos das pessoas com deficiência. Suas iniciativas de trabalho e pesquisa se concentram no planejamento urbano e no desenvolvimento urbano inclusivo. Com seus parceiros internacionais, ajuda a construir sociedades inclusivas, onde as pessoas com deficiência podem desenvolver plenamente seus talentos e alcançar seu pleno potencial.

A *Smart Cities for All*, agrega em si, um kit de Ferramentas com normas e diretrizes

que capacita os líderes e planejadores urbanos a tornar seus programas verdadeiramente mais eficazes ao serem inclusivos e acessíveis pelo design, relatórios técnicos ajudam a implementar às TIC nas cidades inteligentes e consequentemente promover a acessibilidade e inclusão digital de pessoas com deficiência e idosos. Os relatórios possuem participações de uma série de organizações, incluindo gestores governamentais, formuladores de políticas, profissionais de TIC, defensores dos direitos de pessoas com deficiência, oficiais de licitações, fornecedores de tecnologia e desenvolvedores de aplicativos e soluções para cidades inteligentes.

Cada relatório aborda um desafio identificado por especialistas globais como uma barreira para a inclusão digital de pessoas com deficiência e idosos (ou IPDI), em cidades inteligentes.

- **Visão Geral do Kit de Ferramentas:** guia rápido que fornece uma breve descrição de cada uma das quatro ferramentas a seguir;
- **Guia para a Implementação de Padrões Prioritários de Acessibilidade às TIC:** Padrões de TIC acessíveis são a chave para desenvolver uma abordagem mais inclusiva para as cidades inteligentes. Esse guia apresenta os três padrões-chave, além de uma lista de verificação, passo a passo, das ações de impacto que as lideranças podem realizar para garantir que a sua cidade esteja familiarizada com esse padrões e que efetivamente os utilize para a melhoria da acessibilidade às TIC;
- **Guia para Adoção de uma Política de Aquisição de Acessibilidade às TIC:** cidades inteligentes do mundo inteiro possuem o privilégio de utilizar de um considerável poder de compra, inclusive para TIC, para promover o avanço dos direitos e a inclusão digital de pessoas com deficiências e idosos. Esse guia ajuda as cidades a adotar uma política que exige que as compras de quaisquer TIC sejam acessíveis a pessoas com deficiências e idosos. O guia também disponibiliza um modelo de política de aquisição de acessibilidade às TIC e fornece uma lista de verificação, passo a passo, para a sua adoção;
- **Divulgação de Casos para um Maior Comprometimento das Cidades com a Inclusão Digital:** um dos maiores desafios para a criação de cidades inteligentes mais inclusivas é sensibilizar as pessoas quanto às deficiências e à acessibilidade às TIC. Essa ferramenta é projetada para ajudar a informar, de forma eficaz, as vantagens de incorporar a acessibilidade às TIC, aos serviços digitais de uma cidade. Ela fornece argumentos comerciais, técnicos e de direitos humanos, para um maior comprometimento com a inclusão digital de pessoas com deficiência e também auxilia na disseminação, às partes interessadas, da ideia de que uma cidade inteligente também deve ser uma cidade acessível;

- **Banco de Dados de Soluções para Inclusão Digital em Cidades:** as cidades inteligentes que incorporam a acessibilidade às TIC em seus programas e soluções conseguem entregar enormes benefícios aos cidadãos com deficiências, aos idosos e à população em geral. Essa ferramenta é desenhada para mostrar às cidades inteligentes, os produtos e soluções disponíveis para implantação, e que podem gerar impactos positivos aos cidadãos em áreas críticas como autonomia de vida, segurança pública, transportes, empregos e serviços públicos online. O banco de dados inclui uma prova de conceito, um roteiro para testes, exemplos das mais de 350 soluções disponíveis, e o compromisso de continuar crescendo esse banco de dados à medida que avançarmos no desenvolvimento e disponibilização de versões mais estáveis;

A *Smart Cities for All*, se beneficia de uma rede global de representantes de países especializados em acessibilidade. Esses representantes colaboram com governos locais e nacionais, sociedade civil e partes interessadas do setor privado para tornar as cidades globais mais inclusivas no contexto dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), da Nova Agenda Urbana Habitat III e da Convenção sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência (CDPD) da ONU. A *Smart Cities for All*, aspiram usar às TIC para as pessoas com deficiências e idosos. Em uma era de tecnologias conectadas, nossas cidades têm o potencial de serem construídas para responder às nossas necessidades e facilitar nossas vidas, especialmente aqueles com idades variadas e habilidades físicas ou cognitivas afetadas (THURSTON *et al.*, 2016).

### 3.3 Integrar Tecnologias Assistivas à Internet das Coisas

As TA foram desenvolvidas para aumentar a qualidade de vida das pessoas com deficiência com melhores serviços em educação, reabilitação e saúde (ALPER; RAHARINIRINA, 2006; LEE; TEMPLETON, 2008; J. SCHERER LAURA A. CUSHMAN, 2001). À medida que os recursos e opções disponíveis de TA aumentam, seu uso tem sido mais amplamente considerado e recomendado (J. SCHERER LAURA A. CUSHMAN, 2001). De acordo com a Lei de Assistência Tecnológica de Indivíduos com Deficiência de 1988, dos Estados Unidos (BRYANT; SEAY, 1998), (P.L. 100-407), os dispositivos de TA incluem ferramentas de comunicação incluindo conversor de texto-voz, auxiliares de educação para leitura e escrita, dispositivos de vida diária, como robótica para manutenção doméstica, mobilidade e automação residencial, como detectores de fumaça, iluminação remota e controle de água. Desde o advento da IoT, algumas TA tradicionais foram gradualmente integradas às capacidades da IoT. Os tipos de deficiências que atualmente são suportados com TA integradas à IoT incluem audição, visão, mobilidade, cognição e dificuldades de aprendizado. Esta seção explora quais TA integradas à IoT foram desenvolvidas e estão em desenvolvimento para capacitar as pessoas com defici-



ências. A seguir, discutimos TA integradas à IoT para pessoas com deficiência auditiva, deficiências visuais e deficiências de mobilidade.

### 3.3.1 Aplicativos IoT para Pessoas com Deficiência Auditiva

A IoT está melhorando a vida de pessoas com deficiência auditiva e surdas. As pessoas com deficiência auditiva podem se beneficiar de dispositivos e sensores de TA externos ou internos (implantados no ouvido) que ajudam a melhorar a audição. As três principais características de design dos dispositivos de TA para essas pessoas são: amplificação de som, saída de informação visual (por exemplo, luzes intermitentes, linguagem de sinais e saída de texto) e saída tátil (por exemplo, despertador vibratório). Em uma configuração de automação residencial baseada em IoT, os sensores monitoram o ambiente ao redor e detectam certos eventos, como calor, fumaça ou fogo, que acionam um sinal de alarme que, por sua vez, é enviado para uma estação de controle. A estação de controle a encaminha para o dispositivo de TA como um sinal de alarme amplificado para deficientes auditivos ou sinal de flash para surdos.

O *HandTalk* é um protótipo de luva de gesto que converte gesto em voz, o dispositivo é portátil e de baixo custo, projetado para ajudar pessoas com esse tipo de deficiência a se comunicar com aqueles que não estão familiarizados com a linguagem de sinais americana (ASL) (SARJI, 2008). O *HandTalk* tem um mecanismo simples para alternar do modo de espera para o modo pronto, e vice-versa, e usa aplicativos comerciais para uso compatíveis com telefones celulares e dispositivos portáteis padrão. A luva é equipada com sensores flexíveis que detectam a posição dos dedos e a envia para uma estação de monitoramento usando *bluetooth*. Se os dados de posição corresponderem ao conjunto de valores associados a um sinal ASL de um banco de dados armazenado, o sinal será convertido em texto e, finalmente, em fala.

Várias empresas de tecnologia estão competindo para conquistar o mercado de aparelhos auditivos com a integração à Internet. A Siemens apresenta o sistema de aparelhos auditivos *EasyTek* (TIMM, 2015), que adiciona funções e conectividade de cada aparelho auditivo via *bluetooth* a um dispositivo em forma de disco *EasyTek* que as pessoas usam ao redor do pescoço, sendo usado para controlar o volume do dispositivo ou ativar ou desativar o aparelho auditivo. O dispositivo possui tecnologia de cancelamento de ruído que remove o ruído e amplifica a voz da pessoa que está diretamente em frente ao usuário do aparelho auditivo. Esse dispositivo exemplifica a ideia do monitoramento e controle integrados à IoT. Um outro aparelho auditivo inteligente que se conecta ao *smartphone* via *bluetooth* como um recurso de aparelho auditivo é o *Smart Hearing Aid*, o qual oferece recursos básicos de audição, como chamadas de voz e reprodução de música com qualidade de CD, e oferece um recurso de aparelho auditivo de quatro canais para pessoas com deficiência auditiva (TAE-WON, 2015).

Com base no padrão *bluetooth* existente, que é amplamente suportado nos *smartpho-*

nes, *tablets* e computadores pessoais atuais, a IoT oferece aos usuários com deficiência auditiva a mesma opção de produtos e oportunidades que qualquer outra pessoa. Os sistemas de aparelhos auditivos de coleta de dados sobre a configuração do dispositivo, idade, gênero, preferências de áudio e seus ambientes auditivos cotidianos. Esses dados podem ser enviados para o *data center* em nuvem para análise adicional. *Big analytics* de dados de aparelhos auditivos é outro exemplo de uma mudança de paradigma na ciência da audição. A IoT permite a gravação de ajustes auditivos personalizados e a vinculação de dados para posterior análise remota nos *data centers*. Assim, em um futuro próximo, os usuários de aparelhos auditivos terão inclusive a oportunidade de participar do desenvolvimento de aparelhos auditivos, já que resultados de centenas de milhares de usuários serão submetidos a grandes mecanismos de análise de dados, visando a otimização de algoritmos fonoaudiológicos (DE VRIES, 2014). Os aparelhos auditivos integrados à IoT realizam totalmente a aplicação de monitoramento e controle, compartilhamento e colaboração de informações e grande volume de dados, além de análise de dados. Uma das tecnologias médicas mais recentes, o Implante Coclear (IC), tem sido amplamente implementada em bebês com apenas 3 meses de idade. A eficácia do IC tem sido bem recebida, sendo que a recente tecnologia de IC mudou de um sistema baseado somente em sensação auditiva para um sistema integrado à IoT com saída adicional baseada em texto e imagem.

Outra aplicação das TA integradas à IoT para pessoas com deficiência auditivas e surdas é na área de rede doméstica. A LIFX foi pioneira no controle de lâmpada inteligente com LEDs multi-coloridos que é controlável por meio de um dispositivo inteligente (BO-SUA *et al.*, 2012). As lâmpadas LIFX piscam em vermelho para permitir que usuários com deficiências auditivas saibam que pode haver perigo de níveis elevados de fumaça ou de monóxido de carbono (CO). O ambiente também tem vários monitores conectados à Internet, RFID e *scanners*. A pessoa surda possui uma *tag* que é continuamente monitorada por um *scanner*, informações como identidade, localização e preferências subsequentes são abstraídas pelos sistemas LIFX, as telas conectadas nas proximidades da pessoa podem adaptar-se a sinalização e modalidade apropriada.

### **3.3.2 Aplicativos IoT para Pessoas com Deficiência Visual**

As três principais características comuns de designs de aplicativos de TA para pessoas cegas ou deficientes visuais são: ampliação (por exemplo, texto com zoom, fontes grandes, etc.), saída auditiva (por exemplo, leitor de tela, texto para dispositivos de saída de voz, etc.) e saída de informações táteis (por exemplo, braille, mapas em relevo, etc.). Indivíduos com deficiência visual têm sido menos dependentes de outros indivíduos, devido às várias aplicações de TA que lhes permitem concluir tarefas em habilidades de vida diária. Estes incluem analisador de cores e padrões para aplicações de vestimenta, saída de fala, e também para acessar informações na web, livros e e-mails. Como uma ferramenta de navegação para pessoas com deficiência visual, a bengala branca, um dis-

positivo baseado no tato, tem sido usada há várias décadas. Entretanto, vários projetos de integração de IoT oferecem cada vez mais opções para pessoas com deficiência visual, e a bengala branca pode se tornar uma coisa do passado, projetos de bengalas eletrônicas já são realidades (HOYLE; WATERS, 2008; RAMIREZ; DA SILVA; CINELLI, 2011; GUIMARÃES; HENRIQUES; PEREIRA, 2013) e agora estão se integrando a IoT (DOMINGO, 2012; GUIMARÃES *et al.*, 2018).

O Projeto de Navegação Interna na *Curtin University*, permite que pessoas com deficiência visual possam "sentir" o ambiente ao seu redor usando tecnologia especial de matriz multissensores (MURRAY, 2013). Essa tecnologia detecta os recursos de toda a sala, cria um mapa virtual e comunica isso ao usuário. Ao contrário de uma bengala com alcance limitado de detecção, o dispositivo multissensor cobre uma ampla variedade e tipos de detecção e mapeamento, incluindo a mudança de velocidade de objetos, imagens ou ruídos em um ambiente interno.

Um sistema de navegação 3D para deficiência visual foi desenvolvido no Instituto de Sistemas Inteligentes e Robótica da Universidade Pierre e Marie Curie em Paris, França (JABLONSKI, 2012), o qual consiste em um par de óculos equipados com câmeras que utilizam sistemas sensores e um dispositivo Braille eletrônico portátil. O sistema produz um mapa tridimensional do ambiente do usuário, e sua posição nele é constantemente atualizada e exibida de forma simplificada no dispositivo portátil, ajudando as pessoas cegas a se moverem sobre espaços internos e externos de forma independente. Ele usa uma coleção de acelerômetros e giroscópios que rastreiam a localização e a velocidade do usuário. Essas informações são combinadas com a imagem captada do ambiente para determinar a posição do usuário em relação a outros objetos, que são transmitidos para o dispositivo Braille portátil exibido como um mapa tátil dinâmico. Recentemente, foi criado um sistema de navegação usando um sensor vestível e sensores externos para aumentar a consciência situacional para cegos, utilizando tecnologias de localização em tempo real (JOSEPH *et al.*, 2015). Este sistema de navegação promove viagens independentes para cegos, utilizando as informações dos eventos coletados da Internet. Outro novo sistema de navegação baseado em IoT para cegos é o *EyeRing*, do MIT, que usa uma pequena câmera, desenvolvida por uma equipe do *Fluid Interfaces Group* do MIT *Media Lab*, a qual traduz imagens de objetos capturados pela câmera em *feedback* para auxiliar as pessoas com deficiência visual. O dispositivo tira uma foto ou um vídeo que é enviado por rede sem fio para um telefone celular, onde um aplicativo analisa o conteúdo e produz uma resposta, este sistema consiste de um invólucro externo de nylon ABS impresso em 3D contendo uma pequena unidade de câmera VGA, um processador AVR de 16 MHz, um módulo de rádio *bluetooth* e uma bateria de 3,7V Li-ion (NANAYAKKARA; SHILKROT; MAES, 2012).

Muitos aplicativos IoT utilizam tecnologia vestível, como relógios inteligentes, pulseiras inteligentes e óculos inteligentes, os quais são usados para rastrear quantas etapas

o usuário executou, ou qual a distância o usuário percorreu, embora não tenha sido desenvolvidos para pessoas com deficiência visual. Uma empresa chamada *Ducere Technologies* está tentando usar esta tecnologia vestível junto com a IoT para tornar as vidas das pessoas com deficiências visuais mais fáceis. A empresa também está desenvolvendo um calçado interativo baseado em toque, chamado *Lechal* (LAWRENCE, 2014), o qual utiliza uma palmilha especializada que vibra para alertar os usuários quando eles devem fazer uma curva, agindo com um dispositivo GPS em tempo real para seus pés, orientando o usuário para onde ele deve ir (ANNEAR, 2014).

Assim como os aparelhos auditivos baseado em *bluetooth*, a mesma tecnologia também é integrada para ajudar pessoas com deficiências visuais. Uma empresa austríaca chamada "Indoo.rs" e o *San Francisco Airport* (SFO) estão desenvolvendo tecnologias assistivas iOS com sensores *iBeacons* para criar um sistema de navegação interno para deficientes visuais no Terminal 2 do aeroporto (LEE, 2017b). Este aplicativo usa algumas centenas de *iBeacons* instalados em todo o terminal, não apenas para facilitar a movimentação física através do espaço, mas também para fornecer uma navegação inteligente para pessoas com deficiências visuais, alertando sobre vários objetos e locais no terminal. Os usuários baixam o aplicativo no iPhone (*iBeacons*), que são identificadores exclusivos de um objeto para o iPhone do usuário para pesquisar informações relacionadas ao ID na Internet.

### 3.3.3 Aplicativos IoT para Pessoas com Deficiência em Mobilidade

As TA para mobilidade/deambulação de pessoas com deficiência também podem ser referidos como ajudas ambulatoriais. Ajudas ambulatoriais são disponibilizadas para limpar pisos, controle de intensidade de luz e temperatura, abrir e fechar garagens e executar outras funções para garantir segurança, conforto e conveniência para a disponibilidade de pessoas com deficiência motora. A IoT traz recursos ambulatoriais para novas capacidades. Uma cadeira de rodas inteligente conectada é um conceito projetado por estagiários da Intel como parte do programa Intel *Collaborators*, e foi endossado pelo premiado físico teórico Stephen Hawking (DEL CASTILLO, 2014). Esta cadeira de rodas é capaz de monitorar os sinais vitais da pessoa sentada na cadeira, incluindo pressão arterial, frequência cardíaca e temperatura corporal. A cadeira de rodas também é equipada com um aplicativo que permite aos usuários da cadeira de rodas avaliar a acessibilidade de diferentes locais, aprimorando ainda mais a experiência do usuário. Ele até informa os usuários sobre o status da cadeira de rodas, mantendo-os ainda mais seguros e confortáveis onde quer que eles possam ir. Os sistemas de IoT para pessoas com deficiências de mobilidade precisam coletar, analisar e aplicar recomendações autonomamente e discretamente, estando conectados à cadeira de rodas inteligente para monitoramento e controle, compartilhamento e colaboração de informações e grande volume de dados.

Um aplicativo de celular permite que crianças com paralisia cerebral interajam com

seus brinquedos e seus cuidadores por meio de um dispositivo móvel, como *smartphone* ou *tablet*, que possua um jogo de aprendizagem instalado (LOPES *et al.*, 2014; FLORIANO, 2016). Por outro lado os sistemas interface cérebro-computador (ou *Brain-Computer Interfaces* (BCI) ajudam as pessoas com deficiências motoras graves a recuperar parte de sua independência (LEEB *et al.*, 2015; MÜLLER; BASTOS; FILHO, 2013). Os sistemas da BCI usam sinais cerebrais como um canal de comunicação e controle para realizar tarefas de navegação através de conexões bidirecionais de áudio/vídeo para um robô móvel de telepresença (RAMPINELLI *et al.*, 2014; DE LA CRUZ; CELESTE; BASTOS, 2011). Os usuários da BCI podem ter interações com membros da família e amigos em diferentes locais dos usuários. LAMBRINOS; DOSIS (2013), propõem um sistema de gerenciamento de espaço de estacionamento para pessoas com deficiência, utilizando tecnologia de monitoramento que integra sensores e telefones inteligentes, além de comunicações sem fio.

O sistema *Cognitive info-communications* (CogInfoCom) é usado para ajudar pessoas com deficiência de mobilidade. O CogInfoCom baseia-se na pesquisa de sistemas de realidade virtual para criar ambientes tridimensionais (3D) especiais, na esperança de que pessoas com deficiências possam participar ativamente no mercado de trabalho (JUHÁSZ *et al.*, 2013). Aplicativos de automação residencial e segurança também oferecem benefícios para pessoas com deficiências ou idosos, já que permitem que pessoas com deficiência de mobilidade alterem as configurações do termostato remotamente, ajustem a iluminação, ativem alarmes e câmeras de segurança, controlem dispositivos do ambiente por meio de *smartphones* e monitoramento *on-line*. Transporte inteligente e carros autônomos também são novas opções úteis para pessoas com deficiência motora (TOWN, 2015). EL-BASIONI; EL-KADER; EISSA (2014), propõem uma rede de sensores sem fios para uma casa inteligente, chamada sistema E/D-WSH, a qual é adequada para idosos e pessoas com deficiências. O sistema E/D-WSH oferece uma solução completa para todo o ambiente doméstico com sistema de detecção de queda, sistema RFID, sistema de iluminação, microfone/sistema de reconhecimento de voz, sensor de proximidade, sistema sintetizador de som, sistema de detecção de vazamento de gás e monitoramento de dispositivos elétricos e de estrutura domiciliar.

Como mostrado em várias aplicações, a IoT ajuda a melhorar a segurança de pessoas com deficiência de mobilidade ao coletar informações sobre os padrões de usuários, perigos ambientais, avaliar as necessidades individuais e tomar medidas proativas quando um limite de segurança é violado.

### 3.3.4 Segurança

Segurança é definida como a probabilidade subjetiva com a qual os consumidores acreditam que suas informações pessoais (privadas e monetárias) não serão vistas, armazenadas e manipuladas durante o trânsito e armazenamento por partes inadequadas de

maneira consistente com suas expectativas confiáveis (FLAVIÁN; GUINALÍU, 2006). KALAKOTA; WHINSTON (1996) definem ameaça de segurança como uma circunstância, condição ou evento com potencial para causar dificuldades econômicas a dados ou recursos de rede na forma de destruição, divulgação, modificação de dados, negação de serviço e/ou fraude, desperdício e abuso. Ameaças de segurança também incluem roubo de dados, roubo de recursos, incêndios, desastres naturais, vírus e terrorismo cibernético. Dispositivos IoT provavelmente serão vítimas de redes inseguras. Uma pesquisa conduzida pela "PricewaterhouseCoopers" (PRICE, 1998) indicou que o número total de incidentes de segurança aumentou 48% em relação a 2013. De acordo com um relatório da Hewlett-Packard (HP) (KOVACS, 2014), um total de 250 brechas de segurança foram encontradas em dispositivos IoT, em média, 25 por dispositivo. Os problemas estão relacionados à privacidade, autorização insuficiente, falta de criptografia, proteção inadequada de *software* e interfaces Web inseguras. A HP relata que até 70% dos dispositivos desenvolvidos para IoT são vulneráveis a ataques cibernéticos, sendo que a necessidade de "bloquear dados críticos para a missão" em vários aplicativos nunca foi tão grande. As vulnerabilidades da IoT continuarão a surgir à medida que mais e mais dispositivos estiverem conectados.

### 3.3.5 Privacidade

A privacidade é definida como uma construção bidimensional composta de espaço físico e informação (GOODWIN, 1991). Qualquer aplicativo que colete dados dos usuários precisa ter clareza sobre o que coleta e como é usado para criar confiança. ACKERMAN; CRANOR; REAGLE (1999), deram aos participantes quatro cenários nos quais eles tinham que indicar se estavam confortáveis fornecendo vários tipos de informações pessoais. A maioria dos usuários estava muito à vontade para fornecer informações gerais (por exemplo, comida favorita) e um pouco à vontade para fornecer informações pessoais (nome, endereço, e-mail), mas não se sentiam à vontade para fornecer informações financeiras e de saúde (por exemplo, cartão de crédito e estado de saúde). Para perguntas relacionadas às atitudes gerais dos usuários em relação ao fornecimento de informações pessoais, ACKERMAN; CRANOR; REAGLE (1999) concluíram que os usuários podem ser classificados como:

1. Marginalmente preocupado;
2. Fundamentalistas de privacidade (usuários que estão muito preocupados com a privacidade); ou
3. Pragmático (usuários cujas preocupações variam em função do tipo de transação que está sendo executada);

As pessoas com deficiência apresentam vários níveis de preocupação com a privaci-

dade quando se trata de usar TA. Com os dispositivos de IoT conectados, implantados em torno das residências e de seus corpos, potencialmente coletando dados que o governo e outros terceiros podem acessar, eles podem começar a proteger conscientemente sua privacidade. Por esta razão, regulamentação governamental de privacidade da IoT está em andamento. O Grupo de Trabalho do Artigo 29, um organismo de privacidade da União Europeia e o artigo da Diretiva 2002/58/CE, alterada pela Diretiva 2009/136/CE, estipulam que os Estados Membros devem garantir que "o armazenamento de informações, ou o ganho de acesso a informações já armazenadas, no equipamento terminal de um assinante ou usuário" só é permitido na condição de que o assinante ou usuário em questão tenha dado seu consentimento, tendo sido fornecido com informações claras e abrangentes, em conformidade com a Diretiva 95/46/CE6 (Diretiva relativa à proteção de dados), nomeadamente sobre os objetivos do tratamento da informação. Esses documentos enfatizam que os consumidores devem permanecer no controle de seus dados pessoais durante a vida útil do produto. Em algumas partes da Europa, como o Reino Unido, a indústria está trabalhando de perto com o governo, o que é uma maneira desejável de desenvolver diretrizes para este problema (DER LEYEN, 1997).

### **3.3.6 Mudando os Papéis dos Profissionais de Saúde e Cuidadores**

A implementação de serviços de TA em programas de reabilitação é um processo complexo. A seleção e os serviços são influenciados pela disponibilidade de opções de TA, conhecimento e experiência dos profissionais e limitações orçamentárias (OKOLO; DIEDRICH, 2014). Embora a eficácia da TA na aprendizagem e na vida diária das pessoas com deficiência ao longo de suas vidas tenha sido bem documentada, os profissionais enfrentam vários desafios na prestação de serviços eficientes, especialmente em conformidade com leis federais, financiamento, treinamento e colaboração. Devido aos recentes avanços tecnológicos em dispositivos de TA junto com a IoT, os profissionais de saúde e cuidadores enfrentarão novos desafios, já que a mudança de paradigma para a TA integrada à IoT mudará os papéis desses profissionais, com serviços mais personalizados e centrados no usuário. Muitos profissionais poderão ter dúvidas sobre sua posição futura à medida que o componente de autoatendimento das TA integrados à IoT se acelera. Para permanecerem mais valiosos na cadeia de valor da indústria de TA, eles precisarão reciclar-se para novos serviços de valor agregado e novas tecnologias e precisarão estar dispostos a se adaptar a todas as possíveis mudanças nesta área.

### **3.3.7 Envolvimento de Usuários e Famílias**

Os serviços de TA geralmente são fornecidos por vários profissionais multidisciplinares, incluindo terapeutas ocupacionais, fisioterapeutas, fonoaudiólogos, professores e técnicos em reabilitação. Famílias de pessoas com deficiência devem ser incluídas como parceiras significativas na implementação de aplicativos de TA. No entanto, os elementos-

chave da literatura existente sobre TA integrada à IoT não incluem necessariamente a família como um membro integrante do processo de aplicação dessa tecnologia. O desenvolvimento de sensibilidade cultural na seleção e uso de dispositivos e serviços de TA é crítico para pessoas com deficiências e suas famílias com diversas origens. Além disso, o uso de dispositivos de TA pode exigir treinamento e colaboração extensivos entre os membros da família e os provedores de serviços. De fato os usuários de TA e seus familiares podem sentir-se oprimidos e relutantes em passar pelo treinamento mesmo quando não entendem os benefícios de um novo dispositivo de TA e são cognitivamente desafiados devido a uma complexidade técnica. KLING; CAMPBELL; WILCOX (2010), mostram que os pais de pessoas com deficiência não se sentem bem o suficiente para utilizar dispositivos de TA, embora acreditem que a TA seja benéfica para o desenvolvimento físico de seus filhos. Além disso, os profissionais de intervenção precoce dessas pessoas não se sentem confiantes o suficiente para treinar os pais para a utilização de dispositivos de TA em casa. Assim, para evitar o abandono dos dispositivos adquiridos, os profissionais precisam colocar as necessidades da família como prioridade sobre sua própria agenda ao considerar a seleção e utilização de uma nova TA integrada à IoT para essas pessoas.

### 3.4 Resumo das Pesquisas Científicas

Em toda subseção 3.3, diversos estudos de TA com IoT são citados, comentados e referenciados, diversos tipos de pesquisas científicas foram revisadas para ajudar na heurística e proposta da tese. Para uma melhor organização e abstração das pesquisas, as Tabelas 2 e 3 resumem parcialmente alguns dos trabalhos citados.

Barreiras ao acesso de tecnologia para pessoas com deficiência foram abordadas na literatura (LEE; TEMPLETON, 2008), sendo que novos problemas surgem quando a IoT atende às TA. Com base na literatura, esta seção identifica vários problemas no desenvolvimento de TA integrado à IoT. Há uma necessidade urgente de abordar problemas de segurança, privacidade, confiabilidade, mudança de papéis dos profissionais de saúde e envolvimento de usuários e famílias para integrar de forma transparente a IoT com TA.

### 3.5 Modelo de Referência para IoT

Organizações responsáveis pelo processo de padronização da IoT estão tentando estabelecer um padrão para sua arquitetura (MINERVA; BIRU; ROTONDI, 2015), a ausência de padronização contribui para o surgimento de diferentes modelos de arquitetura na literatura. Algumas arquiteturas de referência de IoT amplamente referenciadas incluem:

- **IoT – Arquitetura (IoT-A):** o modelo de referência e a arquitetura IoT-A foram desenvolvidos por meio de um projeto de *lighthouse* na União Europeia em 2013. A IoT-A foi projetada para ser usada como base para o desenvolvimento de ar-



Tabela 2 – IoT para pessoas com deficiência: funções, categoria de aplicativos, benefícios e trabalhos futuros.

Autores	Funções da IoT	Categoria de aplicativo IoT	Benefícios	Trabalho futuro
Busch et al. (2013)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Caixa de medicamento inteligente centrado no usuário que informa sobre potenciais riscos de privacidade e segurança, além de ajudar os usuários a gerenciar sua saúde</li> <li>● Elementos de interface claros e auto explicativos, tamanho de fonte legível e design visual claro</li> <li>● Lembrete acústico para tomar remédio, feedback tátil para comunicar o estado de confiabilidade do sistema, usando funcionalidades de texto para fala</li> </ul>	Compartilhamento de informações e colaboração	Maior privacidade, segurança e confiança de pessoas com deficiências mentais e físicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Expansão da caixa para pessoas com dislexia ou visão prejudicada para ver o quão bem eles podem usar a caixa de maneira confiável</li> <li>● Publica diretrizes sobre a melhor forma de apresentar informações com segurança para pessoas, independentemente de suas deficiências. Dessa forma, todos podem ter uma experiência confiável</li> </ul>
Domingo (2012)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Proposta de Arquitetura IoT para pessoas com deficiências</li> <li>● Estrutura hierárquica de sistemas de IoT baseada em arquitetura de três camadas: percepção, rede e aplicação.</li> <li>● Identificação por radiofrequência (RFID), sensores, rede de sensores, computação em nuvem e aplicativos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Monitoramento e controle</li> <li>● Compartilhamento de informações e colaboração</li> </ul>	Modelo de referência de arquitetura IoT para integração de pessoas com deficiências	Questões de pesquisa relacionadas ao desenvolvimento e validação da arquitetura proposta permanecem abertas para futuras investigações
Dores, Reis, & Lopes (2014)	Plataforma (M2M) de mensagens instantâneas útil na integração da plataforma de Internet em nuvem e diversos dispositivos de IoT	Compartilhamento de informações e colaboração	Sistema de atendimento para pessoas com deficiência para maior independência por meio de sistemas de comunicação baseados em nuvem	Várias tecnologias de segurança precisam ser testadas e aprimoradas para oferecer qualidade de serviço
El-Basioni, El-Kader, & Eissa (2014)	Smart Home Sem Fio para uma vida independente assistencial (E/D-WSH)	Monitoramento e controle	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Sistema de automação residencial que pode ser controlado localmente usando um controle remoto ou um aplicativo em um PC ou laptop, ou remotamente através da Internet</li> <li>● Solução completa para todo o ambiente doméstico para idosos</li> <li>● Sistema de detecção de queda, sistema RFID, sistema de iluminação, microfone/sistema de reconhecimento de voz, sensor de proximidade</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Medição de economia de energia da tecnologia residencial inteligente usando energia alternativa, especialmente a energia solar</li> <li>● Medição contínua do consumo de energia de diferentes dispositivos para ajudar os proprietários de residências a gerenciar o uso de dispositivos elétricos</li> </ul>
Guimarães et al. (2018)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Proposta de Arquitetura IoT para pessoas com deficiências a partir da integração de TA</li> <li>● Ecossistemas baseados em macro e micro escalas: ambientes indoor/outdoor</li> <li>● Estudos de caso para idosos, deficientes visuais e físicos: Dispositivo <i>Wearable</i>, Bengala Eletrônica e Cadeira de Rodas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Monitoramento e controle</li> <li>● Compartilhamento de informações e colaboração</li> </ul>	Modelo de referência de arquitetura IoT para integração das pessoas com deficiências através de TAs	Desenvolvimento e validação da infraestrutura da proposta com sistemas embarcados em TA, servidores e clientes para prover e consumir serviços locais e remotos
Jablonski C. (2012).	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Sistemas de sensores para robôs para ajudar pessoas com deficiência visual a navegar por terrenos desconhecidos</li> </ul>	Aplicativo de monitoramento e controle	O sistema produz um mapa tridimensional do ambiente do usuário e sua posição nele é constantemente atualizada e exibida de forma simplificada no dispositivo portátil	Precisa ser integrado a telefones celulares e dispositivos assistidos por voz
Joseph et al. (2015)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Navegação assistida usando sensores vestíveis e sensores sociais para pessoas com deficiência visual</li> <li>● Fusão de mensagens de mídia social, sensores vestíveis e tecnologias de localização em tempo real</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Monitoramento e controle</li> <li>● Compartilhamento de informações e colaboração</li> </ul>	Conscientização aprimorada da situação com dados de mídia social de origem coletiva	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Necessidade de melhorar a qualidade usando mais regras e padrões</li> <li>● Mais pesquisas sobre reconhecimento de objetos, como reconhecimento de cadeiras ou escadas</li> </ul>
Juhasz, Juhasz, Steiner, & Kertesz (2013)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Ambientes 3D pessoais para pessoas com necessidades especiais ou deficiências</li> <li>● O ambiente físico do sujeito é combinado com representações de realidade virtual</li> </ul>	Compartilhamento de informações e colaboração	Proporcionar às pessoas com deficiência a participação no fluxo de trabalho de uma empresa	Precisa realizar mais testes em situações reais da vida
Lambrinos & Dosis (2013)	Gestão do espaço de estacionamento para pessoas com deficiência	Monitoramento e controle	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Monitoramento e controle</li> <li>● compartilhamento de informações e colaboração</li> </ul>	Várias melhorias no sistema, concentrando-se nas verificações de usuários e na aplicação de reservas, o que permitirá que as reservas sejam feitas para períodos futuros

Tabela 3 – Continuação

Autores	Funções da IoT	Categoria de aplicativo IoT	Benefícios	Trabalho futuro
Leeb et al. (2015)	Sistemas de interfaces cérebro-computador (BCI) com um robô de telepresença para pessoas com deficiências motoras graves	Compartilhamento de informações e colaboração	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Usa sinais cerebrais como um canal de comunicação e controle para completar as tarefas de navegação de um robô móvel</li> <li>● Capacitar pessoas com deficiências motoras severas a recuperar um grau de independência</li> </ul>	Comparações mais extensas com sistemas alternativos
Lopes, Pinto, Furtado, & Silva (2014)	Dois casos de uso que atualmente estão sendo implantados para pessoas com deficiência visual e pessoas com comprometimento neurológico	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <i>Monitoramento e controle</i></li> <li>● <i>Compartilhamento de informações e colaboração</i></li> <li>● <i>Big Data e análise de dados</i></li> </ul>	Melhorar a independência das pessoas com deficiência visual e pessoas com comprometimento neurológico	Precisa testar os casos de uso com os usuários e analisar sua adaptação aos dispositivos AT
Mulfari, Celesti, Fazio, Villari, & Puliafito (2014)	<i>Uso de sistemas embarcados capazes de fazer a interface de sensores e ferramentas de software de TA existentes executadas nos dispositivos de computação pessoal do usuário</i>	Compartilhamento de informações e colaboração	Desacoplar as ferramentas de software de TA dos sistemas de computador pessoal, permitindo controlar vários tipos de sistemas de computador, a fim de interagir ativamente com muitas plataformas	A integração de plugins com a plataforma de computação em nuvem é necessária para interagir nativamente com muitos computadores
Neßelrath et al. (2011)	<i>Fusão de vários sistemas que compõem o blister inteligente de medicamentos e o calendário baseado em tarefas</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Monitoramento e controle</li> <li>● Compartilhamento de informações e colaboração</li> </ul>	O blister de medicamento inteligente ajuda a aumentar a adesão do paciente, e o calendário baseado em tarefas auxilia pessoas com deficiências cognitivas em suas atividades diárias.	Integração perfeita de vários sistemas de fornecedores com base em padrões abertos e arquiteturas
Oniga & Suto (2014)	Uma modelagem assistida que consiste em um ambiente inteligente e assistencial, um sistema de monitoramento de atividade e saúde humana, um robô assistencial e de telepresença, juntamente com os componentes relacionados e serviços em nuvem.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Monitoramento e controle</li> <li>● Compartilhamento de informações e colaboração</li> <li>● Big Data e análise de dados</li> </ul>	Capacidade adaptativa e comportamento de aprendizagem dos dispositivos de TA para a assistência de vida diária independente de idosos ou pessoas com deficiência	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Necessidade de melhorar a qualidade usando mais regras e padrões</li> <li>● Mais pesquisas sobre reconhecimento de objetos e obstáculos, como reconhecimento de cadeiras ou escadas</li> </ul>

quitetas concretas e aplicáveis a uma variedade de domínios, a qual simplifica o desenvolvimento de soluções de IoT (BAUER *et al.*, 2017).

- **IEEE P2413 - Padrão para uma Estrutura Arquitetônica para a IoT:** esse projeto de normatização do IEEE em andamento busca identificar o que há em comum nos domínios de IoT, incluindo fabricação, prédios mais inteligentes, cidades inteligentes, sistemas de transporte inteligentes, *smart grid* e assistência médica (LOGVINOV, 2015).
- **Arquitetura Industrial de Referência da Internet (IIRA):** a IIRA foi desenvolvida especificamente para aplicativos de IoT industriais pelo *Industrial Internet Consortium*, que foi fundado em março de 2014 pelas empresas AT&T, Cisco, *General Electric*, IBM e Intel (LIN *et al.*, 2017).

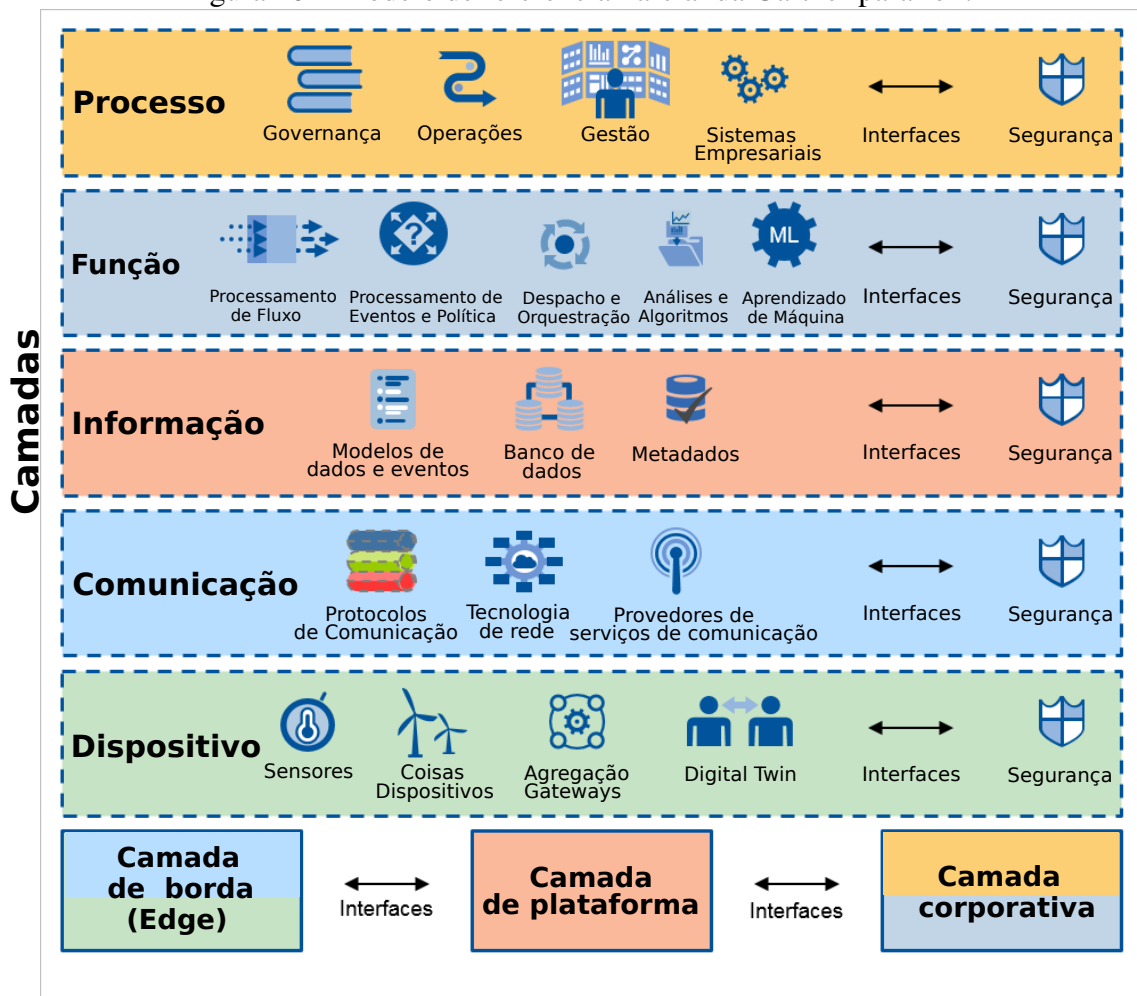
As arquiteturas de referência podem ser usadas como um modelo para desenvolver soluções de IoT. As arquiteturas listadas acima descrevem os componentes da arquitetura de IoT e suas funções em termos gerais, mas elas podem se tornar mais concretas por meio do mapeamento de requisitos abstratos para tecnologias específicas ou pilhas de tecnologia. A seguir, destacamos os modelos de referência para IoT de algumas das principais empresas de tecnologia mundial.

### 3.5.1 Gartner Group

O modelo de referência de Gartner HEIDT (2017), permite o planejamento não apenas da tecnologia, mas também do desenvolvimento de habilidades. O objetivo é definir camadas de borda (*edge*), plataforma e corporativa. A Figura 16 apresenta o modelo de referência da Gartner para arquitetura IoT. As camadas definem onde um componente, função ou processo opera na arquitetura da IoT, e também definem qual comportamento um componente, função ou processo da IoT deve possuir, destacando-se que os dados e o controle fluem para dentro e fora do sistema. Existem três elementos principais:

- **Camada de Borda - Dispositivo e Comunicação:** sensores, atuadores e *gateways* associados a uma rede pessoal ou local. Para empresas esses grupos podem ser difíceis de identificar. Isso ocorre porque as empresas focam somente na TIC e identificam geralmente apenas a tecnologia operacional, para gerenciarem, manterem e executarem equipamentos operacionais. É importante abrir os canais entre TIC e IoT para a organização visualizar o ambiente de borda, organizar suas necessidades e automação.
- **Camada de Plataforma - Informação:** compartilha com a IoT a necessidade de ingerir um grande volume de dados, variedades e velocidades. Nessa camada, modelos de dados usam ferramentas que permitem demonstrar como serão construídas

Figura 16 – Modelo de referência Parcial da Gartner para IoT.



Fonte: HEIDT, 2017.

as estruturas de dados que darão suporte aos processos de negócio, como esses dados estarão organizados e quais os relacionamentos que pretendemos estabelecer entre eles. Os bancos de dados, por sua vez, formam um conjunto de arquivos relacionados entre si com registros baseados sobre pessoas, lugares ou objetos. São as coleções organizadas de dados que se relacionam de forma a criar algum sentido (informação) para a camada Corporativa.

- **Camada Corporativa - Função e Processo:** função, processamento, política, despacho e orquestração de eventos. Estes elementos se concentram na lógica e nos fluxos de operação. Compreende a funcionalidade que é essencial para a automação das funções e dos processos de negócios. Como a IoT se concentra em promover ação e interação entre os aplicativos corporativos e o mundo físico, a integração com os sistemas corporativos é essencial. Essa camada é responsável pela integração e geração de valor, pois conecta os sistemas internos entre si, aos sistemas clientes e aos provedores de serviços.

A arquitetura pode ser usada para orientar o desenvolvimento de habilidades, adoção de tecnologia e seleção de fornecedores. Nessa arquitetura as soluções de IoT são voltadas para os negócios, por exemplo, projetos de IoT para varejo, marketing, logística ou precificação com dados instantâneos, que permitem ações instantâneas.

Assim, a arquitetura deve prover à organização as habilidades de: (i) Alavancar dispositivos e *gateways* inteligentes em sua arquitetura de IoT; (ii) Avaliar a arquitetura de integração para soluções da IoT; e (iii) Preparar, planejar e arquitetar a IoT (HEIDT, 2017).

### 3.5.2 IBM Corporation

A IBM oferece diferentes modelos para arquiteturas como soluções das maioria dos elementos da IoT, por exemplo, modelos IoT para: (i) Indústria 4.0, (ii) Cadeia de fornecimento de *blockchain*, (iii) Análise para carros conectados, (iv) Análise de desempenho em tempo real, (v) Monitor de tempo real de equipamentos, (vi) eletrodomésticos inteligentes e (vii) Casa inteligente e segurança, cada um adequado para um caso de uso de IoT específico (GERBER, 2017).

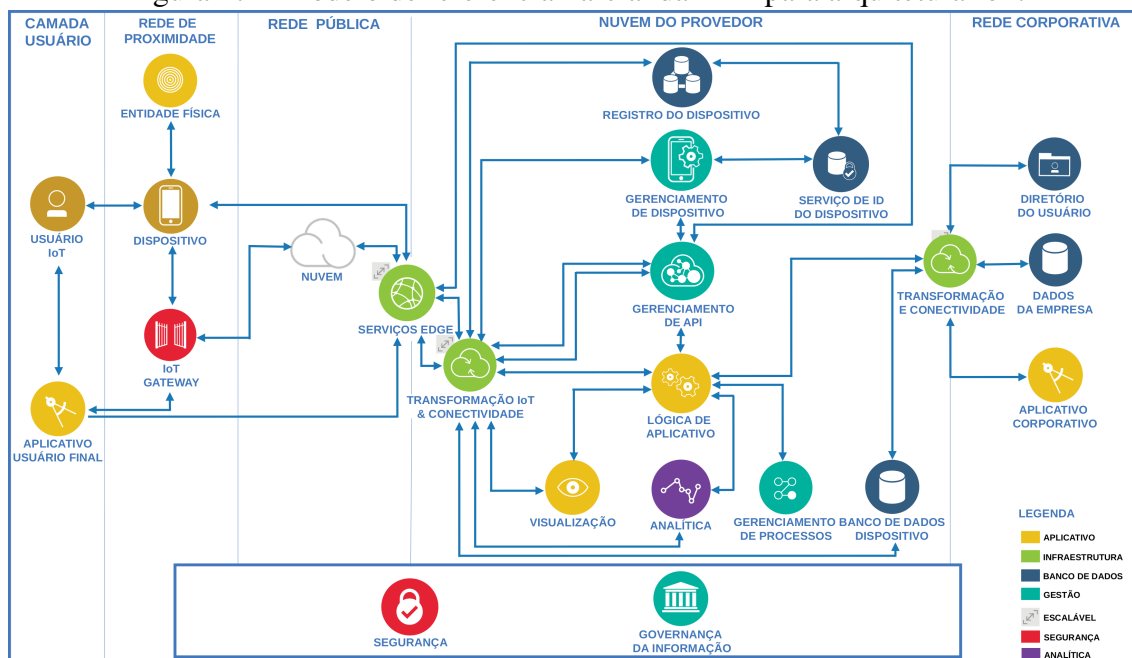
As soluções da IBM podem se conectar a esses dispositivos para construir o sistema geral. A plataforma IBM para IoT fornece vários recursos na nuvem do provedor, incluindo o registro do dispositivo, o serviço de identidade do dispositivo e o gerenciamento de dispositivos. O IBM IoT em combinação com o IBM Bluemix fornece gerenciamento de API, transformação e conectividade de IoT e serviços necessários, além dos meios de fornecer a lógica de aplicativo (WHITEHUR, 2017).

A plataforma IBM para IoT vai além e fornece serviços para análise, visualização e gerenciamento de processos. Também estão disponíveis componentes de transformação

e conectividade que se conectam no sistema em nuvem do provedor aos ativos de rede corporativa existentes, como armazenamentos de dados corporativos e aplicativos corporativos existentes. Os aplicativos (*Software as a Service - SaaS*) pré-construídos da IBM podem atender a recursos operacionais ou comerciais especificados, usados com muitos tipos de sistemas ou sensores de IoT.

O nível de borda inclui as camadas Rede de Proximidade e Rede Pública, Figura 17, onde os dados são coletados pelo componente de Entidade Física e transmitido ao dispositivo. Os dados são encaminhados através do componente de *Gateway* IoT ou, opcionalmente, diretamente de/ou para o dispositivo, passando pelos serviços de borda para a camada Nuvem do Provedor por meio do componente Transformação e Conectividade de IoT.

Figura 17 – Modelo de referência Parcial da IBM para arquitetura IoT.



Fonte: WHITEHUR, 2017.

A camada de nuvem do Provedor recebe, processa e analisa os dados a partir da camada de borda e fornece componente de Gerenciamento e Visualização de APIs. Ele também fornece a capacidade de iniciar comandos de controle entre a camada da Rede Corporativa e camada de Rede Pública.

A camada Rede Corporativa inclui dados corporativos, um diretório de usuários corporativos e aplicativos corporativos. O fluxo de dados para a rede corporativa ocorre por meio de um componente de Transformação e Conectividade.

A camada de borda ou computação de borda, as vezes também é chamado de computação de névoa para contrastar com a computação em nuvem centralizada. Às vezes, a computação de névoa pode conter uma ou mais camadas abaixo da nuvem e pode fornecer recursos para uma variedade de serviços, como análise de métricas.

Esse projeto permite a flexibilidade de como a conectividade e os serviços são projetados para otimização e resiliência. Os subsistemas de governança e segurança da IoT abrangem todos os elementos da arquitetura para garantir que os controles e as políticas de todos os dados e aplicativos sejam definidos e ativados em todo o sistema. A conformidade é rastreada para garantir que os controles estejam entregando os resultados esperados.

O restante desta subseção, descreve parcialmente os vários componentes. Para mais detalhes dos componentes, deve-se acessar a referência (WHITEHUR, 2017).

Na Camada do Usuário, existem dois componentes usuários: Usuário da IoT e a Aplicativo (do usuário final).

- **Usuário da IoT:** o usuário da IoT é uma pessoa ou um sistema automatizado que faz uso de aplicativos do usuário final para atingir uma meta. O usuário da IoT é um dos principais beneficiários das soluções da IoT.
- **Aplicativo (do usuário final):** um aplicativo específico do domínio ou do dispositivo que um usuário da IoT pode usar em *smartphones*, *tablets*, PCs ou em dispositivos IoT especializados, incluindo painéis de controle.

A camada Rede de Proximidade é composta pelos componentes Entidade Física, dispositivo e *IoT Gateway*.

A Entidade Física é o objeto do mundo real que está sujeito às medições do sensor e ao comportamento do atuador. São os objetos digitais na IoT. Essa arquitetura distingue entre as entidades físicas e os dispositivos de TIC que os detectam ou agem sobre eles.

O dispositivo contém sensor ou atuador com conexão de rede que permite a interação com o sistema IoT mais amplo. Há casos em que o dispositivo também é a Entidade Física que está sendo monitorada pelos sensores, como um acelerômetro dentro de um *smartphone*.

Os principais recursos de um dispositivo são:

- **Sensor/Atuador:** o sensor e o atuador detectam e atuam em entidades físicas. Um sensor é um componente que detecta ou mede certas características do mundo real e as converte em uma representação digital. Um atuador é um componente que aceita um comando digital para atuar em uma entidade física de alguma forma.
- **Agente:** fornece recursos de gerenciamento remoto para o dispositivo, suportando um protocolo de Gerenciamento de Dispositivo que pode ser usado pelo Serviço de ID do dispositivo ou pelos sistemas de gerenciamento de IoT.
- **Firmware:** *software* que fornece controle, monitoramento e manipulação de dados de produtos e sistemas projetados com microcontroladores. O *firmware* contido nesses sistemas embarcados fornece o programa de controle de baixo nível.

- **Conexão de Rede:** fornece a conexão do dispositivo ao sistema IoT. Geralmente, essa é uma rede local que conecta o dispositivo a um *Gateway* IoT de baixa potência em muitos casos para reduzir as demandas de energia no dispositivo. No entanto, há casos em que a conexão de rede é direta à rede pública e nenhum *Gateway* IoT é necessário. Em sistemas IoT, uma ampla variedade de mecanismos de comunicação alternativa é usada, e inclui rede local usando métodos de baixa potência e baixo alcance, como *Bluetooth Low Energy* (BLE) para reduzir as demandas de energia no dispositivo. Também pode incluir rede local usando Wi-Fi ou rede de área ampla como 2G, 3G e 4GLTE.
- **Interface do Usuário:** permite que os usuários interajam com aplicativos, agentes, sensores e atuadores. Esse componente é opcional, pois alguns dispositivos não têm interface de usuário e todas as interações ocorrem de aplicativos remotos pela rede.

O Gateway (IoT) é um meio de conectar um ou mais dispositivos à camada de Rede Pública (normalmente a internet). Como o *Gateway* é essencialmente um elemento de desacoplamento, outros recursos também estão disponíveis. Geralmente, os dispositivos têm conectividade de rede limitada devido a vários motivos, incluindo a limitação de energia no dispositivo, o que pode restringir o uso de uma rede local de baixa energia. A rede local permite que os dispositivos se comuniquem com uma IoT *Gateway* local, que pode se comunicar com a camada da Rede Pública. O *Gateway* IoT geralmente tem outros recursos, incluindo a capacidade de filtrar e reagir de forma inteligente aos dados, a capacidade de enviar e receber dados ou comandos da Internet, e a capacidade de executar Lógica de Aplicativo ou serviço local, permitindo que vários dispositivos compartilhem uma conexão comum.

As principais capacidades neste domínio são:

- **Lógica de Aplicativo:** fornece lógica específica do domínio específico executado no *Gateway* IoT. Para sistemas de IoT com atuadores que atuam em entidades físicas, uma capacidade significativa da Lógica de Aplicativo é a provisão de Lógica de Controle, que toma decisões sobre como os atuadores devem operar com base nos dados de sensores e dados de outros tipos, mantidos localmente ou centralmente.
- **Analítica:** fornece o recurso de análise localmente, e não na nuvem do provedor.
- **Agente:** permite o gerenciamento do próprio *Gateway* IoT e também permite o Gerenciamento de Dispositivos conectados, fornecendo uma conexão ao serviço de gerenciamento da camada Nuvem do Provedor.
- **Armazenamento de Dados do Dispositivo:** armazena dados localmente. Os dispositivos podem gerar uma grande quantidade de dados em tempo real, portanto, pode ser necessário armazená-los localmente, em vez de serem transmitidos para



uma rede remota centralizada. Os dados no armazenamento do dispositivo podem ser usados pelo recurso de Análise lógica do Aplicativo no *Gateway* IoT.

A camada Rede Pública é um sistema de nuvem de terceiros que fornece serviços para levar dados e recursos à plataforma IoT. Nuvens para IoT podem contribuir para os dados no sistema IoT e também podem fornecer alguns dos recursos definidos nessa arquitetura de IoT. É provável que sistemas IoT maiores, como os envolvidos em cidades inteligentes, realmente envolvam a combinação de uma série de sistemas de IoT menores, cada um abordando parte da solução.

Esses sistemas envolvem conexões entre vários sistemas de nuvem de mesmo nível, cada um dos quais pode ter dispositivos de IoT, aplicativos e serviços associados. Conectar esses sistemas individuais pode permitir soluções maiores e mais abrangentes.

Serviço de borda são serviços necessários para permitir que os dados passem com segurança da Internet para a camada Nuvem do Provedor e para a Rede Corporativa. Os Serviços de Borda também suportam Aplicativos de Usuário Final.

As principais capacidades neste domínio são:

- **Servidor do Sistema de Nomes de Domínio:** resolve o URL de um determinado recurso da Web para o endereço IP do sistema ou serviço que pode entregar esse recurso.
- **Redes de fornecimento de conteúdo:** suporte a Aplicativos de Usuários Finais, fornecendo sistemas distribuídos geograficamente de servidores implantados para minimizar o tempo de resposta para servir recursos a usuários distribuídos geograficamente, garantindo que o conteúdo seja altamente disponível e fornecido a usuários com latência mínima. Quais servidores estão envolvidos dependerá da proximidade do servidor com o usuário e onde o conteúdo é armazenado, ou será armazenado em cache.
- **Firewall:** controla o acesso de comunicação de ou para um sistema, permitindo que apenas o tráfego atinja um conjunto de políticas e bloqueie qualquer tráfego que não atenda às políticas definidas. Os *firewalls* podem ser implementados como hardware dedicado separado ou como um componente em outro hardware de rede, como um balanceador de carga ou roteador, ou como um sistema operacional.
- **Balanceadores de carga:** fornece distribuição de tráfego de rede ou de aplicativos em vários recursos (como computadores, processadores, armazenamento ou links de rede) para maximizar o rendimento, minimizar o tempo de resposta, aumentar a capacidade e aumentar a confiabilidade dos aplicativos. Os balanceadores de carga às vezes são integrados como parte dos componentes do sistema Analítico de Nuvem do Provedor, como processamento de fluxo, integração de dados e repositórios.

A camada Nuvem do Provedor fornece aplicativos básicos de IoT e serviços associados, incluindo armazenamento de dados de dispositivos, análises, gerenciamento de processos para o sistema IoT, visualizações de dados e componentes de hospedagem para gerenciamento de dispositivos, incluindo um Registro de Dispositivos. As principais capacidades neste domínio são:

- Transformação e Conectividade IoT;
- Lógica de Aplicativo;
- Visualização;
- Analítica - Ciência de análise;
- Gerenciamento de Processos;
- Banco de Dados do Dispositivo;
- Gerenciamento de API;
- Gerenciamento de Dispositivo;
- Registro de Dispositivos
- Serviço de Identidade de Dispositivo
- Transformação e Conectividade

Um ambiente de computação em nuvem fornece escalabilidade e elasticidade para lidar com diferentes volumes de dados, velocidade e requisitos de processamento relacionados. A experimentação e a iteração usando diferentes configurações de serviços em nuvem é uma boa maneira de evoluir um sistema IoT, sem investimento de capital inicial.

Por fim, a Rede Corporativa hospeda uma série de aplicativos corporativos específicos de negócios que fornecem soluções críticas de negócios, juntamente com elementos de suporte, como dados corporativos. Normalmente, os aplicativos corporativos têm fontes de dados que são extraídos e integrados aos serviços fornecidos pela Nuvem do Provedor. A análise é realizada no ambiente de computação em nuvem, com a saída consumida pelos Aplicativos Corporativos.

Sistemas de registro de dados geralmente amadurecem ao longo do tempo. Eles continuam sendo um elemento primário nas soluções de análise preditiva. Os sistemas de registro de dados incluem dados transacionais sobre ou de interações de negócios que aderem a uma sequência de processos relacionados (financeiros ou logísticos). Esses dados podem vir de dados de referência, repositórios de dados mestres, e dados de aplicativos usados ou produzidos por Aplicativo Corporativo de maneira funcional ou operacional. Normalmente, os dados foram aprimorados ou aumentados para agregar valor e orientar o *insight*.

Os Dados Corporativos podem ser inseridos no processo de análise por meio da integração de dados ou diretamente nos repositórios de dados, conforme apropriado (WHITEHUR, 2017).

### 3.5.2.1 IBM X-Force

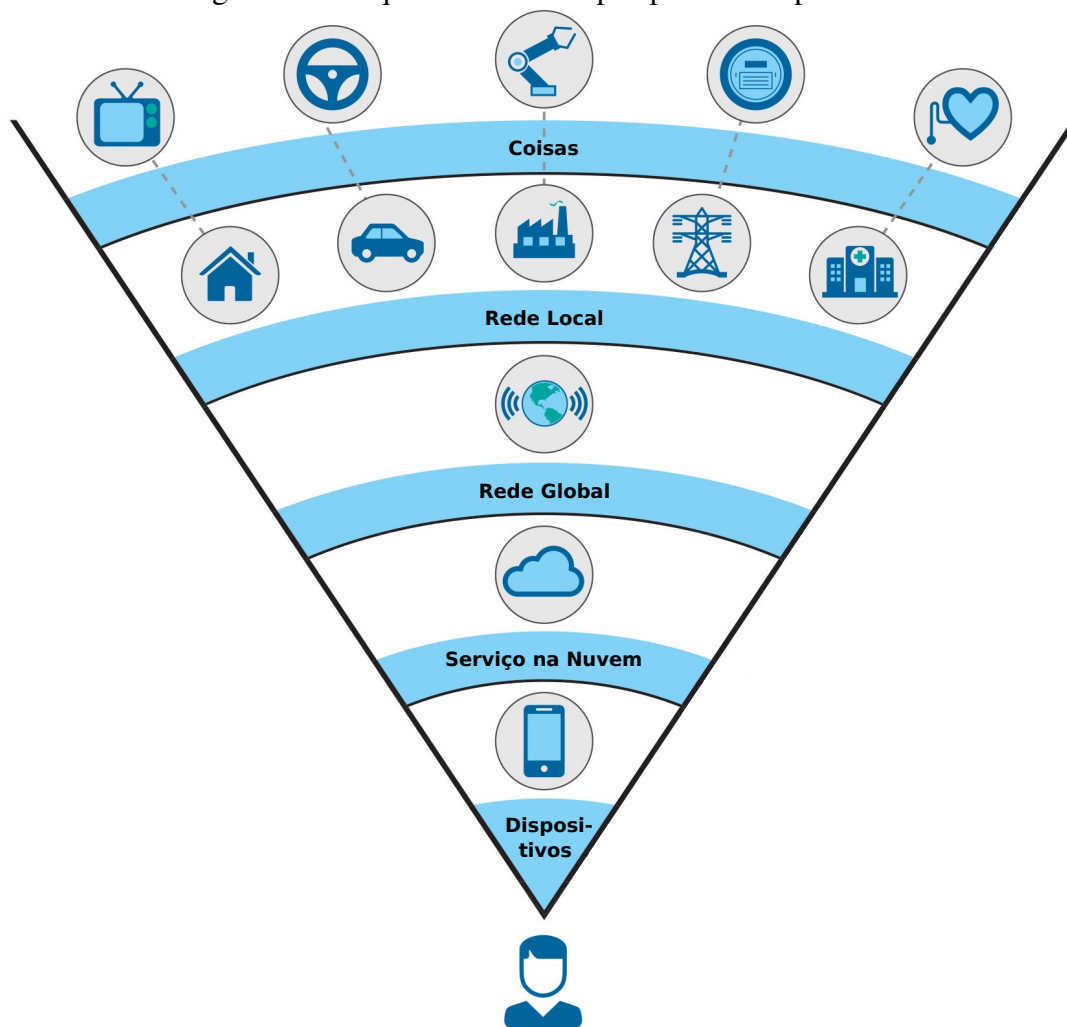
Conforme o ponto de vista publicado em relatório pela IBM sobre segurança na IoT (HAHN *et al.*, 2015), são apresentados junto com os tópicos de segurança uma arquitetura IoT mais conceitual sobre a perspectiva da IBM. A Figura 18, apresenta o modelo de arquitetura IBM X-Force para IoT.

Esse modelo de referência IBM de arquitetura IoT, reúne objetos, *gateways* de comunicações para redes local e remota, serviços na nuvem e dispositivos clientes, conectando seus aplicativos usando sistema de mensagens e APIs de protocolos de comunicação. O controle do que acontece com os dados recebidos dos dispositivos conectados são gerenciados e armazenados pelos serviços de dados e plataformas de dispositivos, por exemplo, para monitoramento e análises dos dados com painéis para monitorar condições e acionar ações automáticas que incluem alertas e serviços externos para reagir rapidamente a mudanças críticas.

O modelo da IBM fornece uma visão das diferentes camadas da IOT:

- **Coisas ou Objetos:** camada dos objetos digitais que podem ser monitorados, controlados ou visualizados, local ou remotamente, e podem receber ou enviar dados para análise de métricas. É composto de dispositivos, atuadores, sensores, controladores, etc.
- **Rede Local:** esta camada consiste de uma rede de computadores utilizada na interconexão de equipamentos processadores, cuja finalidade é a troca de dados. Permite a interconexão de equipamentos dentro de uma área geográfica de alcance limitado, trocando e compartilhando informações e recursos, por exemplo, *Controller Area Network (CAN)*, *Personal Area Network (PAN)* e *Local Area Network (LAN)*.
- **Rede Global:** é uma rede de várias outras redes, que está ligada por uma ampla variedade de TIC, sem fio e ópticas. É uma rede de computadores que abrange uma grande área geográfica, como cidades, estados, país ou continentes, por exemplo, *Metropolitan Area Networks (MAN)* e *Wide Area Network (WAN)*.
- **Serviço na Nuvem:** é a camada de infraestrutura com redes globais. Essa camada é normalmente implementada na infraestrutura de nuvem. Esta relacionada ao processamento de dados e à análise de dados. Isso inclui *bigdata*, *streaming*, armazenamento de dados, mineração, aprendizado de máquina, etc.

Figura 18 – Arquitetura IoT em perspectiva simples da IBM.



Fonte: WHITEHUR, 2014.

- **Dispositivo:** camada de aplicação composta pelos aplicativos personalizados que estão fazendo uso dos dados dos objetos digitais, acessados por computadores de propósito geral, sistemas embarcados como *smartphones* ou outros dispositivos clientes que podem acessar e controlar os objetos.

Todos os dispositivos estão diretamente conectados à Internet e cada dispositivo é responsável por sua própria segurança.

Em outros sistemas de IoT os dispositivos podem estar conectados localmente a um nó de agregação que atua como um intermediário, ou *gateway*, para agregar dados de dispositivos conectados localmente. O *gateway* filtra e reage de forma inteligente aos dados, envia e recebe informações ou comandos para Internet. Um dispositivo de *gateway* é usado para conectar dispositivos anteriormente desconectados. Ele também pode fornecer eficiência operacional, permitindo que vários dispositivos compartilhem uma conexão comum.

O *gateway* pode ser responsável por gerenciar a segurança em nome dos dispositivos conectados localmente como um *proxy* para os outros dispositivos conectados ao mundo externo. O papel do *gateway* é ser um elemento crítico do sistema de segurança, já que gerencia suas conexões com os dispositivos e deve assegurar sua autenticidade.

Por exemplo, os veículos conectados contêm muitos sensores e processadores que são inseguros e conectados apenas à rede *Controller Area Network* (CANbus) no veículo. Um subsistema normalmente o subsistema de telemática ou entretenimento informativo, atua como o *gateway* de comunicação entre o veículo e o mundo externo. Esse subsistema agrega dados dos outros subsistemas do veículo para se comunicar com a Internet e interpreta comandos ou dados recebidos da Internet. O subsistema redistribui os dados e comandos através do CANbus local para os outros subsistemas do veículo. Em um ambiente industrial, como uma instalação de fabricação, é comum encontrar dispositivos conectados por meio de protocolos industriais existentes, como Modbus, Profibus ou DeviceNet, a um dispositivo de *gateway* local. O *gateway* local pode agregar dados, filtrar dados e realizar análises locais. Ele também pode se conectar a uma nuvem ou servidor de *back-end* para propagar dados para sistemas e análises de nível superior.

Os dispositivos que se conectam à nuvem podem não ser uma única entidade, mas podem consistir em hierarquias de nós da Internet conectados. Os aplicativos que suportam os dispositivos podem ser distribuídos em vários nós de hardware por motivos de escalabilidade, desempenho ou tolerância a falhas, mas aparecem como uma única origem/destino lógica no que se refere aos dispositivos conectados.

Há também sistemas IoT que se comunicam em um modelo ponto a ponto ou em malha. Nesses sistemas, há características de segurança exclusivas a serem consideradas, além de riscos, ameaças e ataques a serem resolvidos. Esses ambientes são desafiadores devido às restrições de seus ambientes operacionais ponto a ponto. Os dispositivos geralmente operam com baixo consumo de energia, podem se mover entre estados desconecta-

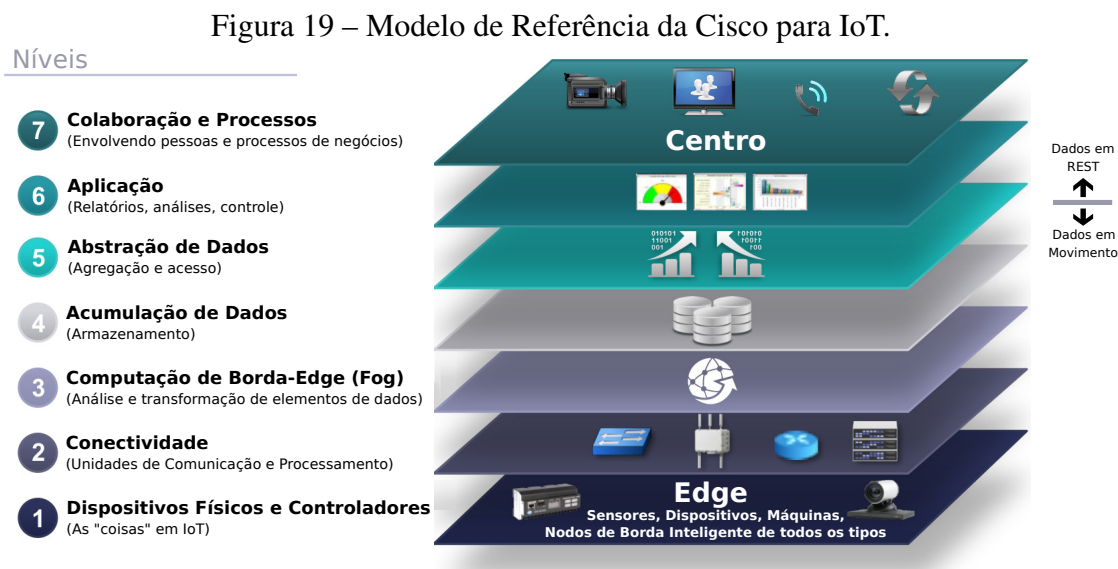
dos e conectados, com um baixo nível de comunicação de rede e um nível relativamente baixo de capacidade de computação, armazenamento e memória.

O sistema IoT pode estar conectado a outros sistemas, como sistemas de *back-office*, outros sistemas de IoT vinculados a sistemas industriais, governamentais ou municipais. Todo o ecossistema de dispositivos, redes e sistemas de aplicativos deve ser considerado dentro do escopo de segurança do sistema IoT.

As proteções contra ataques e explorações também são numerosas e, em muitos casos, bem conhecidas. Algumas delas incluem verificações de integridade do sistema operacional, autenticação/autorização, detecção de anomalias e desenvolvimento e entrega seguros. Diferentes conjuntos de proteções se aplicam a diferentes áreas do sistema IoT.

### 3.5.3 Cisco Systems

A arquitetura definida pela LERNER; BOSACK (2014), é um sistema de múltiplos níveis baseado no modelo de referência do Fórum Mundial de IoT (ROBBINS *et al.*, 2013), que apresenta os vários níveis ilustrados pela Figura 19. O modelo de referência é abrangente e multinível para IoT, os dados são gerados por vários tipos de dispositivos, processados de diferentes maneiras, transmitidos para diferentes locais e acionados por aplicativos ou aplicações. O modelo de referência proposto para a IoT é composto por sete níveis. Cada nível é definido com uma terminologia que pode ser padronizada para criar um quadro de referência globalmente aceito.



Fonte: ROBBINS *et al.*, 2013.

O ecossistema da arquitetura IoT é representado em sete camadas horizontais que são elementos essenciais, comuns a todos os casos de uso da IoT. A seguir, as camadas são descritas parcialmente com maiores detalhes.

1. **Dispositivos Físicos e Controladores:** o modelo chama essa camada de objetos

digitais da IoT. Do ponto de vista do projeto do sistema, os objetos são os sensores e dispositivos que são gerenciados diretamente pela arquitetura da IoT. Um importante conceito de IoT, o *Edge Intelligence*, permite uma reação de baixa latência a eventos de campo, e também níveis mais altos de autonomia e processamento distribuído, esses conceitos precisam ser implementados nessa camada.

2. **Conectividade:** essa camada abrange desde o "meio" de um dispositivo *Edge Node* até o transporte à nuvem. Muitas alternativas podem ser usadas para comunicações, e essa camada inclui o mapeamento de dados de campo para as tecnologias lógicas e físicas usadas, bem como o *backhaul*<sup>1</sup>, para o local ou para a nuvem e a próxima camada, *Edge Computing*.
3. **Computação de Borda - Edge (Fog):** essa camada faz a interface dos dados e controla os dispositivos para as camadas mais altas como *software* corporativo. Conversão de protocolo, roteamento para funções de *software* de camada superior e até mesmo lógica de "caminho rápido" para tomada de decisões de baixa latência são implementadas nessa camada.
4. **Acumulação de Dados:** dada a velocidade, volume e variedade que os sistemas de IoT podem fornecer, é essencial fornecer armazenamento de dados de entrada para processamento, normalização, integração e preparação subsequentes para aplicativos *upstream*.
5. **Abstração de Dados:** na camada de abstração, os dados de sensores ou medições de IoT somente "fazem sentido", quando transformadas em informações, agilizando tráfego de alta prioridade ou alarmes e organizando dados de entrada em modelos e fluxos apropriados para *upstream* em processamento.
6. **Camada de Aplicação:** esta camada é auto-explicativa e é onde a lógica do plano de controle e do plano de dados é executada. Monitoramento, otimização de processos, gerenciamento de alarmes, análise estatística, lógica de controle, logística, padrões de consumo, são apenas alguns exemplos de aplicativos da IoT.
7. **Colaboração e Processos:** nesta camada, o processamento de aplicativos é apresentado aos usuários e os dados processados em camadas inferiores são integrados aos aplicativos de negócios. Esta camada é sobre a interação humana com todas as camadas do sistema IoT e onde o valor econômico é entregue. O desafio nessa camada é alavancar efetivamente o valor da IoT junto com as camadas de infraestrutura e serviços para alavancar o crescimento econômico, otimização de negócios e/ou bem social.

---

<sup>1</sup>Em uma rede de telecomunicações hierárquica, a parte de *backhaul* da rede compreende os links intermediários entre a rede principal, ou a rede de *backbone*, e as pequenas sub-redes na borda da rede.

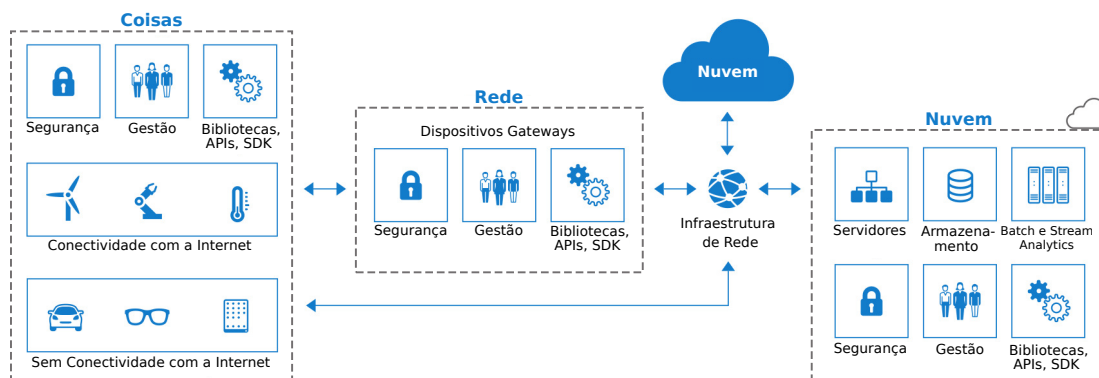
De dispositivos físicos e controladores no Nível 1 à colaboração e processos no Nível 7, o Modelo de Referência da IoT apoiado pela Cisco define as funcionalidades necessárias e as preocupações que devem ser abordadas. Com o objetivo de habilitar a IoT, esse modelo de referência fornece uma linha de base para entender seus requisitos e seu potencial.

### 3.5.4 Intel Corporation

À medida que a IoT ganha impulso, há a necessidade de um conjunto de produtos e serviços conectados que tenham consciência uns dos outros e do ambiente ao redor. Para ajudar a satisfazer essa necessidade, a Intel definiu e lançou a plataforma Intel IoT, que inclui arquiteturas de referência e um portfólio de produtos da Intel e do ecossistema.

Para orientar o desenvolvimento e implantação de soluções de IoT, a Intel definiu arquiteturas de referência para a IoT (Figura 20) que abordam requisitos de segurança de dados e dispositivos, descoberta de dispositivos, provisionamento e gerenciamento, normalização de dados, análise e serviços. Essas arquiteturas de referência são projetadas para dois casos de uso diferentes: um para conectar a infraestrutura legada "Conectando o Desconectado" e outro para a construção de infraestrutura "Objetos Inteligentes e Conectadas".

Figura 20 – Modelo de Referência Parcial da Intel para IoT.



Fonte: ISHRAK *et al.*, 2015.

Nesse sentido, a Intel vem trabalhando com seus parceiros de ecossistema, e definiu uma *System Architecture Specification* (SAS) para conectar praticamente qualquer tipo de dispositivo à nuvem, independentemente de ter conectividade de Internet nativa ou não. A especificação destina-se a ajudar desenvolvedores, *Original Equipment Manufacturer* (OEMs), *Independent software vendors* (ISVs) e *Communications service providers* (CSPs) a desenvolver e implantar soluções IoT de acordo com cinco princípios fundamentais:

1. Serviços para monetizar a infraestrutura de IoT - Dados e gerenciamento de dispositivos (ou objetos digitais) para a nuvem;



2. Infraestrutura analítica para fornecer valor ao cliente - Análise de dados segura, perspicaz e em tempo real dos objetos para a nuvem;
3. Ingestão de dados sem interrupções e controle de dispositivos para melhorar a interoperabilidade - Suporte amplo à normalização de protocolos com sistemas de controle de malha fechada em tempo real;
4. Descoberta e provisionamento automatizados de dispositivos de borda para facilitar a implantação - Configuração do dispositivo para a nuvem em minutos;
5. Segurança de classe mundial para fornecer os dados necessários e a proteção do dispositivo - Proteção robusta em nível de hardware e software;

A SAS é uma arquitetura de referência para IoT, com duas versões que coexistem, as quais foram projetadas para evoluir como especificações para soluções abertas e escalonáveis. As duas versões representam arquiteturas de referência simultâneas para abordar diferentes níveis de maturidade de infraestrutura de parceiros e para separar necessidades urgentes e preparadas para o futuro. Como arquiteturas horizontais, as duas versões foram projetadas com os mesmos princípios usados pelos principais provedores de nuvem e testadas para cargas massivas em uma série de padrões de IoT e de negócios verticais. Disponíveis, as versões de arquitetura de referência destinam-se a acelerar produtos, requisitos e *feedback* de parceiros.

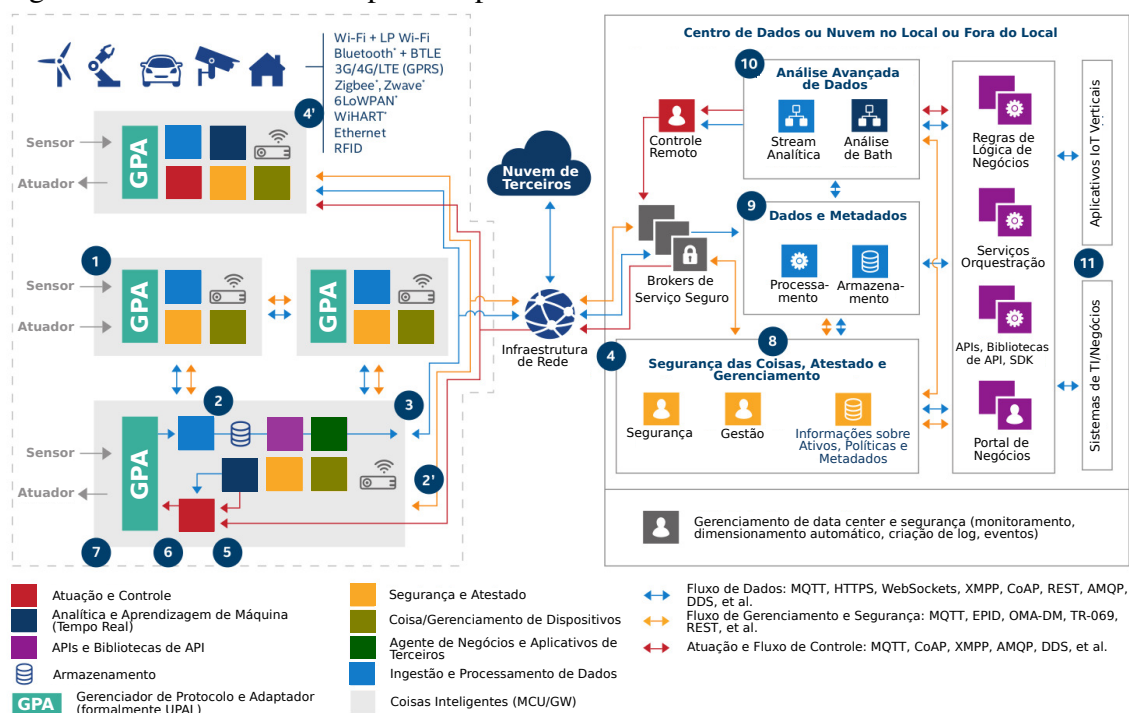
- **Versão 1.0:** é a arquitetura de referência da plataforma Intel IoT para conectar os não conectados. A Intel SAS versão 1.0 especifica como os desenvolvedores de soluções e os integradores de sistemas podem usar um *gateway* IoT para conectar e gerenciar com segurança os dispositivos herdados que não foram originalmente criados com inteligência ou conectividade com a Internet.
- **Versão 2.0:** é a arquitetura de referência da plataforma Intel IoT para objetos inteligentes e conectadas. A Intel SAS versão 2.0 especifica como integrar uma variedade de itens inteligentes e conectados, desde dispositivos alimentados por bateria até dispositivos de desempenho ultra-alto, que estão sendo construídos com inteligência e conectividade já integradas. Em algumas dessas configurações, um *gateway* IoT não é necessário. No entanto, esses dispositivos inteligentes podem não ter a segurança, a capacidade de gerenciamento ou os recursos de integração necessários para o controle de malha fechada em tempo real dos dados compartilhados entre os objetos inteligentes e a nuvem. A versão 2.0 descreve os métodos para superar esses problemas. Além disso, a versão 2.0 é uma arquitetura de referência com visão para o futuro. Facilita a convergência de tecnologia operacional e TIC para sistemas ciber-físicos usando *Universal Smart Objects* (USO), que são compatíveis com "IPSO-Alliance.org" (NEWBERRY *et al.*, 2002). Um mapa global fornece

recursos de IoT com um tipo USO e membros que possuem um *Global Unique ID* (GUID) e podem ser registrados e descobertos com o *Intel Contract Broker* (iCB), compatível com o *CoRE Resource Directory* do (LIVINGOOD, 1986). A especificação é preparada para o futuro por meio do uso de planos e fluxos modulares para reutilização em contêineres de aplicativos, Máquinas Virtuais (MV) e *Network Functions Virtualization* (ETSI, 2019). Da mesma forma, as vidas úteis da solução são estendidas com suporte para o *Software Defined Networking* (SDN), *Open Networking Foundation* (ONF) e outras arquiteturas de referência que facilitam o gerenciamento de grandes redes de diferentes recursos de hardware e software.

O modelo de referência da Intel para IoT fornece a infraestrutura necessária para facilitar a coleta, análise e ação em dados gerados por uma ampla variedade de dispositivos e terminais. Isso é feito fornecendo os recursos de dados e conectividade do dispositivo, segurança, interoperabilidade e análise que permitem maior produtividade.

A Figura 21 descreve um exemplo de fluxo de dados industrial típico para IoT, cuja arquitetura de referência da Intel ilustra como os dispositivos sem conectividade nativa com a Internet podem ser controlados de maneira inteligente pela nuvem.

Figura 21 – Fluxo de Dados para Dispositivos sem Conectividade Nativa com a Internet.



Fonte: ISHRAK *et al.*, 2015.

Da Figura 21, têm-se os seguintes detalhes:

1. Dispositivos sensores endpoint convertem sinais analógicos em digitais usando um conversor analógico-digital (*Analog to Digital Converter - ADC*).

2. Os *gateways* coletam dados de sensores alocados em dispositivos *endpoint*), ou vários desses dispositivos podem, alternativamente, conectar-se diretamente ao *data center* através da Internet.
3. Os *gateways* preparam, reduzem e agregam dados. Os *gateways* também podem incluir, como um exemplo, um servidor da Web, que encaminha dados para a nuvem via HTTPS (*Post*) usando o protocolo *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT).
4. O *data center* que pode incluir um perímetro local ou de névoa (*fog*), é configurado para baixa latência para fornecer respostas em tempo real aos *gateways* via HTTPS (*Get/Post*) ou (número 4 na Figura 21). A camada de névoa pode alternativamente responder diretamente ao *endpoint* dos dispositivos sensores. A camada de névoa é a área de borda da nuvem, que é ajustada para baixa latência com consulta e análise quase em tempo real para o valor local, diferente da nuvem central ajustada para alta largura de banda e modo em *batch insights* de dados para operações de *things-to-Fog, end-to-end*, em tempo real.
5. Os *gateways* encaminham as respostas (comandos de controle) para o sensor de *endpoint*/dispositivos de atuação.
6. Os dispositivos sensores de *endpoint* convertem sinais digitais em analógicos usando um conversor digital-analógico (DAC).
7. Atuadores e motores respondem à nova entrada analógica.
8. O *data center* transporta e ingere dados do sensor para segurança e gerenciamento de dispositivos.
9. O *data center* encaminha outros dados para operações de tempo de execução.
10. O *data center* também encaminha dados para aplicativos de análise de dados.
11. Aplicativos de análise de dados avaliam *big data* e geram relatórios de análise e operacionais.

Empresas e organizações coletam e armazenam dados há anos, mas atualmente novas tecnologias de análise de dados permitem um uso mais produtivo desses dados, transformando-os em informações que podem aumentar o rendimento do sistema, melhorar a eficiência, reduzir o tempo de inatividade e aprimorar as experiências dos clientes. Quando esses dados são analisados em detalhes, usando ferramentas avançadas disponíveis no mercado, é possível encontrar padrões e extrair significado que, em última análise, leve a uma tomada de decisão mais inteligente (ISHRAK *et al.*, 2015).

### 3.5.5 Microsoft Corporation

Sensores, dispositivos e operações inteligentes conectados podem transformar os negócios e possibilitar novas oportunidades de crescimento. A Microsoft fornece um modelo de referência com opções de tecnologia de implementação sobre como criar soluções de Iopara IoT utilizando sua plataforma Azure (GATES, 2010a). O modelo descreve a terminologia, os princípios de tecnologia, os ambientes de configuração comuns e a composição dos serviços do Azure IoT, dispositivos físicos e dispositivos inteligentes de borda.

A arquitetura auxilia arquitetos e projetistas de sistemas, desenvolvedores e outros tomadores de decisões técnicas da IoT que estão construindo soluções de IoT. Criar, executar e manter soluções é um esforço significativo ao determinar um escopo. Aplicativos IoT podem ser descritos como dispositivos (ou objetos digitais), enviando dados ou eventos que são usado para gerar *Insights* e *Actions* para ajudar a melhorar um negócio ou processo. Um exemplo é um motor como um objeto digital enviando dados de pressão e temperatura que são usados para avaliar se o motor está funcionando como esperado (um *insight*), que é usado para priorizar proativamente o cronograma de manutenção do mecanismo (uma ação). A arquitetura da Microsoft se concentra em como criar uma solução de IoT, cujo objetivo final da arquitetura é agir sobre os *insights* de negócios que são encontrados ao coletar dados de ativos.

Cada organização tem habilidades e experiência únicas, e cada aplicativo IoT tem necessidades e considerações exclusivas. A arquitetura de referência e as opções de tecnologia recomendadas devem ser modificadas conforme necessário para cada uma delas.

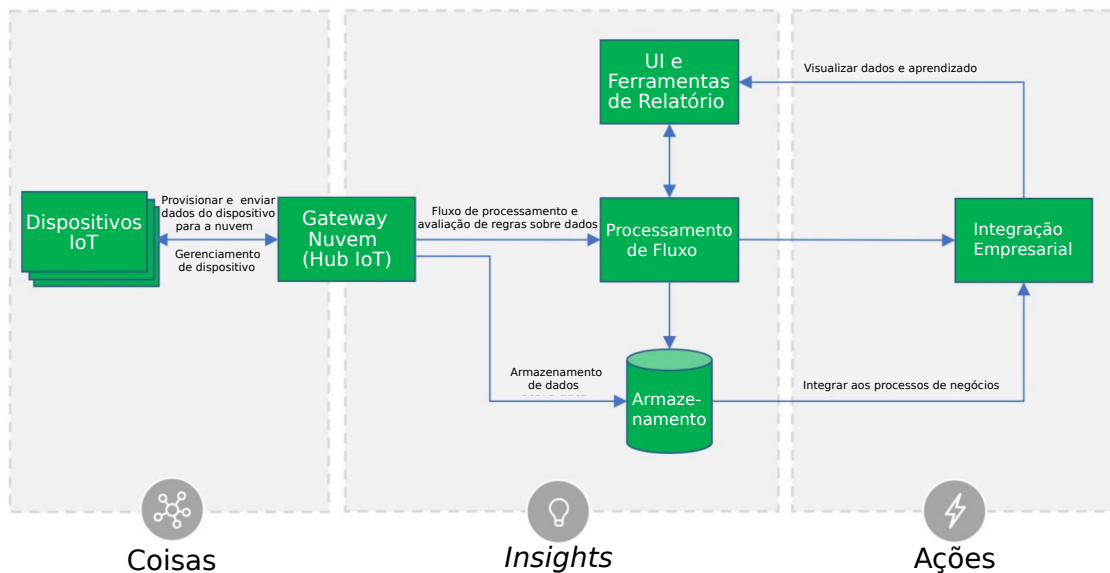
Alguns critérios são comuns em todos os subsistemas e alternativas tecnológicas, por exemplo, segurança, simplicidade, desempenho, escala e custo são críticos, não importa o subsistema ou a tecnologia. Alguns critérios, no entanto, são exclusivos de um subsistema específico.

A arquitetura IoT recomendada é baseada em nuvem nativa, microsserviço e *serverless*, Figura 22. Os subsistemas da solução IoT devem ser construídos como serviços discretos, que são implantáveis e podem ser dimensionados independentemente. Esses atributos permitem maior escala, maior flexibilidade na atualização de subsistemas individuais e fornecem a flexibilidade de escolher a tecnologia apropriada por subsistema. É essencial ter a capacidade de monitorar subsistemas individuais, bem como o aplicativo IoT como um todo. Os subsistemas se comunicam por meio de *Representational State Transfe/Hyper Text Transfer Protocol Secure* (REST/HTTPS) usando *JavaScript Object Notation* (JSON), embora os protocolos binários devam ser usados para necessidades de alto desempenho. A arquitetura também suporta uma estratégia de computação em Nuvem e borda híbrida; isto é, espera-se que algum processamento de dados ocorra no local. A arquitetura da Microsoft recomenda o uso de um orquestrador (por exemplo, Serviços do Azure Kubernetes - AKS ou *Service Fabric*) para dimensionar subsistemas individuais

horizontalmente ou serviços de *Platform as a Service* (PaaS), por exemplo, Serviços de Aplicativo do Azure, que ofereçam recursos de escala horizontal incorporados.

No núcleo, um aplicativo IoT consiste nos seguintes subsistemas: 1) dispositivos (e/ou *gateways* locais) que têm a capacidade de se registrar com segurança na Nuvem, e opções de conectividade para enviar e receber dados com a Nuvem; 2) um serviço de *gateway* de Nuvem, para aceitar com segurança esses dados e fornecer recursos de gerenciamento de dispositivos; 3) processadores de fluxo que consomem esses dados, integram-se aos processos de negócios e colocam os dados no armazenamento; e 4) uma interface de usuário para visualizar dados de telemetria e facilitar o gerenciamento de dispositivos. A seguir, esses subsistemas são descritos resumidamente com recomendações de tecnologia prescritivas.

Figura 22 – Modelo de Referência Parcial da Microsoft para IoT.



Fonte: GATES, 2010b.

O *Gateway Nuvem*, fornece um *hub* de nuvem para conectividade segura, telemetria e processamento de eventos e recursos de gerenciamento de dispositivo (incluindo comando e controle). A arquitetura da Microsoft recomenda o uso do serviço do *Azure IoT Hub* como o *gateway* na Nuvem.

O *Hub IoT* oferece conectividade segura integrada, telemetria e ingestão de eventos e comunicação bidirecional com dispositivos, incluindo gerenciamento de dispositivos com recursos de comando e controle. Além disso, o *Hub IoT* oferece um armazenamento de entidade que pode ser usado para armazenar metadados de dispositivos. Para registrar e conectar grandes conjuntos de dispositivos, a Microsoft recomenda o uso do DPS (*Device Provisioning Service*) do *Hub* do Azure IoT.

O DPS permite atribuir e registrar dispositivos a pontos de extremidade específicos do *Hub* do Azure IoT em escala. A arquitetura usa SDKs do *Hub IoT* do Azure para habilitar

a segurança da conectividade do dispositivo e enviar dados de telemetria para a nuvem.

O processamento de fluxo (*stream*) processa grandes fluxos de registros de dados e avalia regras para esses fluxos. Para o processamento de fluxo, a arquitetura usa o *Azure Stream Analytics* para aplicativos IoT que exigem processamento de regras complexas em escala. Para o processamento simples de regras, a arquitetura recomenda as rotas de *Hub IoT* do Azure usadas com as *Azure Functions*.

A integração de processos de negócios facilita a execução de ações com base em *insights* obtidos a partir de dados de telemetria de dispositivos durante o processamento de fluxo. A integração pode incluir armazenamento de mensagens informativas, alarmes, envio de e-mail ou *hort Message Service* (SMS), integração com o *Customer Relationship Management* (CRM), entre outros. A arquitetura recomenda o uso de *Azure Functions* e aplicativos lógicos para integração de processos de negócios.

O armazenamento pode ser dividido em caminho quente (dados que precisam estar disponíveis para relatórios e visualização imediatamente a partir de dispositivos) e caminho frio (dados que são armazenados a longo prazo e usados para processamento em lote). O modelo da arquitetura recomenda o uso do *Azure Cosmos DB* para armazenamento de caminho quente e do *Azure Blob Storage* para armazenamento do caminho frio. Para aplicações com necessidades de relatórios específicos para séries temporais, o uso de *Insights* do *Azure Time Series*.

A interface do usuário para um aplicativo IoT pode ser entregue em uma ampla variedade de tipos de dispositivos, em aplicativos nativos e navegadores. As necessidades dos sistemas IoT para interface do usuário e geração de relatórios são diversas, e o modelo recomenda o uso do *Power BI* (solução de análise de negócios), *Time Series Insights* (TSI), aplicativos nativos e aplicativos de *User Interface* (UI) da Web personalizados (GATES, 2010b).

## 4 METODOLOGIA PARA ARQUITETURA ATIIOT

A arquitetura ATIIOT deriva-se da fusão entre os modelos de referências da LERNER; BOSACK (2014) para IoT e DOMINGO (2012) para TA. Ambos os modelos, sugerem infraestruturas de TIC, com aplicativos e gerenciamento de dados prontos para IoT, os quais, requerem modelos heterogêneos de comunicação e processamento. Atualmente, não há uma maneira padrão de entender ou descrever tais modelos, como resultado, as linhas são desfocadas em dispositivos e sistemas IoT, e dispositivos e sistemas não IoT. O fato é que nem toda rede é uma rede IoT, e nem precisa ser. E nem todo aplicativo é um aplicativo IoT. Em geral, quando os dados são gerados sob o controle de máquinas ou equipamentos, e enviados através de uma rede, é provavelmente um sistema IoT. Mas na IoT, até generalizações podem ser inapropriadas, já que podem haver muitas exceções.

A base para o modelo de referência da arquitetura ATIIOT é inspirado no método proposto por MASLOW (1943), o qual, surgiu com uma hierarquia sobre como os humanos buscam necessidades (MAHERI, 2018), Figura 23.

A hierarquia de necessidades de MASLOW é uma teoria motivacional da psicologia, que compreende um modelo de cinco camadas das necessidades humanas, muitas vezes descritas como níveis hierárquicos em uma pirâmide. As necessidades inferiores na hierarquia devem ser atendidas antes que os indivíduos possam atender às necessidades superiores. Da base da hierarquia ao topo existem camadas: fisiológicas, segurança, sociais (amor e sentimento de pertença), estima e autorrealização ou autoatualização.

A teoria de MASLOW, sugere que, se os níveis básicos mais baixos não forem atingidos, um ser humano não terá nenhum desejo pelos níveis mais elevados. A arquitetura ATIIOT utiliza-se dos mesmos preceitos da hierarquia de necessidades de MASLOW para desenvolver interações e vínculos entre as camadas IoT, ou seja, um dispositivo de TA não tem uso para o nível mais alto (névoa, nuvem ou topo da pirâmide) se o bloco de construção de nível inferior não for satisfeito.

Autoexistência é um SMA (Figura 24) que divide o mesmo ambiente e precisa interagir e coordenar suas ações para atingir seus objetivos e garantir as proposições das premissas da camada de borda: física e segurança.

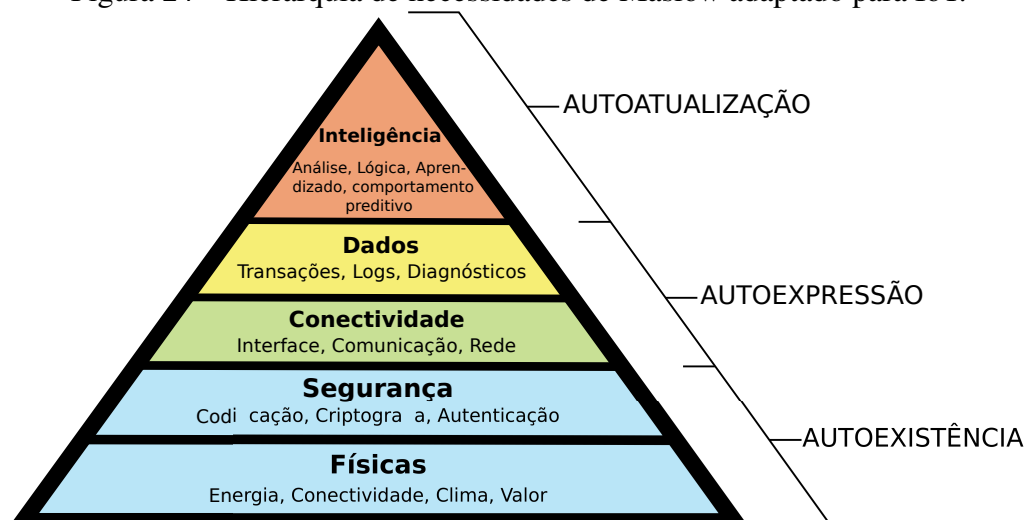
Na base da pirâmide, estão as necessidades mais básicas da existência dos agentes

Figura 23 – Hierarquia de necessidades de Maslow.



Fonte: MASLOW, 1943.

Figura 24 – Hierarquia de necessidades de Maslow adaptado para IoT.



Fonte: do autor



(objetos digitais), dotados de mecanismos físicos para conectar e transmitir dados de sensores e controlar atuadores, que também levam em conta a interação com o ambiente (ecossistema), para atender as necessidades específicas de agregar valor para as camadas superiores. Como tal, deve-se considerar a capacidade do agente de software em atender às expectativas funcionais como um requisito de autoexistência.

Uma vez satisfeitas as necessidades físicas básicas dos objetos digitais, e antes que a conectividade externa seja possível, a segurança é necessária. Para ser bem claro: a segurança é fundamental para a adoção da IoT e, portanto, esta precisa ser tratada para os objetos digitais individuais que podem ser acessadas localmente ou externamente. Acessibilidade não significa apenas conectividade, pois também se aplica a objetos digitais que podem ser fisicamente ou virtualmente "quebradas", onde a falta de segurança pode colocar em risco os dados armazenados.

Quando se trata de qualquer objeto digital relacionada à Internet, o que quer que possa ser explorado, será explorado. Essa verdade realmente precisa ser enfrentada desde o início na criação de cada dispositivo de IoT para TA. Assim, cada objeto digital na IoT requer um meio de codificar, criptografar e autenticar seus dados.

Com os desafios de segurança abordados, a próxima camada da pirâmide diz respeito às necessidades de comunicação e registros de dados. Autoexpressão é um SMA que divide o mesmo ambiente e precisa interagir e coordenar suas ações para atingir seus objetivos e garantir as proposições das premissas da camada de névoa e nuvem: conectividade e dados.

Um objeto digital precisa de um mecanismo de conexão como parte de suas necessidades físicas, entretanto, as camadas de névoa e nuvem abordam o domínio das necessidades de interconexão e dados. Em suma, essa camada identifica o que é preciso para um objeto digital conectar e compartilhar seus dados. As especificidades da interface e da rede são abordadas nessa camada, por exemplo, como os dados coletados serão registrados para gerar informações e quais protocolos os objetos digitais usarão para suas camadas de transporte e rede. Ao ser composta por repositório de dados, esta camada recebe requisições da camada mais superior de negócios (topo da pirâmide ou necessidades inteligentes), e seus métodos executam essas requisições em banco de dados.

No topo da pirâmide encontram-se as necessidades inteligentes o equivalente à Autorrealização de Maslow e Autoatualização para arquitetura ATIoT. É onde as necessidades dos objetos digitais se tornam propriedades construtivas que tornam os objetos digitais úteis. São aplicações relacionadas à lógica de negócio, a qual contribui para a análise e exibição de informações, aprendizado de máquina, sistema escalável e autoconfigurável, operando sem a necessidade de intervenção humana. Embora ainda não seja necessário que os objetos digitais passem no teste de Turing <sup>1</sup>, essa camada é onde a IoT exhibe o seu

---

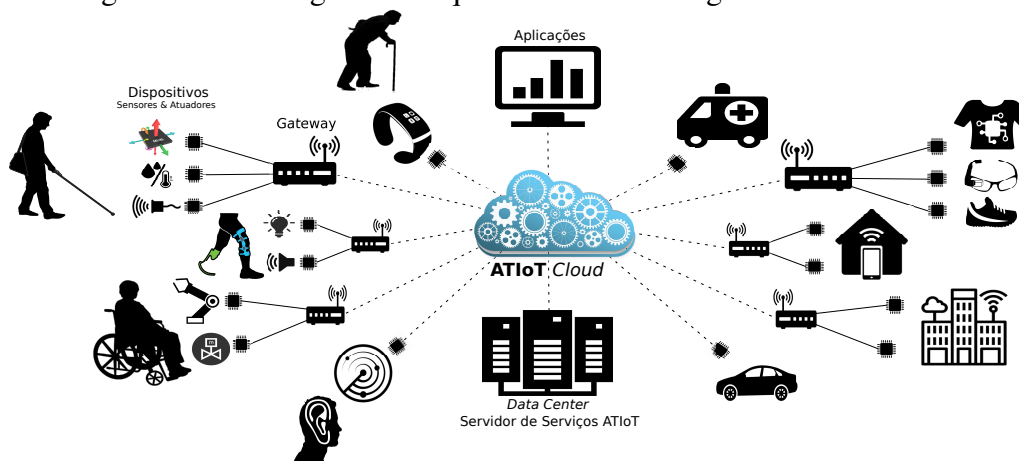
<sup>1</sup>O Teste de Turing testa a capacidade de uma máquina exibir comportamento inteligente equivalente a um ser humano, ou indistinguível deste.

verdadeiro valor.

## 4.1 Visão Global da Arquitetura ATIoT

Objetos digitais dotados com sensores e *gateways* para comunicação com servidores (centralizados ou descentralizados), podem combinar-se com outros objetos digitais para criar grupos e redes de nós mais complexas, sendo que esses dispositivos combinados terão suas próprias necessidades, as quais, podem ser definidas pelos requisitos do escopo das aplicações baseadas para IPDI. O modelo parte da perspectiva de ontologias para a representação de ecossistemas (ambientes internos e externos) onde os dados coletados dos objetos digitais (TA) na camada de borda evoluem em informação e inteligência nas camadas de névoa e nuvem. A Figura 25 apresenta uma visão global do modelo conceitual da arquitetura ATIoT.

Figura 25 – Visão geral da arquitetura ATIoT integrando TA com IoT.



Fonte: do autor

Os dispositivos embarcados em TA (objeto digital) possuem sensores e *gateways* que conectam plataformas de nuvem bem definidas e cada uma delas fornecem recursos e funcionalidades específicas exigidas para uma solução robusta de IoT para IPDI.

## 4.2 Modelo de Referência para Arquitetura ATIoT

A arquitetura proposta descreve as camadas em termos gerais e forma simples, mas elas podem se tornar mais concretas por meio do mapeamento de requisitos abstratos para tecnologias específicas ou pilhas de tecnologia.

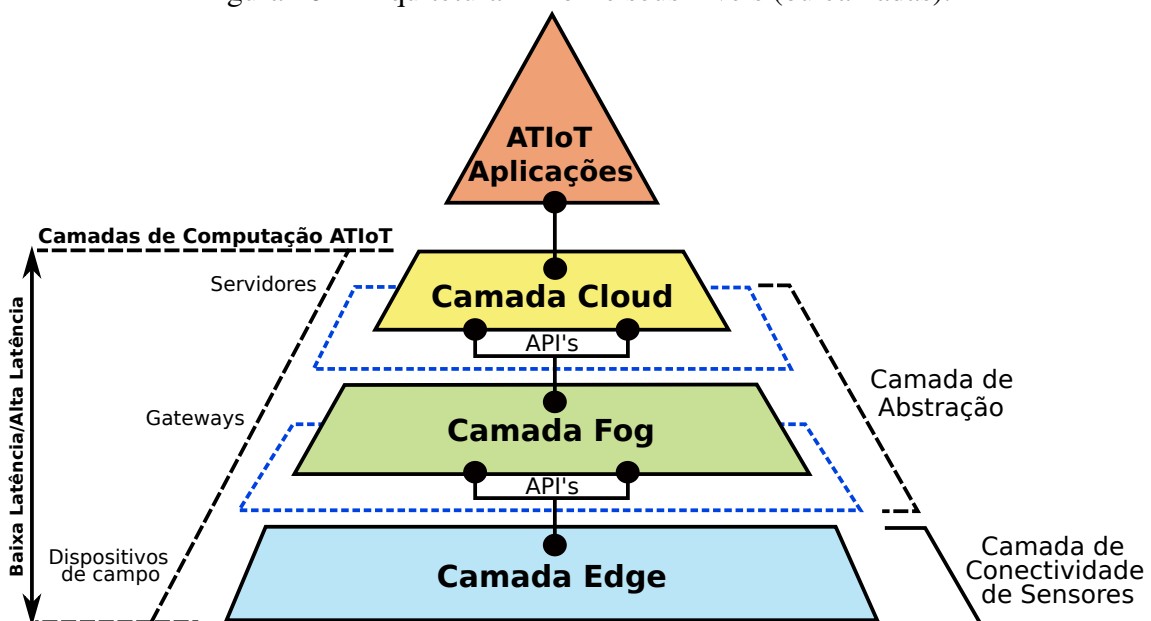
O modelo de referência desenvolvido para a arquitetura ATIoT tem como objetivo integrar as TA à IoT. Sua finalidade é fornecer definições e descrições claras que possam ser aplicadas aos elementos de borda, névoa e nuvem. Este modelo de referência:

- **Simplifica:** integra TA com modelos de referência IoT para prover a IPDI,

- **Esclarece:** separa as camadas para torná-las acessíveis para quaisquer nó ou dispositivo, em vez de simplesmente conceitual,
- **Identifica:** ecossistemas ou camadas de computação com infraestruturas TIC dedicados ao contexto da IPDI,
- **Padroniza:** um modelo de referência que visa a interoperabilidade, alta coesão e baixo acoplamento entre os nós IoT para TA, mantendo forte relacionamento e dependência utilizando os mesmos preceitos da hierarquia de necessidades de MASLOW (1943), para desenvolver interações e vínculos entre as camadas, ou seja, um dispositivo de borda não tem uso para o nível mais alto (névoa, nuvem ou aplicações) se os blocos de construções de níveis inferiores não forem satisfeitos,
- **Organiza:** arquitetura de camadas em formato de pirâmide que ajuda a particionar sistemas maiores em partes menores para que cada parte seja mais compreensível e abstrata para as pilhas de tecnologias que aceleram o desenvolvimento.

A proposta do modelo pretende ser abrangente e multinível para integrar TA à IoT. Na arquitetura ATIoT, os dados são gerados por vários tipos de dispositivos, processados de diferentes maneiras (baixa e alta latência), transmitidos para camadas heterogêneas, e controlados ou monitorados por aplicativos. O modelo mais genérico da referência é composto por quatro níveis (Figura 26), onde cada nível ou camada é definido com uma terminologia que pode ser padronizada para cada projeto para criar um quadro de referência globalmente aceito.

Figura 26 – Arquitetura ATIoT e seus níveis (ou camadas).



Fonte: do autor

O modelo de referência da arquitetura ATIoT não restringe escopo ou localidade de seus componentes de software ou hardware. Por exemplo, do ponto de vista físico e virtual, cada elemento pode residir em um ecossistema interno ou externo, formando diferentes topologias de rede de sensores. O modelo de referência também permite que o processamento que ocorre em cada nível varie de trivial a complexo, dependendo do estudo de caso aplicado, as tarefas em cada nível devem ser tratadas para manter a simplicidade, permitir alta escalabilidade e garantir a capacidade de suporte. É importante observar que, na arquitetura ATIoT, os dados fluem nas duas direções, as informações fluem da parte inferior do modelo (Camada *Edge*) para a parte superior (Camada *Cloud*), porém, em um padrão apenas de monitoramento das TA, o fluxo de informações é o inverso. Na maioria dos sistemas, o fluxo será bidirecional.

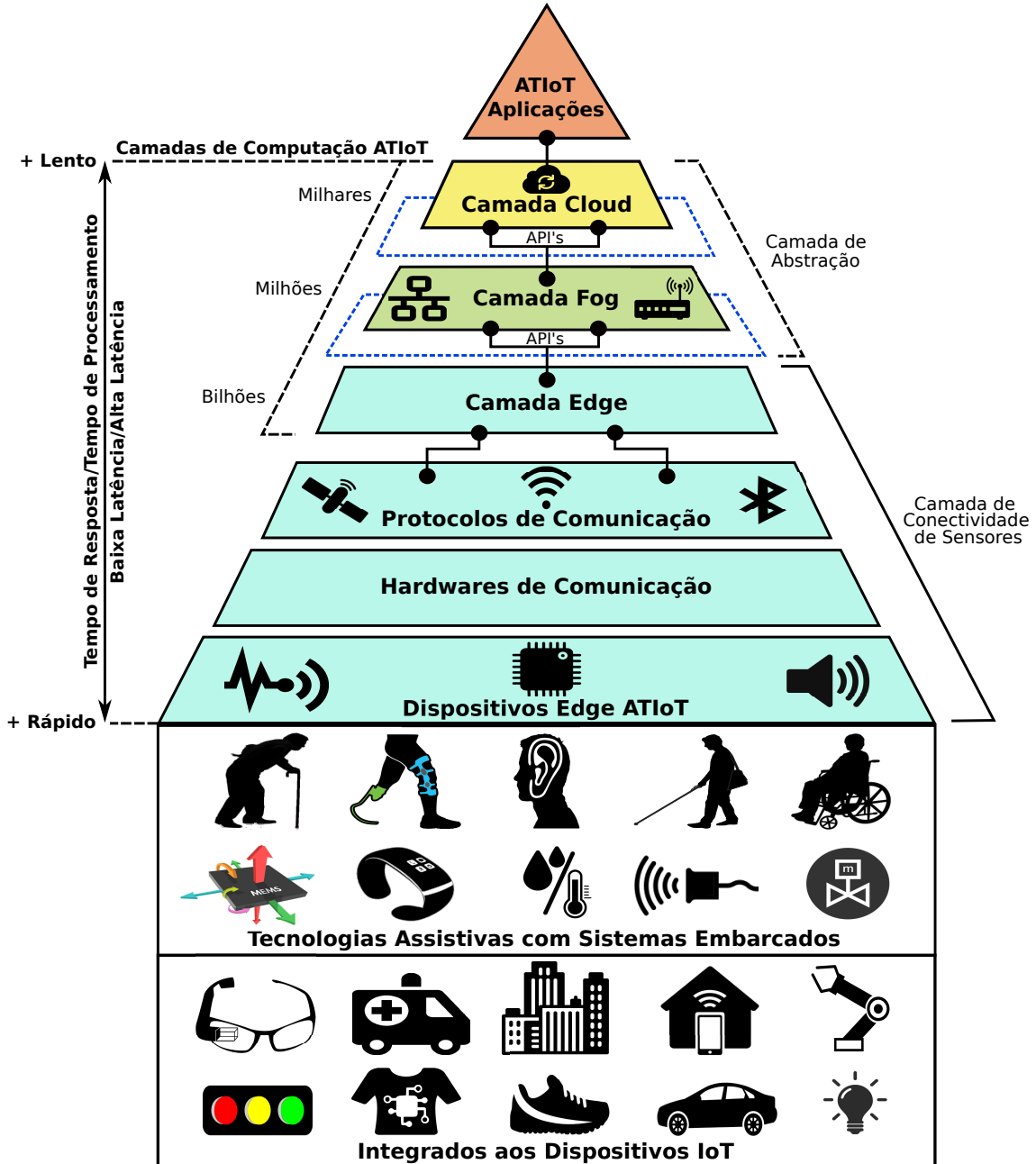
A arquitetura ATIoT pode ser usada para descrever um ecossistema amplo e diversificado que inclui uma ampla variedade de diferentes tipos de conectividade e casos de uso. Portanto, não é viável discutir o ecossistema da ATIoT como um todo e, para entender melhor, é necessário dividi-lo em camadas.

O ecossistema da arquitetura ATIoT é representado com mais detalhes usando a representação em pirâmide de sete camadas horizontais, que são elementos essenciais, comuns a todos os casos de uso, independentemente do segmento horizontal e vertical, conforme ilustrado na Figura 27.

Conforme o modelo de referência criado, as camadas *Cloud*, *Fog* e *Edge* representam três camadas de computação da arquitetura ATIoT:

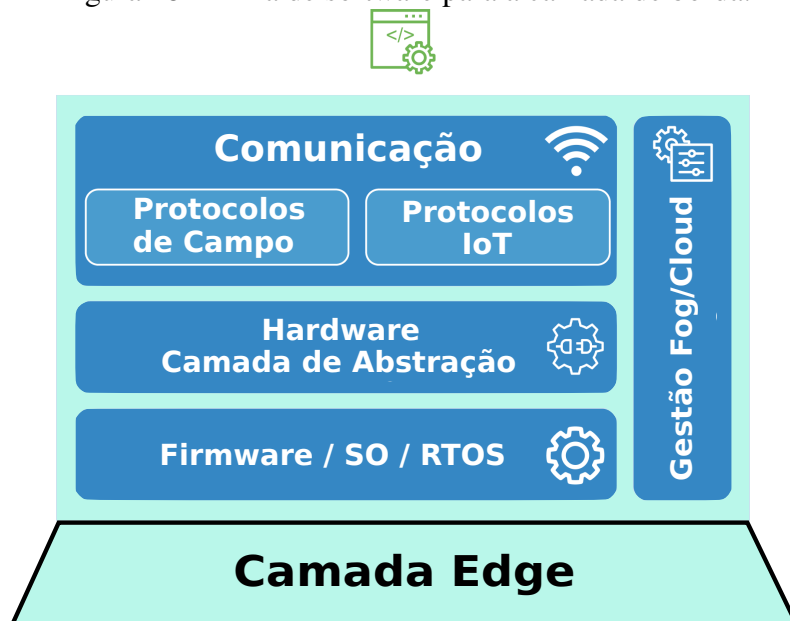
1. **Camada *Edge***: o modelo de referência da ATIoT começa nessa camada, com controladores que podem controlar vários dispositivos físicos. Esses são os objetos digitais da IoT e incluem uma ampla variedade de dispositivos de ponto final (*endpoint*) que enviam e recebem informações. Atualmente, a lista de dispositivos já é extensa, ela se tornará quase ilimitada à medida que mais dispositivos forem adicionados à IoT ao longo do tempo. Os dispositivos são diversos e não há regras sobre tamanho, localização, fator de forma ou origem. Alguns dispositivos terão o tamanho de um chip de silício, e outros serão tão grandes quanto veículos. A camada de borda da arquitetura ATIoT é onde está a integração dos sistemas embarcados (eletrônica, eletromecânica e software) com as TA. Esses sistemas embarcados (com *MicroController Unit* - MCU, *System on Chip* - SoC, sensores, atuadores e módulos de comunicação) podem ser adaptados ou construídos junto com o projeto mecânico das TA. De fato, muitos fabricantes de equipamentos produzirão dispositivos IoT, assim para simplificar a compatibilidade e oferecer suporte à capacidade de integração, o modelo de referência da arquitetura ATIoT descreve seus dispositivos na camada de borda. A Figura 28 descreve os recursos de software básicos para um dispositivo de borda.

Figura 27 – Modelo de referência da arquitetura ATIoT.



Fonte: do autor

Figura 28 – Pilha de software para a camada de borda.



Fonte: do autor

São os dispositivos embarcados nos objetos digitais da IoT (camada *Edge*). O ponto de partida para uma solução de integração com as TA, sendo tipicamente o originador dos dados e que interage com o mundo físico. Os dispositivos muitas vezes são muito restritas em termos de tamanho ou fonte de energia, portanto, elas geralmente são programados usando microprocessadores que possuem recursos limitados. Os MCUs ou SoCs embarcados nos dispositivos de borda são dedicados para uma tarefa específica em TA ou objetos do mundo real, já que são dispositivos integrados e conectados aos ecossistemas (macro ou micro escalas).

O software em execução nos dispositivos, visa suportar tarefas específicas. Os principais recursos da pilha de software em execução em um dispositivo podem incluir:

- **Firmware/SO:** muitos dispositivos serão executados com "bare metal"<sup>2</sup>, alguns terão apenas *firmwares* enquanto outros sistemas operacionais incorporados ou em tempo real que são particularmente adequados para pequenos dispositivos restritos e que podem fornecer recursos específicos da IoT.
- **Abstração de Hardware:** uma camada de software que permite o acesso aos recursos de hardware do MCU, como memória flash, GPIOs, interfaces seriais, etc.
- **Suporte de comunicação:** *drivers* e protocolos que permitem conectar o dispositivo a um protocolo com ou sem fio, como *Bluetooth*, *Z-Wave*, *Thread*,

<sup>2</sup>A expressão "Bare Metal" serve para descrever ambientes de TI em que o sistema operacional é instalado diretamente no hardware, em vez de uma camada de sistema hospedando diversas VMs (máquinas virtuais), como é realizado em ambientes virtualizados.

barramento CAN, MQTT, CoAP, RPC, DDS, etc., e permitir a comunicação do dispositivo.

- **Gerenciamento Fog/Cloud:** capacidade de controlar local ou remotamente o dispositivo para atualizar *firmware*, acionar atuadores ou monitorar o nível de bateria e sensores.

A camada de borda inclui todos os dispositivos "inteligentes" (ou objetos digitais). Os dados gerados a partir da camada de borda são processados diretamente no dispositivo ou transmitidos para a camada de névoa (Fog).

2. **Camada Fog:** computação em neblina, névoa ou nevoeiro, é como está sendo chamada a *Fog Computing*, a qual consiste na alocação do poder de processamento mais perto do limite da borda de rede de névoa (*Fog-Edge*). É uma arquitetura de computação descentralizada onde dados, cálculos, comunicações, armazenamentos, medições, gerenciamentos e aplicações são distribuídos no local mais lógico e eficiente: em uma camada intermediária, entre a fonte de dados (Camada *Edge*) e a Nuvem (Camada *Cloud*). Este paradigma reduz a quantidade de dados transmitidos na rede e também a complexidade computacional necessária na Nuvem. Enquanto a Nuvem trata de centralização, a névoa trata de descentralização.

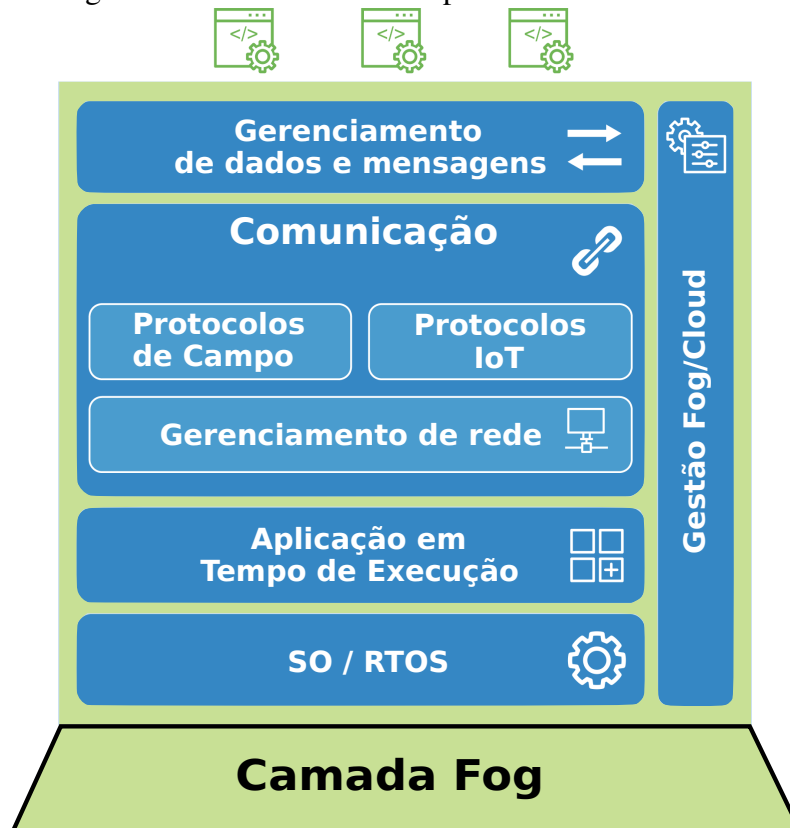
Seus dispositivos são *gateways*, dispositivos de rede que conectam uma rede local (LAN) interna a uma rede de longa distância externa (MAN/WAN ou à Internet), que derivam nos *backbones*. Os Protocolos de névoa, são responsáveis pela conexão, comunicação e transferência de dados entre os nós dos sistemas computacionais. O protocolo dessa camada define as regras, sintaxe, semântica, sincronização de comunicação, métodos de recuperação de erros e também tradução de rede entre redes que usam protocolos diferentes.

O *gateway* atua como o ponto de agregação para um grupo de sensores e atuadores (Camada *Edge*) para coordenar a conectividade desses dispositivos entre si e para uma rede externa. Os *gateways* da camada de névoa devem conter agentes inteligentes dedicados e especializados em integrar as TA em uma rede local dentro de um ecossistema que pode estar conectado à uma rede externa com um servidor de serviços para as TA.

O *gateway Fog* (Figura 29) geralmente oferece processamento de dados e recursos de armazenamento para lidar com a latência e a confiabilidade da rede, além de lidar com os problemas de interoperabilidade entre dispositivos incompatíveis. Uma arquitetura típica de IoT deve suportar muitos *gateways* (*Smart Grid*) para massas de dispositivos.

Os *gateways* da IoT estão se tornando cada vez mais dependentes de software para implementar a funcionalidades principais. Os principais recursos de uma pilha de

Figura 29 – Pilha de software para a camada de névoa.



Fonte: do autor

software do *gateway* são:

- **SO:** *firmwares* ou geralmente um SO de uso geral, como o Linux.
- **Agentes Inteligentes e Tempo de execução:** os *gateways* de IoT geralmente têm a capacidade de processar e executar códigos de aplicações e permitir que os serviços sejam acessados e atualizados dinamicamente. O agente é definido como uma entidade computacional que funciona de forma contínua e autônoma em um ambiente restrito, ambiente no qual podem existir outros agentes com características comuns ou não. O agente atua com propósito específico de realizar ações dentro do contexto onde ele atua.
- **Comunicação e Conectividade:** os *gateways* de IoT precisam suportar diferentes protocolos de conectividade para conectar com diferentes dispositivos (por exemplo, NFC, Bluetooth, Wi-Fi, Z-Wave, ZigBee, Thread). Os *gateways* IoT também precisam se conectar a diferentes tipos de redes (por exemplo, Ethernet, celular, Wi-Fi, satélite, etc.) e garantir a confiabilidade, a segurança e a confidencialidade das comunicações.
- **Gerenciamento de dados e mensagens:** persistência local para suportar latência de rede, modo *offline* e análises em tempo real na borda (*edge*), bem



como a capacidade de encaminhar dados de dispositivos de maneira consistente para uma plataforma como o servidor ATIoT.

- **Gerenciamento Remoto:** a capacidade de provisionar, configurar e gerenciar *gateways* remotamente, bem como os aplicativos em execução nos *gateways*.

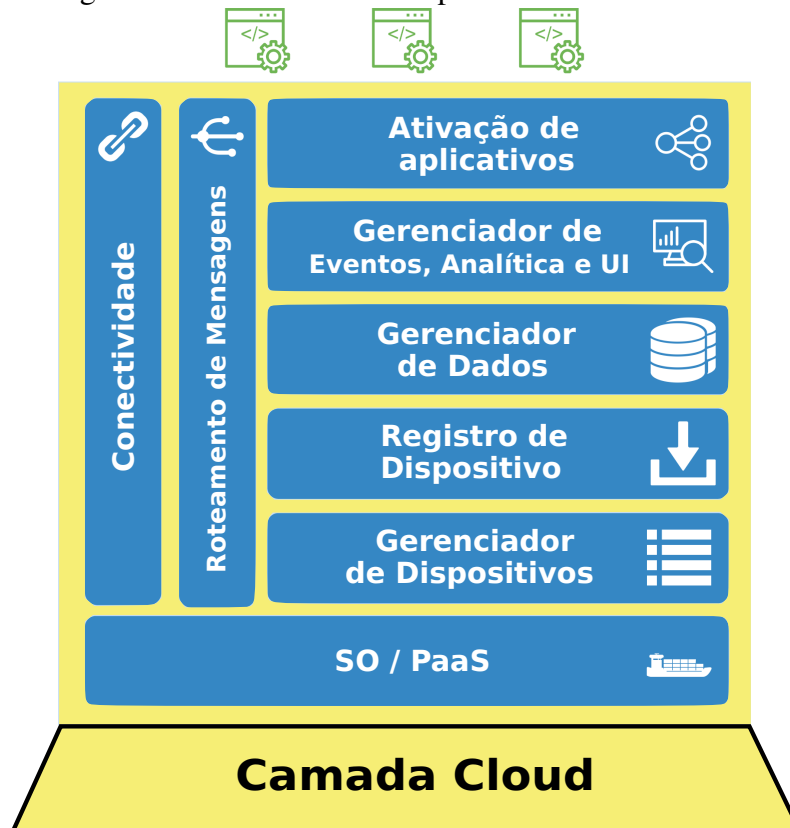
3. **Camada Cloud:** computação em nuvem (ou *Cloud Computing*). Refere-se à utilização das capacidades de servidores com armazenamento de dados, processamento e um conjunto amplo de serviços de aplicativos acessados via Internet. São servidores hospedados em *data center* privado ou em organizações locais interligados por meio da Internet, seguindo o princípio da computação em grade. As informações acessadas são encontradas remotamente na Nuvem ou em um espaço virtual.

A *Cloud* (Figura 30) representa um servidor com infraestrutura de software e serviços (SOA e microsserviços), que contêm uma gama de *middlewares* e *frameworks* baseados em robótica e IoT, selecionados conforme as necessidades para ativar soluções de aplicações para TA e IPDI. Essa camada geralmente opera em uma infraestrutura de Nuvem (por exemplo, VPS - *Virtual Private Server*) ou dentro de um *data center* próprio, que deve ser dimensionado horizontalmente para suportar o grande número de dispositivos conectados, bem como verticalmente abordar a variedade de soluções de IoT. A *Cloud* facilitará a interoperabilidade com aplicativos ATIoT e outras soluções de IoT existentes.

Os principais recursos de uma pilha de software de uma plataforma *Cloud* incluem:

- **Conectividade e Roteamento de Mensagens:** as plataformas de IoT precisam interagir com um número muito grande de dispositivos e gateways usando diferentes protocolos e formatos de dados, mas depois se deve normalizá-lo para permitir fácil integração com o resto da empresa.
- **SO/PaaS:** geralmente um SO de uso geral, como o Linux. A "Platform as a Service" (PaaS) é um ambiente, uma plataforma, como diz o próprio nome, para criar, hospedar e gerir aplicações próprias baseadas em alguma tecnologia (*framework*, *middlewares*, APIs, etc.) e utilizar a infraestrutura necessária e, o mais importante, adequada à aplicação desenvolvida. Entre algumas das vantagens desse modelo, pode-se citar o gerenciamento e acesso a um grande volume de dados, bem como a atualização e acesso aos aplicativos hospedados na rede via dispositivos móveis.
- **Gerenciamento de Dispositivos e Registro de Dispositivos:** registro central para identificar os dispositivos/gateways executados em uma solução de IoT, e a capacidade de provisionar novas atualizações de software e gerenciar os dispositivos.

Figura 30 – Pilha de software para a camada de nuvem.



Fonte: do autor

- **Gerenciamento e Armazenamento de Dados:** armazenamento de dados escalonável que suporta o volume e a variedade de dados da IoT.
  - **Gerenciamento de Eventos, Análise e Interface do Usuário:** recursos de processamento de eventos escaláveis, capacidade de consolidar e analisar dados e criar relatórios, gráficos e painéis.
  - **Habilitação de Aplicativos:** capacidade de criar relatórios, gráficos, painéis, etc., e usar API para integração de aplicativos.
4. **ATIoT Aplicações:** é onde ocorre a interpretação das informações. O software neste nível interage com a camada de Nuvem através de um *gateway*, portanto, não precisa operar em velocidades de rede. O modelo de referência da ATIoT não define estritamente como deve ser uma aplicação, já que as aplicações variam de acordo com as TA e as necessidades vinculadas aos requisitos de cada deficiência. Assim as aplicações podem ser construídas especificamente para uma solução ou então adaptadas (re)usando *frameworks open source* para criar aplicações. Inicialmente os aplicativos nessa camada se concentrarão no consumo de dados para monitoramento das TA através de uma central com sistemas supervisórios, podendo também controlar dispositivos. Aplicativos de monitoramento e controle representam muitos modelos de aplicativos, assim como padrões de programação e pilhas de

software diferentes, levando a discussões sobre reuso, sistemas operacionais, mobilidade, servidores de aplicativos, hipervisores, multiencadeamento, multilocação, etc. Esses tópicos estão além do escopo da discussão do modelo de referência da ATIoT no momento, bastando dizer que a complexidade da aplicação varia muito.

O sistema IoT e as informações que ele cria são de pouco valor, a menos que produzam ação, o que geralmente requer pessoas e processos. As pessoas usam aplicativos e dados associados às suas necessidades específicas. Muitas vezes, várias pessoas usam o mesmo aplicativo para várias finalidades diferentes. Os aplicativos pretendem fornecer aos usuários os dados certos, no momento certo, para que eles possam fazer a coisa certa.

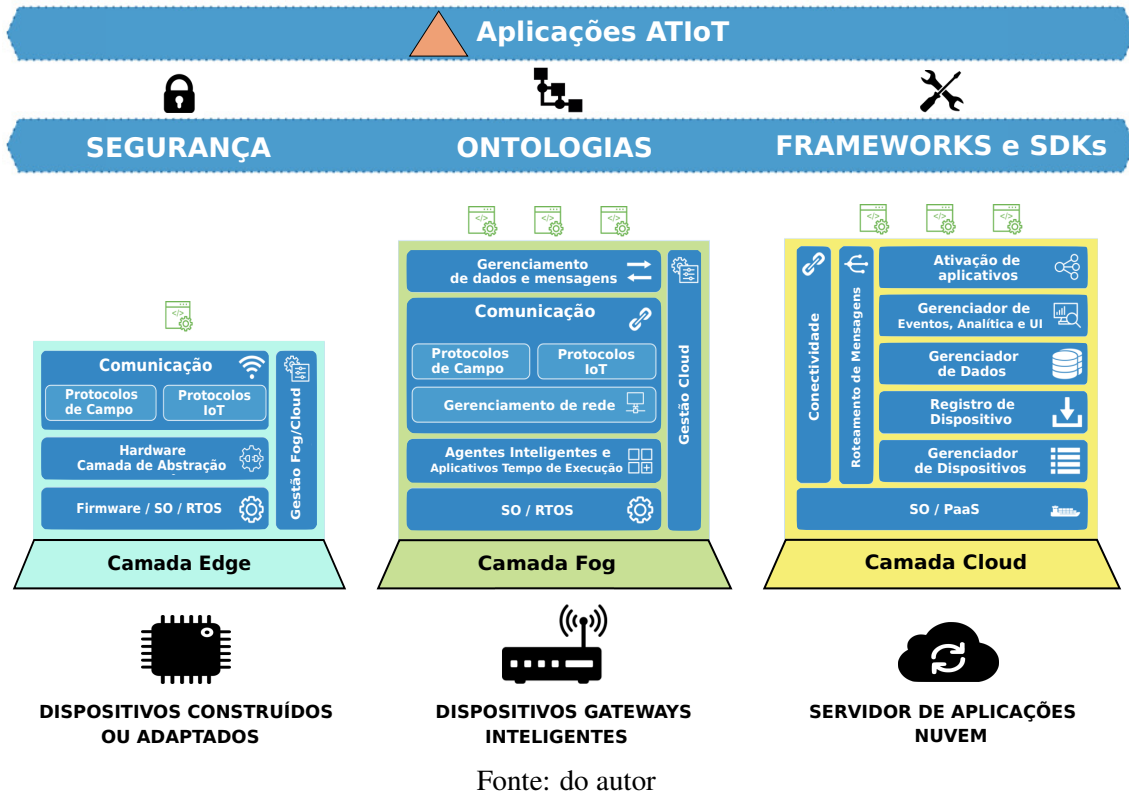
### 4.3 As Três Pilhas de Software Necessárias para Arquitetura ATIoT

Nas diferentes pilhas de software das camadas de computação ATIoT, há vários recursos que precisam ser considerados:

- **Segurança:** a segurança precisa ser implementada, dos dispositivos (*Edge*) para a Nuvem. Recursos como autenticação, criptografia e autorização precisam fazer parte de cada pilha.
- **Ontologias:** o formato e a descrição dos dados do dispositivo são um recurso importante para permitir a análise de dados e sua interoperabilidade. A capacidade de definir ontologias e metadados em domínios heterogêneos é uma área-chave para a arquitetura ATIoT.
- **Ferramentas de desenvolvimento e SDKs:** os desenvolvedores de IoT precisarão de ferramentas de desenvolvimento que suportem as diferentes plataformas de hardware e software envolvidas.

Estas pilhas de software definem a forma como usuários e organizações se conectam com nós clientes e servidores. A primeira e segunda pilha trata-se de sensores, atuadores e dispositivos *gateways* que se conectam a uma rede para coleta e troca de dados. Inovações de hardware (pequenos computadores embarcados) estão tornando mais fácil, rápido e barato o desenvolvimento desses dispositivos. Assim, padrões de rede para redes de baixa potência criam novas oportunidades para conectar dispositivos muito pequenos à rede. Por fim, a terceira pilha permite a análise de dados e processamento de eventos, possibilitando suporte à quantidade de dados gerados em implantações de IoT em grande escala para distribuição das informações geradas. Paralelamente à emergente indústria de IoT, a indústria geral de software avançou em direção ao código aberto como um fornecedor importante de componentes críticos de software. Isso é verdadeiro para as principais categorias de SW, incluindo SO (Linux), Big Data (Apache Hadoop, Apache Cassandra),

Figura 31 – Modelo de Referência da Arquitetura ATIoT.



*Middleware* (ROS, Apache HTTP Server, Apache Tomcat, Eclipse Jetty), *Cloud* (OpenStack, Cloud Foundry, Kubernetes) e *Microservices* (Docker).

Para usar a arquitetura ATIoT é preciso examinar e elaborar os requisitos funcionais e não funcionais para cada camada que envolve o estudo de caso. Identificando, desenvolvendo ou adaptando as três pilhas de software exigidas para integração das TA à IoT.

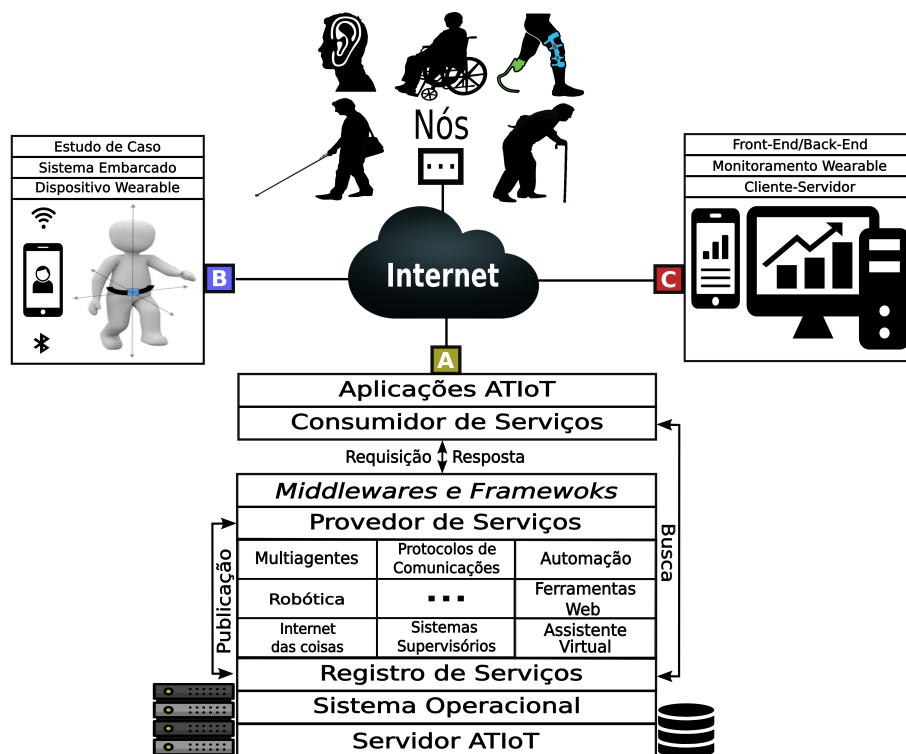
## 5 EXPERIMENTO COM A ARQUITETURA ATIIOT

Esta proposta aduz a implementação de uma arquitetura denominada ATIIoT. Sua infraestrutura é baseada principalmente nos recentes avanços tecnológicos de *middlewares* e *frameworks* para IoT e Robótica. Uma das vantagens de tais abordagens são as promoções de reuso, que podem reduzir o tempo e o esforço necessários na produção sistemas robóticos avançados e TICs. A arquitetura é composta por sistemas interoperáveis constituindo-se de nós heterogêneos que agregam em si computadores de propósitos gerais a sistemas embarcados com MCUs/SoCs ou microprocessadores, sensores e atuadores, planejadores de movimento e navegação, algoritmos de controle e protocolos de comunicação, entre outros serviços, que se estendidos ou adaptados à TA, produzem novas ferramentas para a inclusão de pessoas com deficiência e idosos (IPDI). A Figura 32 mostra os nós do modelo da arquitetura ATIIoT integrada ao dispositivo *Wearable*.

O Nó A ou servidor ATIIoT, referente à Camada *Cloud*, é responsável por gerir as conexões e protocolos de comunicações de nós clientes-servidores remotos. Ele é como uma espécie de mediador entre as máquinas (*broker*), capaz de fazer com que a comunicação de fato ocorra entre elas, o que permite um desacoplamento entre as partes. O Nó A contém uma infraestrutura de TIC com Arquitetura Orientado a Serviços (SOA) e microsserviços baseados em cultura DevOps, para automatizar a integração entre as áreas de desenvolvimento e operações, fornecendo práticas e ferramentas que aumentam a flexibilidade e capacidade de prover, gerar ou distribuir dispositivos e serviços para a arquitetura ATIIoT.

O Nó B é composto por um Dispositivo *Wearable* (DW), Camada *Edge*, integrado a um app Android denominado ATIIoT *Wearable* (AW), Camada *Fog*, utilizado como *gateway* entre a camada *Edge* e *Cloud*. O DW contém um sistema embarcado com microcontrolador, tecnologia Bluetooth Low Energy (BLE) para comunicação via protocolo IEEE 802.15, e uma Wireless Personal Area Network (WPAN). O DW é usado na cintura ou no pulso de idosos para gerar os dados que são enviados para um *smartphone* dotado com o app AW desenvolvido no Android Studio para receber os dados e encaminhá-los para o servidor ATIIoT (Nó A) via protocolo HTTP. Os dados gerados pelo Nó B são encaminhados para o Nó A para serem armazenados em bancos de dados ou usados por

Figura 32 – Arquitetura baseada no modelo de referência ATIoT para desenvolvimento e validação.



Fonte: do autor

agentes ou serviços (locais ou externos ao servidor).

O Nó C por sua vez, também Camada Cloud, é um nó remoto cliente-servidor *back-end/front-end* que se conecta ao Nó A para coletar os dados do Nó B e ajustá-los a um sistema Web que execute análises de métricas dos dados com interfaces para os usuários.

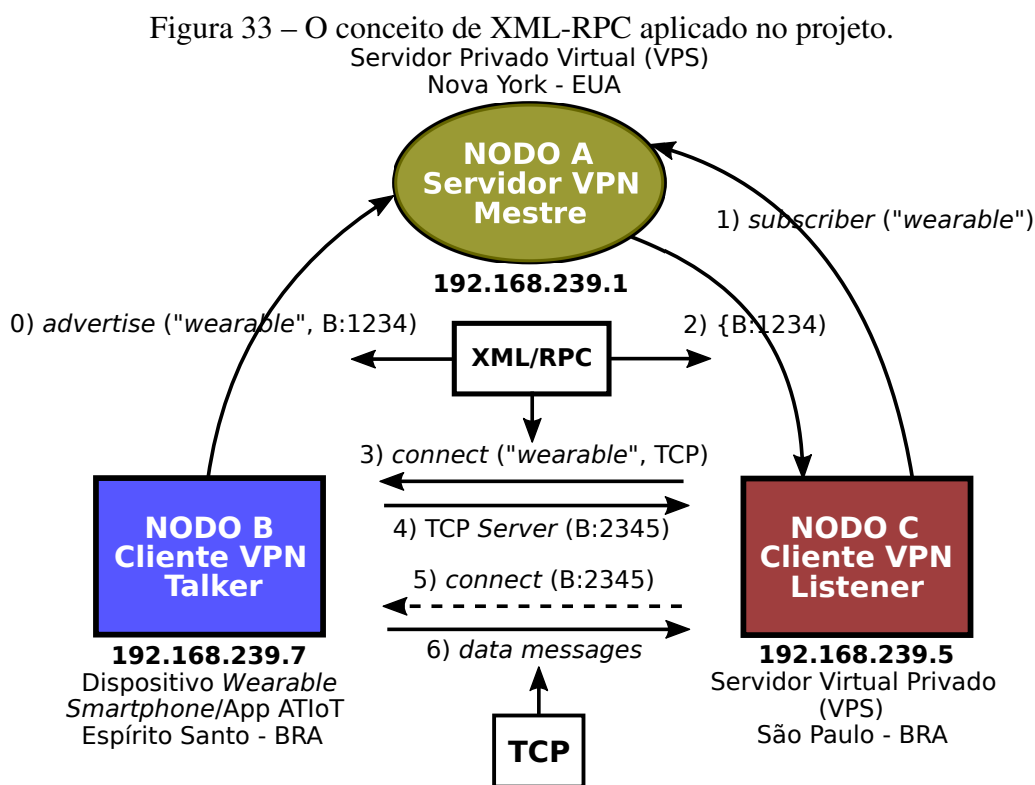
O Nó A encontra-se em Nova York-EUA, o Nó B no Espírito Santo-BRA e por último o Nó C em São Paulo-BRA. O uso de VPSs para os nós A e C, se justificam pelo baixo custo, possibilidade de customização e facilidade de configuração da rede para acesso remoto via internet. Tais nós, também podem ser instalados e configurados em rede local.

O servidor ATIoT (Nó A) é centralizado e dedicado para prover serviços e conexões aos nós clientes B e C (ou outros, D, E, F, etc.), portanto, é definido como um servidor mestre que expõe sua interface por meio de padronizações de protocolos de comunicação, construídos com diferentes tecnologias de acordo com as necessidades de interoperabilidade entre dispositivos.

O protocolo selecionado para a interoperabilidade entre os nós servidores-clientes (A, B e C) é o XML-RPC (*Extensible Markup Language-Remote Procedure Call*, um protocolo de chamada de procedimento remoto que utiliza XML para codificar suas chamadas e HTTP sem estado como um mecanismo de transporte. Contudo, outros protocolos também podem ser selecionados ou utilizados em conjunto com o protocolo principal definido (via componente ou interface para conectar protocolos).

O XML-RPC é relativamente leve e tem ampla disponibilidade de bibliotecas em uma variedade de linguagens de programação como Perl, Python, Java, Frontier, C/C++, Lisp, PHP, Microsoft .NET, Rebol, Real Basic, Tcl, Delphi, WebObjects, Zope e muitas outras. As implementações estão disponíveis para Unix, Windows e Macintosh.

A Figura 33 reproduz o mecanismo principal para os nós trocarem dados, enviar e receber mensagens que são transmitidas no padrão IEEE 802.11 (Wi-Fi), em um tópico com um nome exclusivo na rede. Para tanto, usa-se a pilha de protocolos TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*) para comunicação entre os nós da rede.



O conjunto de protocolos pode ser visto como um modelo de camadas (modelo *Open System Interconnection* - OSI), onde cada camada é responsável por um grupo de tarefas, fornecendo um conjunto de serviços bem definidos para o protocolo da camada superior. Se um nó quiser compartilhar informações, ele usará um componente de publicação (*talker*) para enviar dados para um tópico. Um nó que deseja receber essa informação usará um subscriber (*listener*) para o mesmo tópico. Além de seu nome exclusivo, cada tópico também possui um tipo de mensagem que determina os tipos de mensagens que podem ser transmitidas.

Quando os Nós clientes B e C abrem uma conexão com o servidor, Nó A (mestre), os nós clientes enviam os nomes dos serviços chamados, junto com os dados de entrada como um documento XML, para o nó do mestre, o qual envia o resultado de volta pela mesma conexão, novamente encapsulado como XML. Após a execução da chamada, a conexão

pode ser fechada ou mantida pelos nós clientes. Também é possível fazer chamadas para vários procedimentos em uma única transação. O uso dos padrões XML e RPC permite que a interface seja usada por muitas linguagens de programação com relativa facilidade para registrar novos nós, obter uma lista de tópicos, registrar um novo serviço, etc.

Os serviços de rede usam conexões bidirecionais completas entre todos os nós em todas as portas disponíveis. Esta comunicação é feita através da negociação de portas, tanto UDP como TCP. Cada nó tem um URI (*Uniform Resource Identifier*) que corresponde à porta do servidor XML-RPC do host em execução. A função principal permite que os nós dos clientes se localizem mutuamente. Uma vez que esses nós estejam localizados, eles se comunicam entre si através da rede P2P (*Peer-to-Peer Network*), fornecendo ao servidor de parâmetros um dicionário multivariado compartilhado que é acessível através da API (*Application Programming Interface*) da rede. Os nós usam esse servidor para armazenar e recuperar parâmetros em tempo de execução.

## 5.1 Nó A: Servidor ATIoT

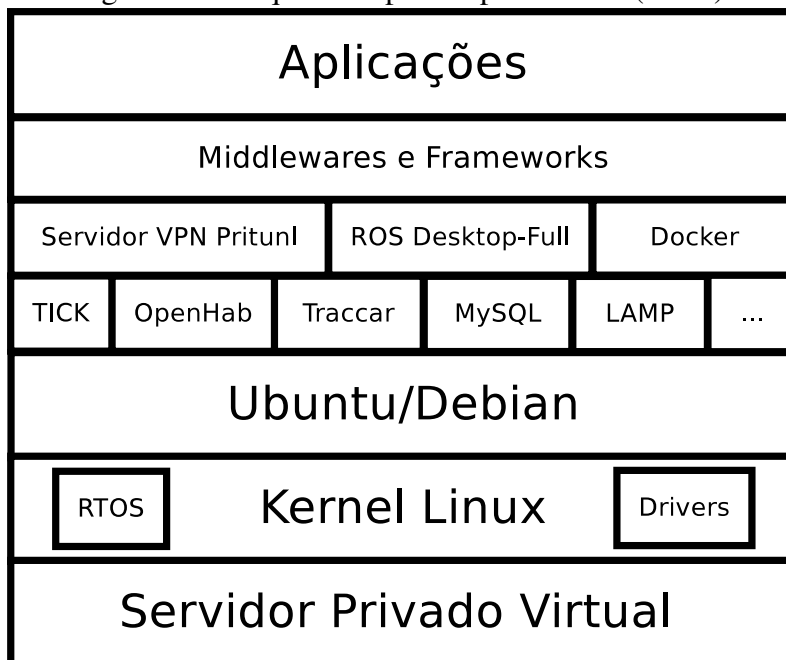
O Nó A é um Servidor Virtual Privado (VPS) centralizado (Figura 34), um servidor com IPv4 público, Sistema Operacional Linux (SO), Ubuntu Server versão 16.04.5 (Xenial), com 2 CPUs, 4 GB de RAM e 80 GB de disco de unidade de estado sólido (SSD), localizado no *data center* em Nova York (URETSKY *et al.*, 2019). A escolha pelo uso do VPS se deve ao bom custo-benefício de um servidor virtual dedicado. O Nó A encontra-se na Camada da *Cloud* da arquitetura ATIoT, porém, a mesma também pode ser instalada e configurada (de forma completa ou reduzida) para a Camada *Fog*.

Logo, um conjunto de *middlewares* e *frameworks* baseados em IoT e robótica foram selecionados, instalados e configurados no Nó A: ROS (*Robot Operating System*) (HASSAN *et al.*, 2007), Printunl (*OpenVPN Server*) (HUFF, 2013), Grafana (ÖDEGAARD, 2018) e *Things Board* (*Data Visualizing and Monitoring*), Traccar (*GPS Tracking*) (TANANAEV, 2012), Mosquitto (*Broker MQTT*) (STANFORD-CLARK; NIPPER, 1999), OpenHAB (*Domotic*) (KREUZER, 2010), Docker (*Containers*), *Stack LAMP* (Linux, Apache, MySQL e PHP) e TICK (Telegraph, InfluxDB, Chronograph e Kapacitador) para análises e monitoramento de métricas (DIX, 2016). A maioria dos *softwares* acima estão instalados nativamente, mas alguns usam a implantação baseada em contêiner (Docker) para facilitar o compartilhamento, aumentar a produtividade, obter padronização e replicação rapidamente entre um aplicativo ou um conjunto de serviços. Do Nó A derivaram-se duas imagens, a primeira para uma Máquina Virtual (MV) e a segunda para um contêiner Docker, os quais podem ser executados em qualquer servidor local ou remoto que contenham um hipervisor para rodar MV ou *Engine Docker* (ED) para os contêiners.

Os principais *middlewares* e *frameworks* instalados e configurados no Nó A (servidor ATIoT) são o Printunl e ROS. Seus pacotes possuem serviços com APIs de desenvolvi-



Figura 34 – Arquitetura parcial para o VPS (Nó A).



Fonte: do autor

mento de componentes para robótica e gerenciamento de *Virtual Private Network* (VPN). O acesso e a administração do Nó A, nesse caso usando o VPS, é remoto, feito através de superusuário por meio do endereço do IPv4 público, usando o protocolo *Secure Shell* (SSH). A Figura 35 mostra o acesso do Nó A via comando *SSH Client* no Linux.

O primeiro software em destaque é chamado Printunl, uma VPN que suporta todos os clientes OpenVPN e possui clientes oficiais para vários dispositivos e plataformas. Internamente contém o Mongo DB (HOROWITZ, 2007) para armazenar e gerenciar suas próprias configurações, feitas a partir de uma interface web simples (Figura 36). O serviço é acessado por HTTP, via navegador web, porta "8443", através do qual podem-se ver registros, criar organizações, adicionar e remover servidores e clientes, com fácil gerenciamento de nós VPN e configurações para fornecer acesso de rede local a usuários remotos, através de conexões públicas com criptografia. Após as configurações, o IPv4 público do Nó A (VPS) torna-se o IPv4 privado "192.168.239.1" do servidor VPN (Printunl), que gerencia e roteia o tráfego dos nós clientes (B e C).

Posteriormente ao criar a organização chamada Nó A no servidor Printunl, dois novos clientes chamados Nó B e Nó C são adicionados ao servidor. Deste modo, o Nó B passa a ter o IPv4 privado "192.168.239.7", e o Nó C o IPv4 privado "192.168.239.5". Cada usuário deve fazer parte de uma organização, ter um nome exclusivo, obter uma chave de perfil (URL ou arquivo .ovpn) e um número de identificação pessoal (PIN), que deve ser inserido no lado dos clientes (Nó B e C) Printunl (ou OpenVPN).

O tráfego dos dados da rede VPN é compartilhado de forma privada, usando recursos de encapsulamento e criptografia para permitir que clientes remotos se conectem à rede

Figura 35 – Acesso ao Nó A usando SSH. Comandos executados para apresentar as versões dos principais serviços instalados para este estudo de caso: Pritunl e ROS.

```
nodeA@atiotserver
carlos@solon-ufrgs: ~$ ssh nodeA@###.###.###.###
nodeA@###.###.###.### 's password:
Welcome to Ubuntu 16.04.5 LTS (GNU/Linux-generic x86_64)

  N o d o A

334 packages can be updated.
0 updates are security updates.

Last login: Wed Dec 05 19:28:53 2018 from ###.###.###.###
nodeA@atiotserver:~$ pritunl version
pritunl v1.29.1804.86
nodeA@atiotserver:~$ rosersion -d
kinetic
```

Fonte: do autor

Figura 36 – Servidor Pritunl (Nó A) para conexão e gerenciamento dos Nós B e C na VPN.

← → ↻ <https://atiot.com.br:8443/#/users>

Dashboard Usuário Servidor Logs Definições Sair

## Servidor Pritunl - Usuários e Organizações

Add Organização Add Usuários Add Usuários em Massa Deletar Seleção

Organização **NodoA**  
IP Privado **192.168.239.1**

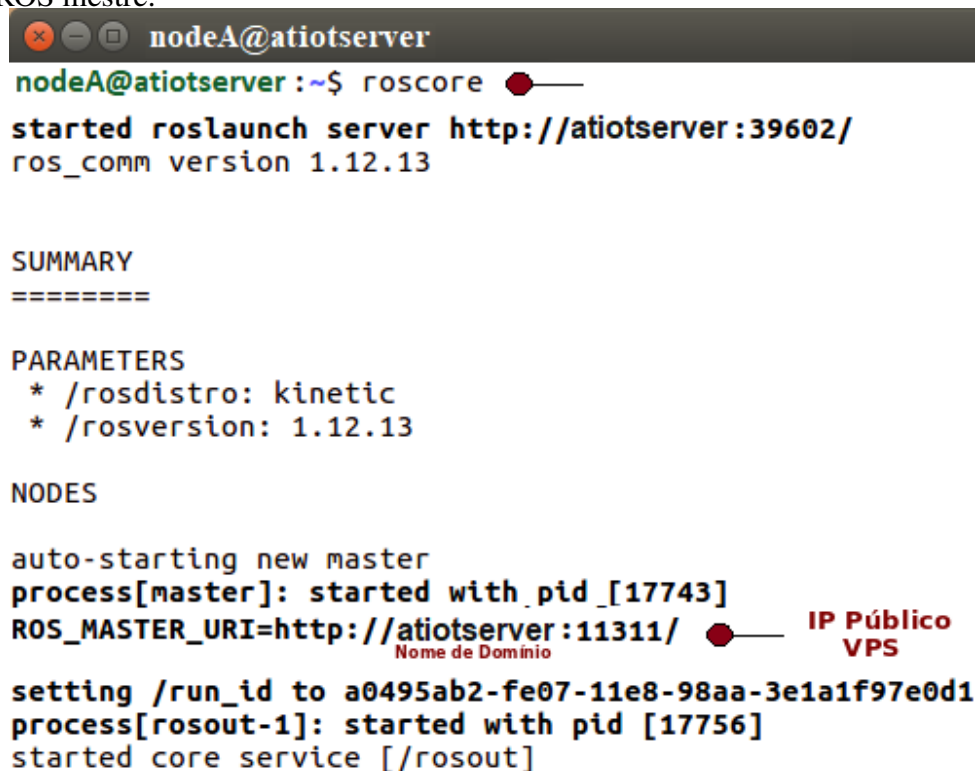
<input type="checkbox"/>	<b>NodoB</b>	<span style="color: green;">●</span> Online	
	autumn-fields-3121	IP Privado <b>192.168.239.7</b>	IP Público <b>###.###.###.###</b> Dec 5
<input type="checkbox"/>	<b>NodoC</b>	<span style="color: green;">●</span> Online	
	restless-plateau-2624	IP Privado <b>192.168.239.5</b>	IP Público <b>###.###.###.###</b> Dec 5

Fonte: do autor

da organização do servidor Pritunl pela Internet. O uso do método VPN no trabalho se autodefine pelas interferências dos nós clientes-servidores sobre *firewalls* ou outras obstruções entre pares de máquinas, caso contrário, uma configuração mais especializada com *Port Forwarding* (PF) no *gateway* ou modem da rede deve ser executada.

O segundo software citado anteriormente é o ROS, um meta-sistema operacional distribuído sob a licença BSD (*open source*). Um elemento central do ROS é o ROS mestre, cuja função é manter o registro central de todos os tópicos e serviços ativos. O comando mais comumente usado para executar o ROS mestre é o "roscore", que carrega o ROS mestre junto com outros componentes essenciais da API ROS. A Figura 37 mostra o comando "roscore" em execução no *shell* do Nó A.

Figura 37 – O comando "roscore" executa o servidor XML-RPC no Nó A, o qual passa a ser o ROS mestre.



```
nodeA@atiotserver
nodeA@atiotserver :~$ roscore
started roslaunch server http://atiotserver:39602/
ros_comm version 1.12.13

SUMMARY
=====

PARAMETERS
* /rostdistro: kinetic
* /rosversion: 1.12.13

NODES

auto-starting new master
process[master]: started with pid [17743]
ROS_MASTER_URI=http://atiotserver:11311/ IP Público VPS
Nome de Domínio
setting /run_id to a0495ab2-fe07-11e8-98aa-3e1a1f97e0d1
process[rosout-1]: started with pid [17756]
started core service [/rosout]
```

Fonte: do autor

O principal objetivo de usar o ROS na arquitetura ATIoT é garantir a alta coesão e o baixo acoplamento entre os dispositivos de software e hardware, além da reutilização de componentes de robótica, que são redirecionados e adaptados para soluções e aplicações em TA, o qual fornece uma estrutura de processos distribuídos (também conhecida como nós) que permite que os executáveis sejam individualmente projetados e fracamente acoplados em tempo de execução. O ROS fornece um primeiro nível de virtualização para todos os recursos da arquitetura ATIoT, desde a abstração do controle de dispositivos de baixo nível da camada de hardware até o gerenciamento de pacotes e comunicação centrada no padrão de *publisher/subscriber* para troca de mensagens entre nós da rede. Além

disso, também fornece bibliotecas (C/C++, Python, Java, etc) e ferramentas para escrever, definir, construir ou executar código através de múltiplos computadores. Em tempo de execução é uma rede P2P de processos usando a infraestrutura de comunicação, que pode ser síncrona ou assíncrona por RPC (COUSINS *et al.*, 2007) ou *Data Distribution System* (DDS) (GERKEY *et al.*, 2015).

O ROS possui um servidor de parâmetros e um dicionário multivariado compartilhado e acessível por meio de API de rede. Os nós usam esse servidor para armazenar e recuperar parâmetros em tempo de execução. Como não é projetado para alto desempenho, é melhor usado para dados estáticos, não binários, como parâmetros de configuração. Destina-se a ser globalmente visível para que as ferramentas possam inspecionar facilmente o estado de configuração do sistema e modificar, se necessário. O Servidor de parâmetros é implementado usando XML-RPC e é executado dentro do ROS mestre, o que significa que sua API é acessível através de bibliotecas XML-RPC.

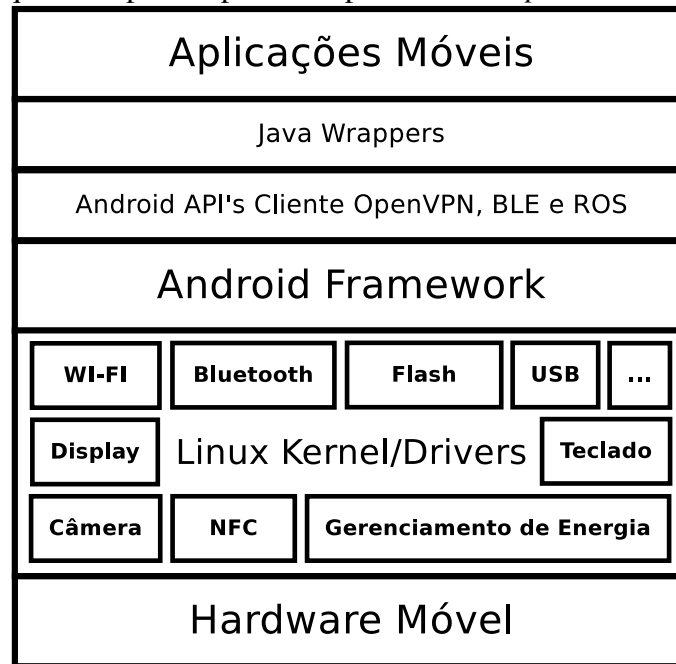
As informações técnicas e instruções do ROS (Wiki) concentram-se nas LANs. Embora forneçam informações úteis, elas não fornecem guias reais para configurações de dispositivos para conexões entre nós remotos. No ROS Wiki "ROS/NetworkSetup" (BHADANI, 2008), a recomendação para conexões remotas e obstruções de rede é usar uma VPN.

## 5.2 Nó B: App ATIoT e Dispositivo *Wearable*

O *smartphone Galaxy J7 Pro* contém um processador *Octa-Core* de 1.6 Ghz, *Bluetooth*, Wi-Fi, entre outros periféricos, o SO é Android 7.0 Nougat (Figura 38). O *smartphone* é operado junto com o DW no Espírito Santo - BRA. Para as operações com o *smartphone* deve-se estar com *Bluetooth* e Wi-Fi habilitados e conectados nas redes WPAN e Internet (WAN). Dois aplicativos móveis chamados *OpenVPN Connect* (YONAN, 2001) e app AW (*ATIoT Wearable*) estão instalados no *smartphone*.

O primeiro aplicativo à esquerda da Figura 39 é o app OVPN, instalado no *smartphone* de um cliente VPN para Android compatível com o Android 4.0 e versões mais recentes. O app OVPN importa o arquivo de perfil (.ovpn) gerado pelo administrador do servidor Pritunl junto com as credenciais do usuário. Posteriormente o usuário do app OVPN pode habilitar o botão "CONNECTED" na interface de usuário para conectar o cliente Nó B a rede privada do servidor Nó A.

O segundo é o app AW, desenvolvido no Android Studio (PAGE; BRIN, 2013) para combinar três bibliotecas chaves e fusão de dois pacotes. A primeira biblioteca é o *Software Development Kit* (SDK) do Android. O Android SDK é um sistema operacional gratuito e de código aberto. Ele é especificamente projetado para uso com dispositivos móveis. A segunda biblioteca, que se refere à API Android BLE (PAGE; BRIN, 2012), a API BLE, oferece serviços de troca de dados sem fio com o módulo HM-10 BLE embar-

Figura 38 – Arquitetura parcial para o dispositivo *smartphone* com Android (Nó B).

Fonte: do autor

Figura 39 – Nó B: app OVPN (à esquerda) e app AW (à direita).

Figura 39 mostra duas capturas de tela de aplicativos em um smartphone (Nó B).

**À esquerda: app OpenVPN**

- Estado: **CONECTADO** (OpenVPN PROFILE NODO B)
- Velocidade: 585B/s
- Gráfico de atividade de rede (BYTES IN/OUT)
- BYTES IN: 101 B/S
- BYTES OUT: 181 B/S
- DURAÇÃO: 00:05:40
- USUÁRIO: YVES/UFES
- NODO B IP PRIVADO: 192.168.239.7
- NODO A IP PÚBLICO: ###.###.###.###
- PORTA: 19342
- PROTOCOLO: UDPv4

**À direita: app AT IOT ARCH**

- 1 **Nodo B - Dados DW & BLE**
- CONECTAR / DESCONECTAR
- ESTADO: CONECTADO COM DW
- ENDEREÇO DW: 88:C2:55:12:37:A0
- DATA: 2018-12-05 HORA: 19:38:55.746
- RSSI: -79
- DISTÂNCIA(cm): 316.227783203125
- HAR: 5.0
- MAD: 44.0
- 2 **Nodo A - ROS Mestre**
- Mestre URI: |<http://###.###.###.###:11311/>|
- CONECTAR / DESCONECTAR
- ESTADO: CONECTADO COM NODO A
- NODO B CRIA TÓPICO "wearable" E PUBLICA OS DADOS CONCATENADOS COMO STRING:
- mac@timestamp@rssi@dist@har@mad

Fonte: do autor

cado no DW. A terceira biblioteca usa o ROS Java, uma biblioteca cliente que permite a comunicação do ROS em Java (cliente XML-RPC). É uma implementação completa do Java em ROS puro com suporte ao Android (WYROBEK *et al.*, 2010),

Os pacotes utilizados são: "android\_core" e "android\_BLE". O primeiro fornece uma coleção de serviços (ROS Java), entre eles, *publisher* e *subscriber* (KOHLENER, 2013). O segundo pacote é um app BLE (PAGE; BRIN, 2012). Com as combinações dos pacotes e bibliotecas, um novo pacote foi criado e compilado via *Gradle* no Android Studio para gerar o *Android Application Pack* (APK), chamado App AW (ATIoT *Wearable*).

O app AW foi desenvolvido para fazer a descoberta e o emparelhamento do módulo DW, através do módulo HM-10 (BLE 4.0), com o *smartphone*, após a conexão entre os módulos via WPAN inicia-se a transmissão de dados do DW para o *smartphone* a cada um ciclo por segundo (1Hz).

Os dados enviados do DW ao *smartphone* são referentes ao HAR e *Mean Absolute Deviation* (MAD). Os outros dados, como o endereço de Controle de Acesso à Mídia (MAC), data e hora (*timestamp*) do dado recebido, Indicação de Força de Sinal Recebida (RSSI) e distância entre o DW com *smartphone* usando a intensidade do RSSI, são gerados pelo módulo HM-10, em conjunto com a API Android BLE no app AW.

Assim que os dados começam a trafegar entre o DW e o app AW por WPAN (Nó B), o próximo passo é habilitar a rede Wi-Fi do *smarthphone* e conectar em uma rede com acesso a internet (WAN), para retransmitir os dados recebidos do DW junto com os dados gerados pelo app AW através da API BLE e Android ROS Java. Na interface gráfica de usuário do app AW é fornecida a variável de ambiente "ROS\_MASTER\_URI", cujo parâmetro deve ser o IPv4 público do VPS (Nó A) e porta 11311 para encaminhar os dados via HTTP. Esta configuração informa ao Nó B, onde ele pode localizar o Nó A ou ROS mestre (servidor XML-RPC).

Conectar o Nó B (cliente) com o Nó A (servidor) via XML-RPC através do app AW executa sucessivas tentativas de acesso e inscrição ao servidor ROS mestre. Se for bem-sucedido, o objeto desenvolvido e contido na classe "Talker.java" (ROS Java) do app AW criará um tópico chamado "wearable" no ROS mestre e começará a publicar (talker) as mensagens a cada um ciclo por segundo (1Hz). As mensagens carregam o *payload* com todas as informações dos dados gerados pelo Nó B (DW e app AW) concatenados com o carácter "@" usado como um delimitador. No total, seis dados são concatenados e publicados (talker) como uma única mensagem do tipo "String" com o seguinte padrão: "mac@timestamp@rssi@dist@har@mad". A seguir, uma especificação mais detalhada do padrão de mensagens:

- **Endereço MAC:** o endereço MAC em questão é o endereço físico associado à interface de comunicação do módulo HM-10 (BLE), que conecta o DW à WPAN. É usado para identificação e controle de acesso do DW na rede.

- **Timestamp:** cadeia de caracteres denotando a data e hora que o evento ocorreu. O evento é referente ao recebimento dos dados HAR e MAD do DW no app AW. A cadeia é apresentada num formato consistente, padronizado pela Organização Internacional para Padronização (ISO) através da ISO 8601.
- **RSSI:** é a medida da potência presente no sinal de rádio recebido (BLE). O uso da RSSI serve para estimação da distância entre o DW e *smartphone*, porém, o método é impreciso, uma vez que uma pequena variação no valor medido causa um grande desvio no valor da distância calculada em relação à real.
- **Distância:** estimação de distância em centímetros através do sinal de potência dos dispositivos BLE. Estima-se a distância entre os dispositivos através da multiplicação deste tempo pela velocidade de propagação da onda. Realiza-se o processo de estimativa ao longo de diferentes intervalos, a fim de manter atualizado a distância estimada. O modelo padrão utilizado para o desvanecimento da potência das antenas sem controle de direção, ou conhecimento de ganho da antena, é o *Log Distance Path Loss Model* (LDPLM).
- **HAR:** dados referentes à inteligência computacional que faz classificação de movimentos humanos. Os dados são coletados através de sensores presentes no DW, com suas características extraídas pela análise de componentes principais e classificadas através de redes neurais com o método de perceptron de múltiplas camadas.
- **MAD:** dado referente ao classificador neural que calcula o nível de intensidade da atividade com base no MAD (desvio médio absoluto), que proporciona uma noção da variabilidade no conjunto de dados.

O nó que desejar consumir (*subscriber/listener*) o tópico "*wearable*", precisa somente decodificar a mensagem com um método ou objeto que separe uma *String*; conforme o delimitador definido ("@").

### 5.2.1 Estudo de Caso: Dispositivo *Wearable* - Sistema Remoto de Reconhecimento de Atividades Humanas e de Monitoramento para Idosos

Essa seção apresenta um trabalho descendente de uma Dissertação de Mestrado desenvolvida no PPGEE da UFES (COELHO, 2017). Um dispositivo vestível foi desenvolvido para monitoramento das atividades praticadas pelo usuário. O dispositivo é composto, basicamente, por um acelerômetro digital de três eixos, um módulo de comunicação *Bluetooth Low-Energy* (BLE) e um microcontrolador. O protótipo montado é constituído pela

placa desenvolvida com microcontrolador, acelerômetro, módulo bluetooth e bateria. O dispositivo vestível é utilizado com o suporte de uma fita ajustável, na altura da cintura, como mostra a Figura 40.

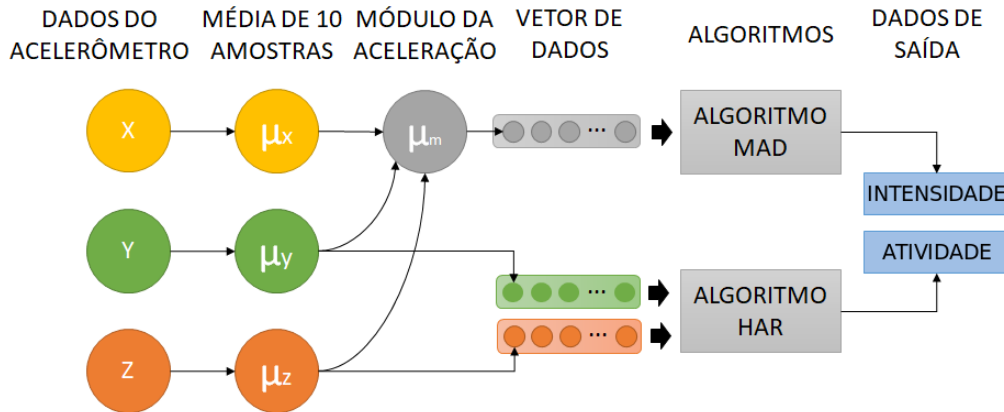
Figura 40 – DW para reconhecimento de atividades humanas aplicado a idosos.



Fonte: COELHO, 2017.

O *firmware* embarcado no dispositivo vestível tem como função o reconhecimento da atividade realizada pelo usuário, com base em um classificador inteligente, e o cálculo do nível de intensidade da atividade, utilizando como parâmetro o desvio médio absoluto das medidas (MAD). A Figura 41 ilustra a estrutura do *firmware*. Cada amostra coletada dos eixos x, y e z do acelerômetro é amostrada a 100 Hz. O *firmware* calcula a média aritmética sobre 10 amostras e salva o valor no respectivo vetor de dados dos eixos y e z. O módulo da aceleração também é calculado e armazenado no seu respectivo vetor de dados, o que compreende dois segundos de dados, ou 20 amostras processadas. A cada segundo, ou 10 amostras processadas, o *firmware* executa os algoritmos HAR e MAD, os quais recebem como entrada os vetores de dados e têm como saída a classe da atividade reconhecida e a intensidade da atividade. Os resultados são transmitidos via Bluetooth para o *smartphone*.



Figura 41 – Diagrama de blocos do *firmware*.

Fonte: COELHO, 2017.

### 5.2.2 Reconhecimento de Atividades Humanas (HAR)

O algoritmo inteligente embarcado é capaz de identificar seis diferentes atividades do cotidiano do usuário: "andando", "correndo", "subindo escada", "descendo escada", "em pé" e "sentado". Esta seção descreve o processo de reconhecimento de atividades desenvolvido.

**Aquisição** - Foram usados dados dos eixos longitudinal (eixo y do acelerômetro) e sagital (eixo z do acelerômetro) do corpo humano.

**Segmentação** - Recorte de uma janela de dois segundos de dados, totalizando 20 amostras, com sobreposição de 50%, ou seja, de um segundo. O vetor  $w_e$  (Equação 1) representa o conjunto de dados do eixo  $e$  (y ou z), após a segmentação.

$$w_e = [a_{e,1}, a_{e,2}, \dots, a_{e,20}] \quad (1)$$

**Extração de características** - Os seguintes parâmetros do domínio do tempo são extraídos da janela segmentada para caracterizar esta porção de dados: a média  $\mu$  (Equação 2), o desvio padrão  $\sigma$  (Equação 3), a mediana  $\tilde{a}$ , a faixa do sinal  $r$  (Equação 4) e a área do módulo do sinal  $SMA$  (Equação 5) do eixo  $e$ , sendo  $m$  cada amostra coletada da janela segmentada. O modelo (Equação 6) apresenta o vetor de características  $\mathbf{v}$  formado pelos parâmetros extraídos dos dados dos eixos y e z do acelerômetro.

$$\mu_e = 1/20 \sum_{m=1}^{20} a_{e,m} \quad (2)$$

$$\sigma_e = \sqrt{1/20 \sum_{m=1}^{20} (a_m - \mu_e)^2} \quad (3)$$

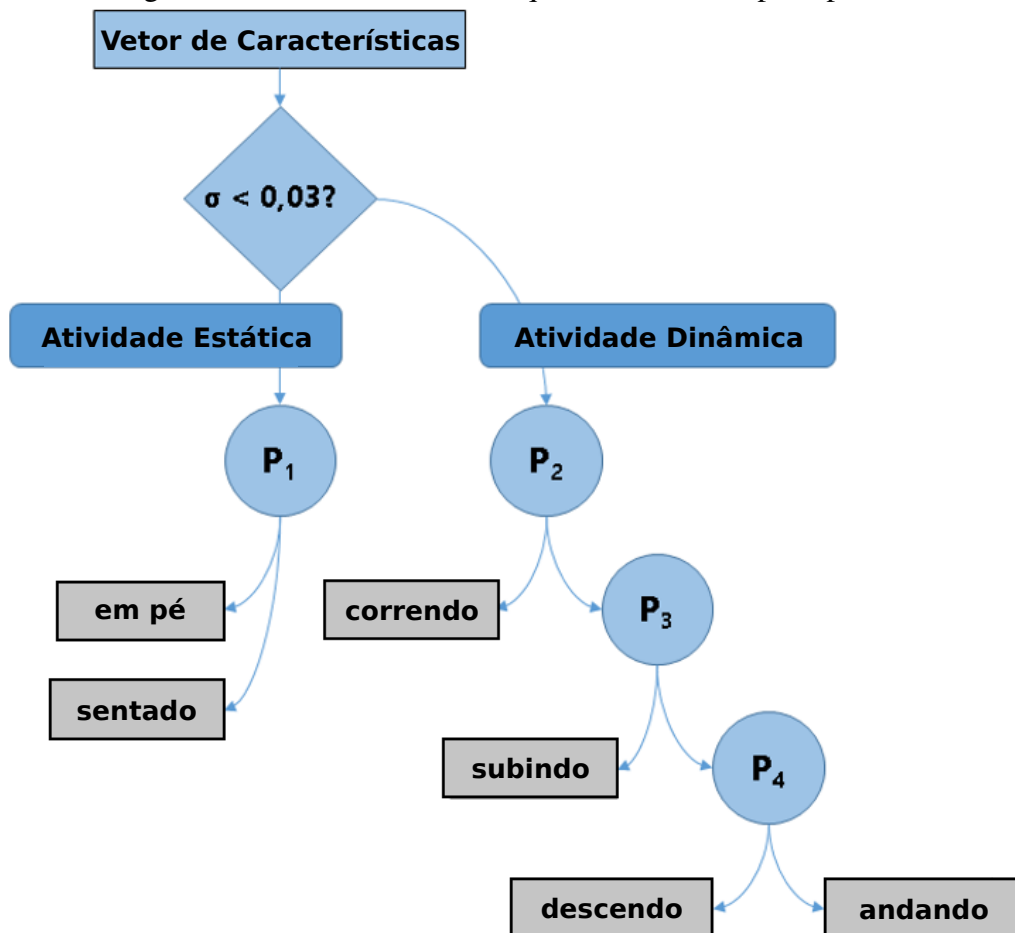
$$r_e = \max(w_e) - \min(w_e) \quad (4)$$

$$sma_e = 1/20 \sum_{m=1}^{20} |a_{e,m}| \quad (5)$$

$$\mathbf{v} = [\mu_y, \mu_z, \sigma_y, \sigma_z, \tilde{a}_y, \tilde{a}_z, r_y, r_z, sma_y, sma_z] \quad (6)$$

Classificação - Aplicou-se o Perceptron, sequencialmente, separando-se uma atividade das outras, e excluindo a atividade que já foi classificada, formando um classificador hierárquico. Para cada Perceptron definiram-se os melhores atributos utilizando a técnica *Sequential Backward Elimination* (SBE). A Figura 42 apresenta a configuração do classificador implementado, denominado Hierarquia de Perceptrons (HP), com os quatro Perceptrons utilizados em sua construção: P1, P2, P3 e P4. Inicialmente, aplica-se uma regra de decisão com base no desvio padrão normalizado do eixo longitudinal (eixo y), para separar entre as atividades estáticas e dinâmicas.

Figura 42 – Classificador hierárquico baseado em perceptrons.



Fonte: COELHO, 2017.

### 5.2.3 Monitoramento de Intensidade da Atividade

Quanto maior a intensidade de uma atividade, maior será o MAD dos dados em relação a um valor médio (COELHO, 2017). Portanto, buscando medir o nível da intensidade das atividades praticadas por um indivíduo, implementou-se um algoritmo para calcular o MAD do sinal do acelerômetro capturado pelo dispositivo vestível. Primeiramente,

calcula-se o módulo da aceleração nos três eixos (Equação 7) a cada 100 ms, formando-se uma janela de 10 amostras para cálculo do MAD (Equação 8) a cada 1 segundo.

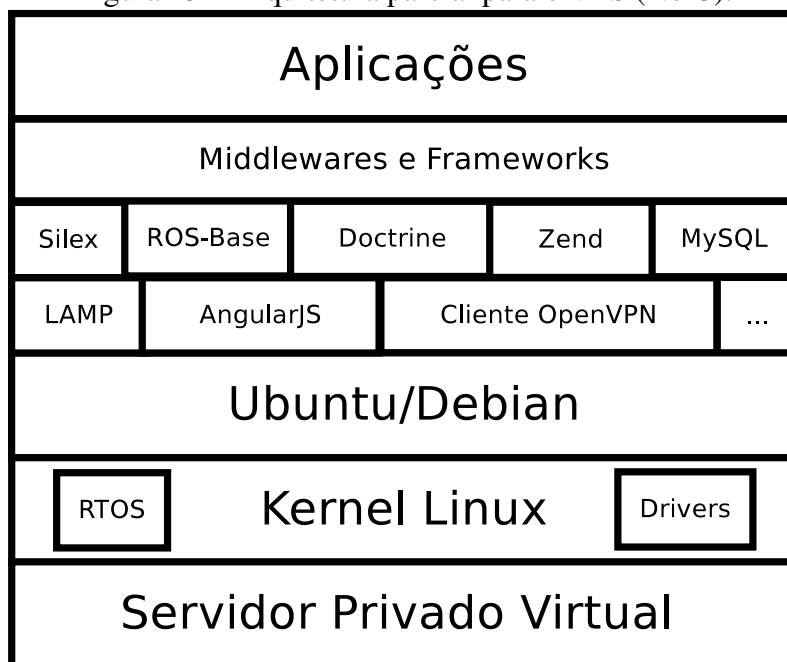
$$a_{mag} = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \quad (7)$$

$$MAD = \frac{1}{10} \sum_{m=1}^{10} \|a_{mag}\| \mu_{a_{mag}} \quad (8)$$

### 5.3 Nó C: Cliente-Servidor Web de Monitoramento

O Nó C é outro VPS (Figura 43), um cliente-servidor descentralizado que consome os dados do DW (Nó B) através do servidor Nó A (centralizado) para monitoramento dos dados. Este VPS é dotado de 2 CPU, 2 GB de RAM e 60 GB de Solid State Drive (SSD), localizado no *data center* em São Paulo-BR (BEZOS, 2018).

Figura 43 – Arquitetura parcial para o VPS (Nó C).

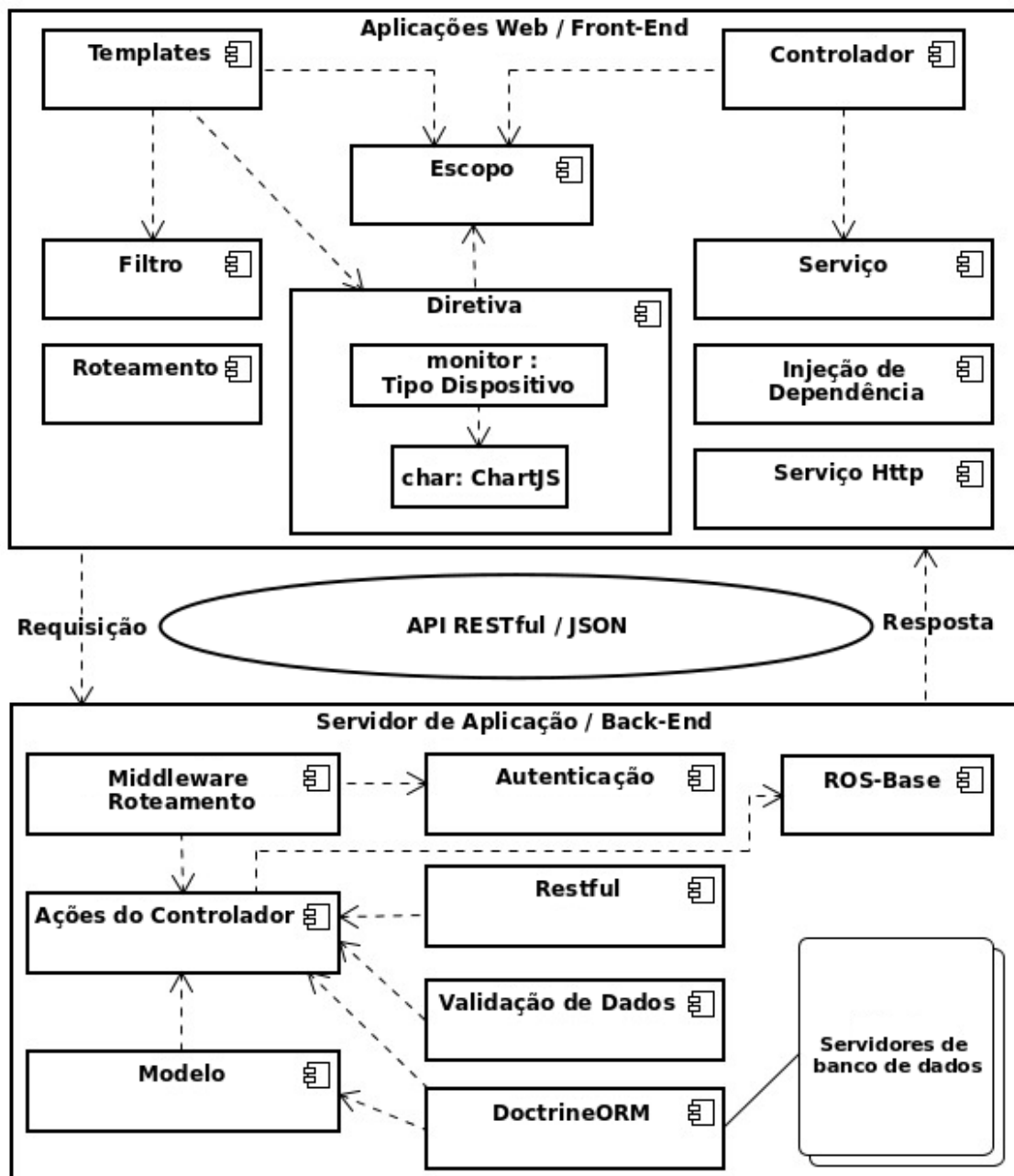


Fonte: do autor

Sabendo-se da possibilidade de integração com uma grande diversidade de dispositivos, uma das premissas aplicadas no desenvolvimento do sistema é que deve ser de fácil extensibilidade e evolução. Para isso, este foi dividido em duas grandes camadas: uma de *back-end* e outra para *front-end*, Figura 44.

Ambas as camadas são conectadas por meio da API *Representational State Transfer* (REST) (FIELDING, 2000), permitindo a integração de dados distribuídos de forma mais flexível. A infraestrutura do VPS do Nó C também contém *frameworks* e *middlewares* usados para o desenvolvimento do *back-end* e o *front-end*, entre os quais o ROS-Base

Figura 44 – Modelo do back-end e front-end web usado para construção do sistema Web de monitoramento do DW.

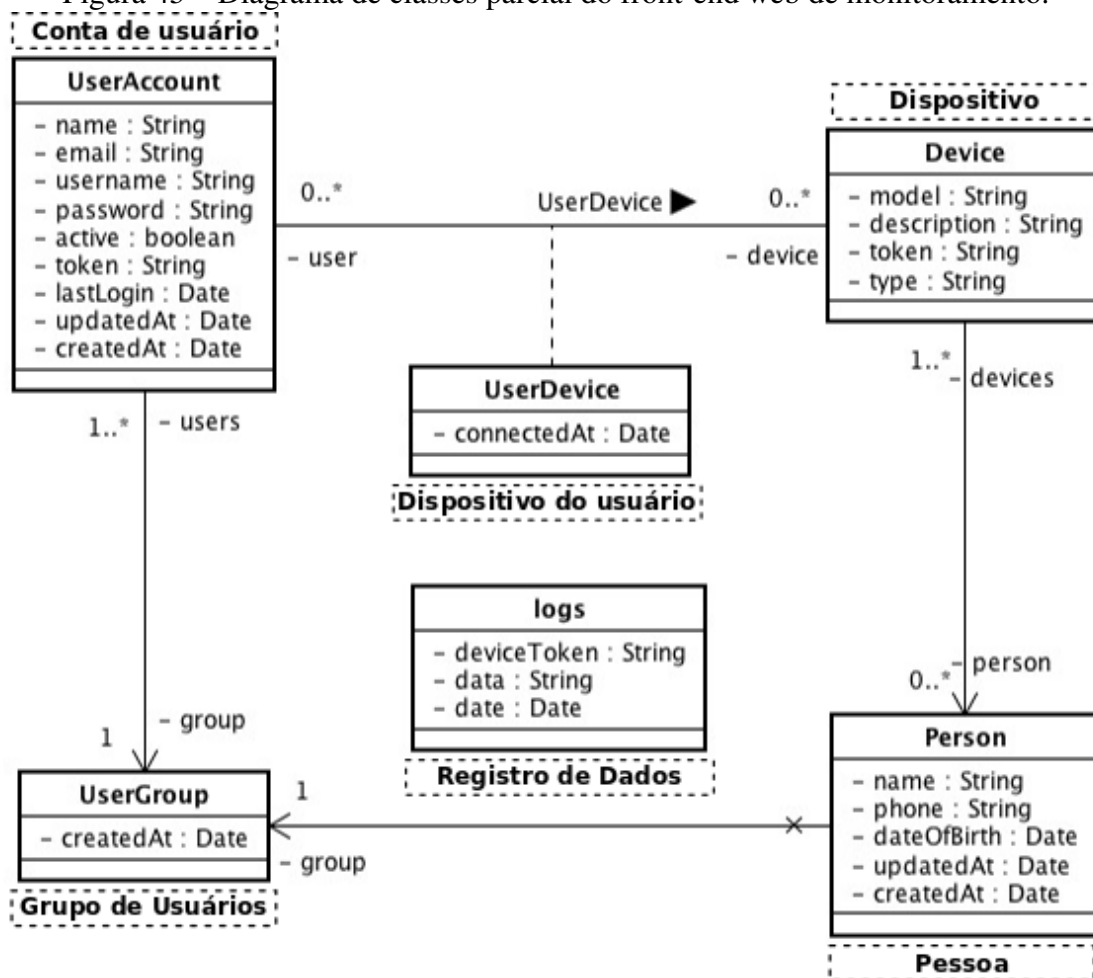


Fonte: do autor

(Bare Bones), uma versão reduzida do ROS com suporte a bibliotecas de pacotes variados, *build* e protocolos de comunicação necessários para as interações com o servidor XML-RPC do ROS mestre. O Nó C é o responsável por subscrever (listener) os tópicos criados pelo Nó B no Nó A e entregar para o componente "Controller Action", que junto com outros componentes e ferramentas *full-stack* são usadas para construção do sistema de monitoramento remoto dos dados enviados pelo DW através do app AW.

A camada de *back-end* foi desenvolvida com a linguagem de programação *Hypertext Preprocessor* (PHP), fazendo uso da micro-estrutura *Silex* (POTENCIER; WIEDLER, 2010) para criação de roteamento de *middleware*, autenticação, injeção de dependência e serviços RESTful. As bibliotecas do *Zend Framework* (GUTMANS; SURASKI, 2005) foram usadas na validação e filtragem de dados. Para a persistência de dados, a biblioteca *Doctrine* (VESTERINEN, 2018) foi utilizado para implementar o ORM (*Object Relational Mapping*), mediador entre o sistema de arquitetura orientado a objeto e o ambiente relacional fornecido pelo Sistema de Gerenciamento de Base de Dados (SGBD) via MySQL (MICKOS *et al.*, 1995) e implementado através do diagrama de classes (Figura 45).

Figura 45 – Diagrama de classes parcial do front-end web de monitoramento.



A camada *front-end* é desenvolvida sob o conceito de aplicativo de página única (*single-page application*), com o objetivo de fornecer uma experiência de navegação semelhante aos aplicativos de desktop. Para facilitar seu desenvolvimento, foram utilizados *frameworks* e *middlewares*, a destacar o *JavaScript* Angular (AngularJS) (HEVERY; ABRONS, 2009). O AngularJS fornece o roteamento de solicitação de interface, renderização de modelo HTML, solicitações "XMLHttpRequest" para acessar as APIs fornecidas pelo *back-end* e também implementa técnicas de *Javascript* assíncrono e XML (Ajax).

O acesso e administração do VPS Nó C é remoto feito através de superusuário por meio do endereço do IPv4 público, usando o protocolo SSH. A Figura 46 mostra o acesso do Nó C via comando SSH *Client* no Linux. Para a devida conexão, o cliente OpenVPN deve ser configurado e executado no Nó C; ele também deve importar e executar o arquivo de perfil (*profile*) "OVPN" (".ovpn") gerado pelo administrador do servidor Printunl (Nó A), bem como inserir credenciais para este usuário para inicializar o aplicativo e se conectar à rede VPN.

Existem muitas variáveis de ambiente que podem definir ou afetar o comportamento do ROS (WILLEY, 2007). Destes, um dos mais importantes para entender no escopo deste trabalho é "ROS\_MASTER\_URI", uma importante variável de ambiente que informa a um nó cliente onde está o servidor ROS mestre (Nó A). O parâmetro configurado e o comando executado podem ser visualizados na Figura 46.

A variável de ambiente "ROS\_MASTER\_URI" recebe como parâmetro o IPv4 público do Nó A, na porta 11311. Esse parâmetro informa ao Nó C onde está o servidor XML-RPC (ROS mestre - Nó A). Os próximos comandos exibem informações sobre tópicos ativos no ROS mestre e inicializam o arquivo "listener.py" (Python) que subscreve o tópico "wearable" a cada ciclo por segundo (1Hz). Os dados da validação estão em um log de dados que descreve os eventos das interações entre os nós do sistema. Os dados foram coletados no dia 5 de dezembro de 2018, durante um período de 10 minutos, começando as "19:30:58.78" até as "19:40:33.328"). Por razões de espaçamento, a Figura 46 apresenta apenas os três últimos dados coletados de uma janela de 15 segundos, selecionados de acordo com a taxa de acertos da validação do experimento.

Em suma, o app AW faz uso da biblioteca *Broadcast Receivers* (Android-Java). Esse componente é responsável por receber e tratar os eventos (ou broadcasts) provenientes do DW via WPAN e os eventos recebidos são referentes aos dados HAR e MAD do DW. Para cada evento recebido pelo app AW é gerado um registro de data e hora (*timestamp* - Nó B), posteriormente, o app AW se encarrega de gerar os demais dados e concatenar todos em uma única "String" (*payload*), a qual é enviada para o servidor Nó A via WAN. A Tabela 4, por uma questão de espaço, apresentará somente alguns dos dados do *payload* registrado. O *payload* completo do app AW é publicado pela classe "Talker.java" como uma mensagem do tipo "String" no tópico "wearable" do servidor, Nó A. O Nó C, por

Figura 46 – Ambiente do terminal shell do Nó C para acesso e gerenciamento da máquina do VPS. Os três últimos dados coletados de uma janela de 15 segundos são apresentados no final do terminal.

```

nodeC@atiotclient
carlos@solon-ufrgs:~$ ssh nodeC@###.###.###.###
nodeC@###.###.###.###'s password:
Welcome to Ubuntu 16.04.5 LTS (GNU/Linux-generic x86 64)

      _ _ _
     | | | |
    | |_|_|
    |_|_|_|

213 packages can be updated.
0 updates are security updates.

Last login: Wed Dec 05 19:37:33 2018 from
nodeC@client:~$ sudo openvpn client.ovpn
nodeC@client:~$ export ROS_MASTER_URI=http://###.###.###.###:11311
nodeC@client:~/rospy_atiot$ rostopic list
/Wearable
/rosout
/rosout_agg
nodeC@client:~/rospy_atiot$ python listener.py
Node C -> 05/12/2018 19:38:52.257 Timestamp para Payload Recebido
Node B -> 88:C2:55:12:37:A0@2018-12-05 19:38:53.743@-76@223.872116088867@5.0@48.0 Payload
Node C -> 05/12/2018 19:38:53.279
Node B -> 88:C2:55:12:37:A0@2018-12-05 19:38:54.745@-71@125.892547607421@5.0@44.0
Node C -> 05/12/2018 19:38:54.311
Node B -> 88:C2:55:12:37:A0@2018-12-05 19:38:55.746@-79@316.227783203125@5.0@30.0

```

Fonte: do autor

Tabela 4 – Tabela com dados: registros de data e hora, HAR, MAD e a diferença entre os Nós C e B. Os relógios foram sincronizados usando *Network Time Protocol* ou Protocolo de Tempo para Redes.

Segundos	Nó C Timestamp	Nó B Timestamp	HAR	MAD	$x_i$ ( $N_C - N_B$ )
1	19:38:40.276	19:38:41.726	3.0	12.0	1,45
2	19:38:41.202	19:38:42.728	3.0	13.0	1,526
3	19:38:42.221	19:38:43.729	3.0	14.0	1,508
4	19:38:43.246	19:38:44.730	3.0	15.0	1,484
5	19:38:44.278	19:38:45.732	3.0	16.0	1,454
6	19:38:45.396	19:38:46.733	3.0	19.0	1,337
7	19:38:46.216	19:38:47.735	3.0	38.0	1,519
8	19:38:47.242	19:38:48.736	5.0	51.0	1,494
9	19:38:48.266	19:38:49.738	5.0	49.0	1,472
10	19:38:49.390	19:38:50.739	5.0	53.0	1,349
11	19:38:50.310	19:38:51.740	5.0	51.0	1,43
12	19:38:51.442	19:38:52.742	5.0	50.0	1,3
13	19:38:52.257	19:38:53.743	5.0	48.0	1,486
14	19:38:53.279	19:38:54.745	5.0	44.0	1,466
15	19:38:54.311	19:38:55.746	5.0	30.0	1,435

sua vez, subscreve (*listener.py*) continuamente o tópico ”wearable”. Para cada retorno de *payload* recebido pelo Nó C (*callback*) é gerado um registro de data e hora (*timestamp* - Nó C).

O tamanho da janela selecionada é de 15 segundos de amostras. De acordo com o período selecionado, N é o número total de amostras e  $x_i$  é a diferença entre os registros dos *timestamps*, data e hora ( $Node_C - Node_B$ ), onde  $i = 1$ . A média é a soma dos resultados dos valores  $x_i$  divididos pelo número total de N.

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (9)$$

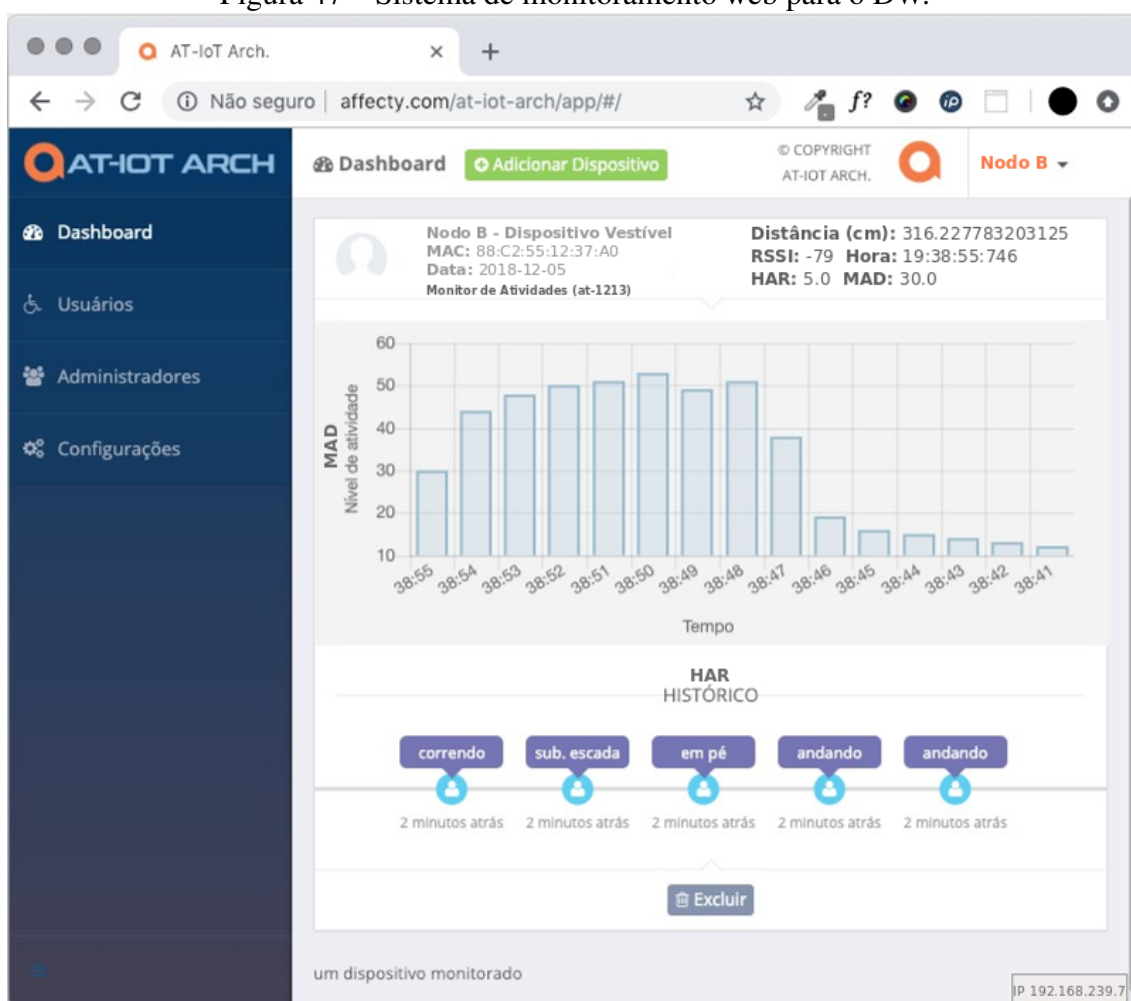
$$\bar{x} = 1,447s \quad (10)$$

Fazendo-se uma breve análise dos *timestamps* gerados pelos Nós B e C utilizando a média da medida de variação do atraso entre os sucessivos pacotes de dados trocados, pode-se concluir que conforme a Tabela 4 e o cálculo (Equação 9), o resultado da média é de 1,447 segundos (Equação 10), ou seja, o Nó C subscreve as mensagens do tópico ”wearable” enviado pelo Nó B em torno de 1,447 segundos. Um método *split* quebra



a *String* para separar as informações para enviar ao *front-end* Web de monitoramento (Figura 47). Ressaltando-se que o *payload* é a mensagem publicada pelo app AW (Nó B) a cada 1Hz no tópico *wearable* do servidor ROS mestre (Nó A), tópico esse, subscrito continuamente pelo Nó C.

Figura 47 – Sistema de monitoramento web para o DW.

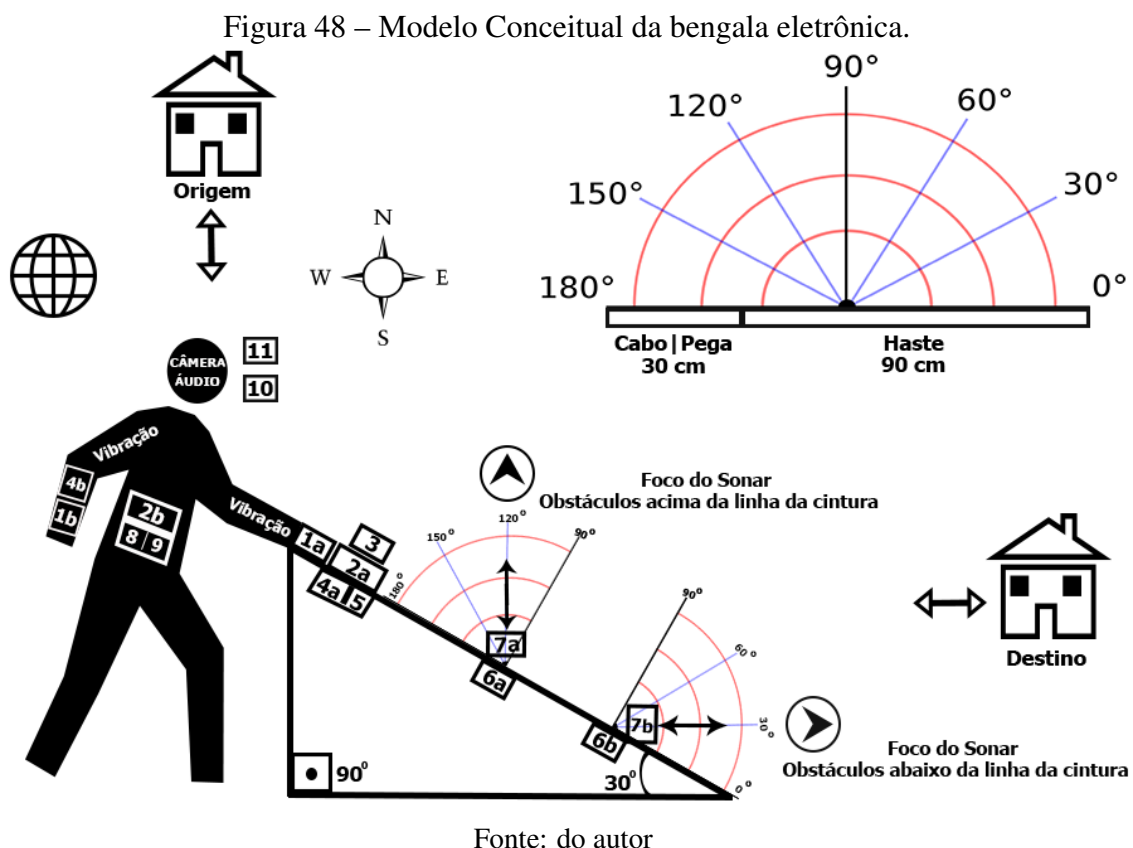


Fonte: do autor

Os *payloads* recebidos pelo Nó C são registrados em log de dados, armazenados em banco de dados e plotados no painel do *front-end* Web para o monitoramento do DW. O gráfico apresenta a janela de 15 segundos de dados coletados amostrados em tempo de execução. Na interface do *front-end* Web pode-se observar o gráfico de barras, o qual mostra o crescimento da intensidade da atividade (MAD), com base no desvio médio absoluto, quando o usuário iniciou a corrida. Na parte mais inferior da interface Web a linha do tempo representa as últimas atividades realizadas de acordo com a classificação *online* do DW (HAR). Observam-se alguns erros de classificação de acordo com o desempenho do classificador conforme as transições entre as atividades, no entanto, os erros estão dentro do esperado.

## 5.4 Bengala Eletrônica Inteligente

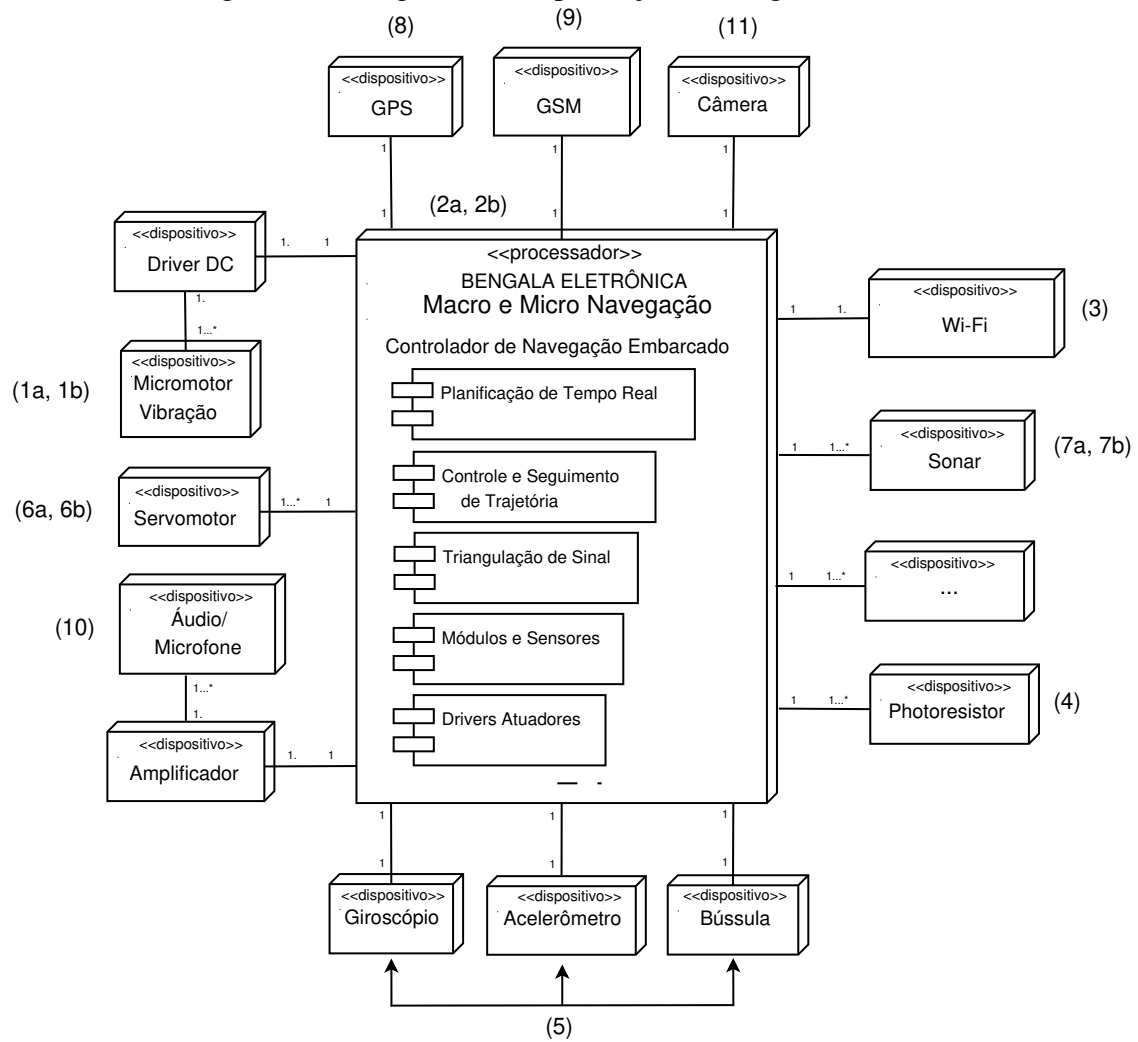
Aqui, propõe-se o desenvolvimento de uma Bengala Eletrônica Inteligente (BEI), um sistema eletrônico de apoio à orientação e mobilidade com *feedbacks* de tato e áudio para deficientes visuais. Existem muitas configurações que podem ser definidas, portanto, para a proposta inicial, foi definido um modelo conceitual apresentado na Figura 48.



Este estudo de caso descreve parcialmente o projeto da BEI que consistirá em um sistema embarcado de hardware e software. A mesma deverá estar integrada aos ecossistemas e interagir com serviços de telemetria e telecontrole aplicados na macro e micro navegação de pessoas com deficiências visuais. Nesse modelo conceitual, o sistema embarcado referente à micro navegação é embarcado na BEI, enquanto que à macro navegação é adaptada no corpo do usuário através de sistemas *wearables* ou *Smartphones* conectados à BEI, retirando-se assim, um pouco do peso dos componentes embarcados na TA, dividindo-se os periféricos e processamento. A Figura 49 apresenta o diagrama parcial de implantação do protótipo da BEI.

Com a BEI, afim de distinguir os obstáculos acima e abaixo da linha da cintura, as marcações 1a e 1b indicam o uso de micromotores para informar o usuário através de vibrações, quando existem obstáculos. Para obstáculos abaixo da linha da cintura é acionado o micromotor referente à marcação 1a, localizado no cabo ou pega da BEI. Assim, quando um obstáculo é detectado acima da linha da cintura do usuário, o microcontro-

Figura 49 – Diagrama de implantação da bengala eletrônica.



Fonte: do autor

lador transmite um sinal através de um módulo de Radiofrequência (RF). O receptor de RF faz operar o micromotor de vibração 1*b*, avisando o usuário antecipadamente sobre a presença de obstáculos nessa região conforme o nível de vibração. O protótipo do HW eletrônico é composto também por 2*a* e 2*b*, que são os microcontroladores (MCU) ou *System On Chip* (SOC). A marcação 3 é o sensor de luz, 4*a* e 4*b*, são módulos de RF.

A marcação relacionada ao número 5, são sensores que retornam dados inerciais usados para ajustar os focos de leitura dos sensores ultrassônicos em ângulos retos, 6*a* e 6*b*, servomotores 7*a* e 7*b*, são os responsáveis em ajustar os ângulos. Esses sensores e atuadores devem ser inseridos na haste da BEI, através de um modelo analítico trigonométrico para determinar os melhores pontos utilizando as relações geométricas de inclinação (ângulo) da BEI no solo e dos sensores ultrassônicos na haste, através dessas informações, pode-se determinar as melhores relações entre bengala-objeto. A marcação de número 8, representa o módulo receptor *Global Positioning System* (GPS), responsável pelo sistema de posicionamento global para o rastreamento das BEI, já a marcação 9, representa o módulo *Global System for Mobile Communications* (GSM) ou WiFi para acesso à rede sem fio para comunicar com o servidor de aplicação da arquitetura ATIoT. A marcação 10 refere-se ao reconhecimento de voz e sintetizador de áudio para interações com as pessoas com deficiência visual e, por fim, marcação 11, representa a câmera para um futuro processamento de imagens.

A Figura 50, apresenta a concepção da atual modelagem CAD do desenho 3D do projeto BEI.

A arquitetura deve disponibilizar funcionalidades referente ao perfil de cada usuário. A seguir, o desenvolvimento parcial de um novo estudo de caso para deficientes visuais permite acessar todas às informações referentes a TA. Na área de relatório podem ser geradas estatísticas referentes à quantidade de dispositivos disponíveis por cidades, ou gerar relatórios detalhados sobre sensores e atuadores do sistema embarcado em uma bengala eletrônica.

Cada usuário utilizador do sistema será portador de um identificador, os serviços serão selecionados conforme os agentes de software de acessibilidade do usuário cadastrado. O sistema deve oferecer serviços especializados para as TA, com cenários de aplicações (*indoor/outdoor*).

A Figura 51 apresenta o protótipo do *front-end* Web com interface para localização *outdoor*, fazendo-se uso de módulos GPS e/ou GSM/GPRS para o rastreamento do deficiente visual e sua bengala eletrônica.

Os Sistemas de Informação Geográfica (ou *Geographic Information System* - GIS) são um conjunto de ferramentas computacionais, responsáveis por integrar dados, pessoas e instituições, tornando possível a coleta, o armazenamento, o processamento, a análise e a disponibilização de dados georreferenciados sobre o mundo real.

Analogamente, há a existência dos ambientes *indoor*, no interior das construções,

Figura 50 – Protótipo da bengala eletrônica inteligente.



Fonte: do autor

Figura 51 – Protótipo para serviço de localização de TA para macro-escala (*outdoor*).



Fonte: do autor

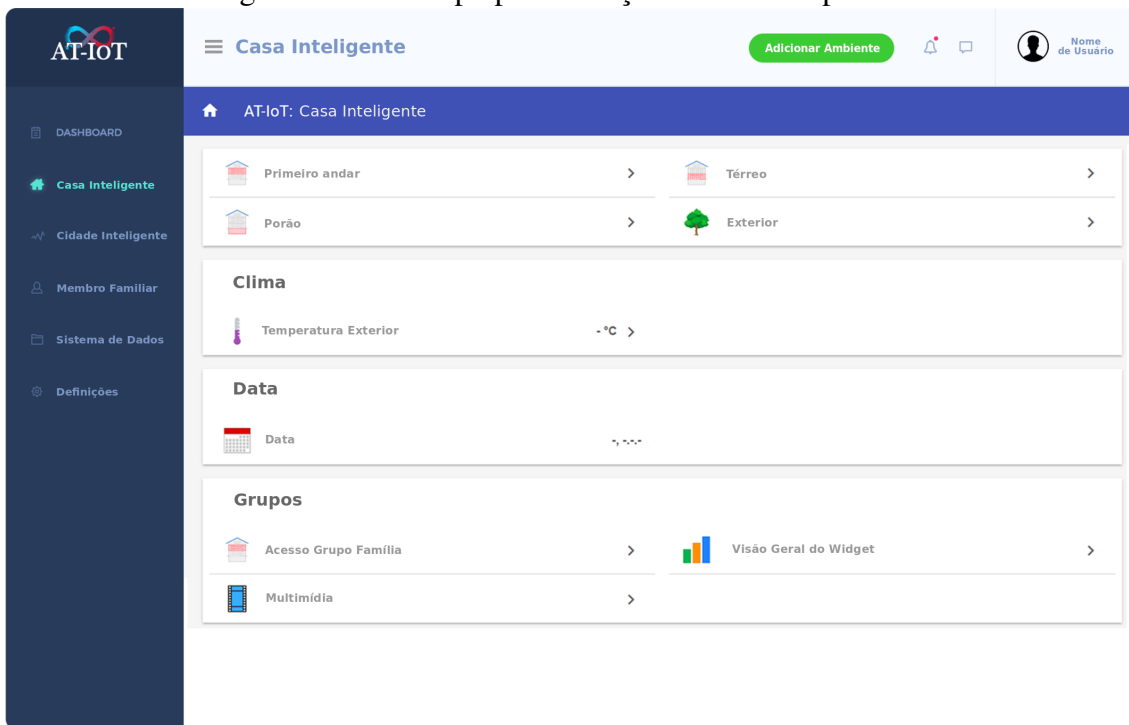
como casas, shoppings, hospitais, museus, prédios, etc., fornecendo uma forma para monitorar ou simplesmente informar as direções ou mostrar o melhor caminho de forma guiada aos usuários.

O próximo protótipo é referente as casas inteligentes para as TA, cuja conexão primária ocorre sobre a rede local (LAN) e a secundária sobre Internet, resultando na inclusão digital das pessoas com deficiência para IoT por meio de suas TA. As casas inteligentes permitem a automação e controle do ambiente usando vários dispositivos embarcados e de segurança. As informações recolhidas são processadas por um servidor de aplicação que fornece serviços adequados para o utilizador interagir com o ecossistema conforme sua deficiência. Se os eventos que dão origem às condições de segurança são detectadas, atuadores são acionados para lidar com a atual situação. A Figura 52 apresenta o protótipo do *front-end* com interface para domótica (ou *smart home*). A instrumentação de sensores no ambiente é essencial para fins de identificação e rastreamento.

A Figura 53 apresenta o protótipo do *front-end* com interface para localização *indoor* das TA ou seus usuários, as quais podem ser feitas através de módulos *Beacons*, com tecnologias *bluetooth* ou *Ultra-wideband (UWB)* (KRZYCH; KOSTKA, 2012).

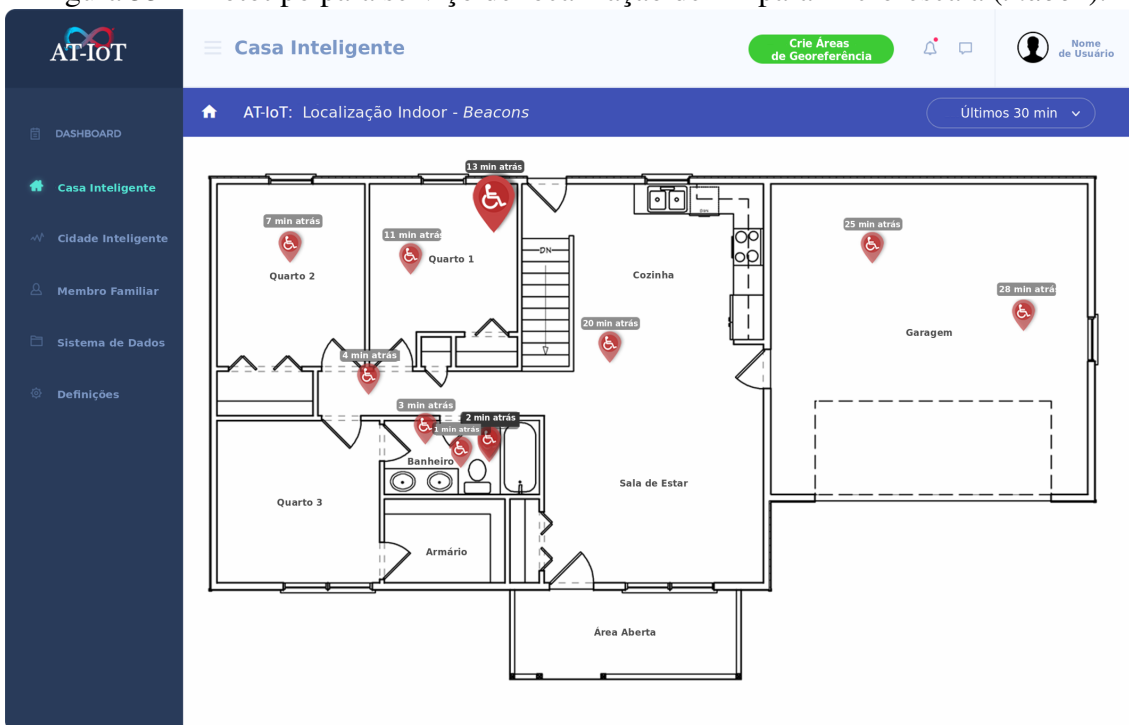
O posicionamento *indoor* é a tarefa de inferir a localização de um dispositivo móvel dentro de um ambiente fechado. No processo de determinar a localização, dois termos são utilizados constantemente e de forma similar, posicionamento e localização. Posicionamento é o comumente utilizado para descrever a posição da entidade e indicar a movimentação em direção a certo local. Já a localização é associada à estimativa do local

Figura 52 – Protótipo para serviço de domótica para TA.



Fonte: do autor

Figura 53 – Protótipo para serviço de localização de TA para micro-escala (indoor).



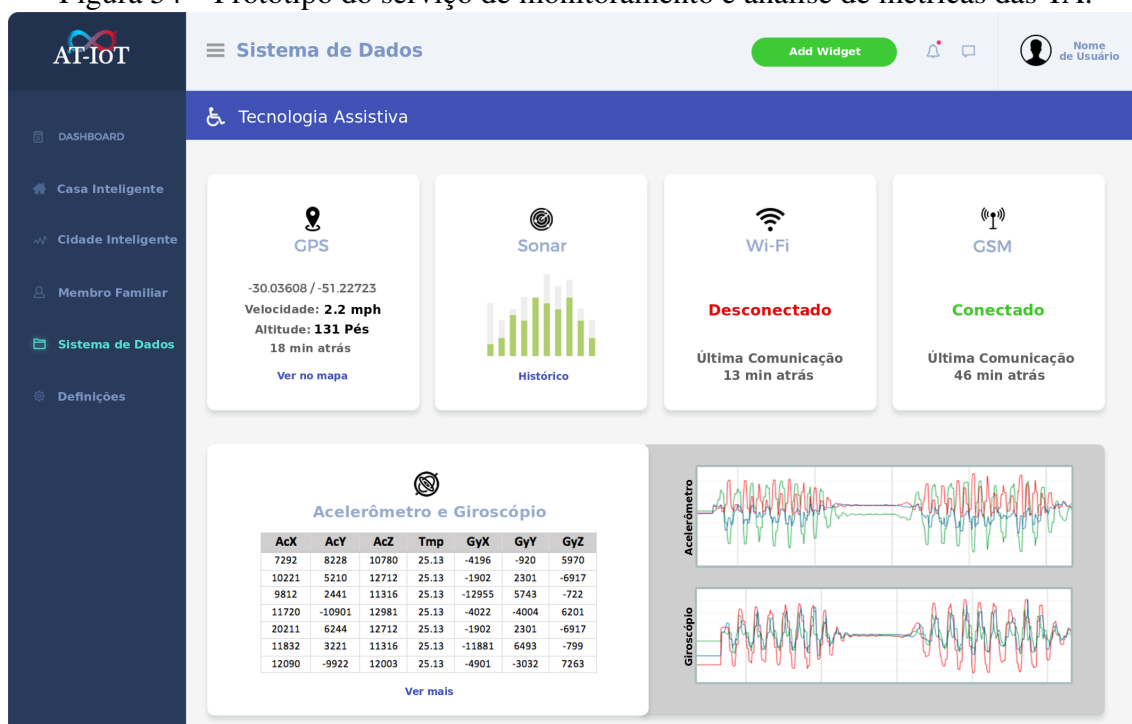
Fonte: do autor

onde a entidade se encontra. Um dos principais desafios para desenvolver mecanismos de posicionamento *indoor* é a falta de precisão. Além disso, a infraestrutura construída, para auxiliar no serviço de posicionamento, pode sofrer com interferências.

A grande diferença entre localização *indoor* e *outdoor* estão na precisão da posição e com as tecnologias utilizadas em cada um dos tipos de localização. Na utilização de um sistema para localização em um espaço aberto, receber a posição com dois ou três metros de erro não causa muito transtorno, pois a zona que se tenta localizar é muito maior. O mesmo não acontece quando nos encontramos dentro de um edifício, pois se a posição que recebermos tiver dois metros de erro, esta pode colocar-nos na sala ao lado ou até mesmo num piso diferente, o que é inaceitável quando se fala de localização *indoor*.

Por fim, é apresentado o protótipo referente ao sistema de monitoramento das TA. O serviço de monitoramento é integrado com banco de dados e pode registrar as condições das TA e conseqüentemente dos ecossistemas e usuários.

Figura 54 – Protótipo do serviço de monitoramento e análise de métricas das TA.



Fonte: do autor

O monitoramento de recursos é realizado periodicamente através da coleta de dados estatísticos do uso dos sistemas embarcados nas TA e o seus ecossistemas. Os dados são coletados por meio de API fornecida pelo provedor de Nuvem. Estes dados são utilizados para cálculos e previsões para a tomada de decisões, conforme os recursos da infraestrutura. O sistema deve oferecer coleta, armazenamento de dados, exibição das informações, gerar relatórios de acordo com as necessidades das aplicações e permitir interações com as TA e ecossistemas



## 6 CONCLUSÕES

Esta tese foi desenvolvida no contexto do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFRGS. Tal projeto originou-se da participação em pesquisa financiada pela CAPES/PROCAD - Cooperação Acadêmica na área de Sistemas de Automação e Controle para Tecnologias Assistivas. A mobilidade acadêmica ocorreu na UFES (I/2016), no Laboratório de Automação Inteligente (LAI), cujas pesquisas e heurísticas científicas culminaram na proposta desta tese. Devido ao caráter interdisciplinar, o trabalho contou com a colaboração de COELHO (2017), que contribuiu com o estudo de caso (DW aplicado a idosos), testes e validação da proposta.

A principal contribuição científica da tese é o desenvolvimento da arquitetura denominada ATIoT, a qual, pode servir como modelo de referência para integração de TA à IoT. Com base na pesquisa e estado da arte, há poucos trabalhos relacionados a integração de TA à IoT, quando comparada à temas de periódicos científicos para integrar à IoT com áreas correlatas da saúde.

A camada de aplicação da arquitetura ATIoT (topo da pirâmide), provê os serviços necessários que devem ser dedicados ou especializados para as deficiências, logo, a arquitetura contribui diretamente para a IPDI à IoT, uma vez que auxilia a integração das TA aos ecossistemas que implementam as camadas de computação.

Para validação do experimento, alguns dispositivos foram selecionados conforme o escopo e requisitos do estudo de caso aplicado (COELHO, 2017). Seguindo o modelo de referência ATIoT, o primeiro passo é definir os componentes das Camadas de Borda, Névoa e Nuvem. A seleção de dispositivos é de plena responsabilidade do gestor de projeto que deve ter habilidades para as implementações dos componentes das camadas de computação do modelo de referência da arquitetura.

Muitas adversidades ocorreram no desenvolvimento das camadas de computação, como por exemplo, na camada de Borda e Névoa, antes de integrar o DW original, foi necessário criar um protótipo parcial com sistemas embarcados (ATmega328P e HM-10) para simular a entrega dos dados do HAR e MAD do DW. Paralelamente, vinha sendo construído o protótipo do App AW, baseados em Android com APIs OpenVPN, BLE e ROS, cujo objetivo envolvia conectar o DW com o App AW por rede *Bluetooth* (WPAN).

Importante ressaltar que nesse mesmo período o DW vinha sendo atualizado por COELHO (2017).

Posteriormente ao sucesso da conexão do protótipo que simulava o DW com o App AW, passamos para fase de integração do App AW com o DW original. Para tanto, muitos testes e *brainstorming* foram feitos por teleconferência durante um período de sete meses (UFRGS/UFES - I/2018), para obter uma versão funcional da integração entre os componentes, os quais são referentes as camadas de Borda e Névoa da arquitetura ATIoT.

Após a fusão entre as camadas de Borda e Névoa, iniciou-se o desenvolvimento do Servidor de Aplicação (Broker - Nó A) na camada de Nuvem, para tanto, dispositivos como sistemas operacionais (Linux), *containers*, *midlewares* e *frameworks* baseados em robótica e TIC foram utilizados, esse servidor é responsável por receber e gerenciar as conexões dos nós clientes, bem como, prover serviços dedicados ou especializados para as TA e ecossistemas.

Por fim, ainda na camada de Nuvem, desenvolveu-se um nó cliente (*Front-End Web* de monitoramento - Nó C) dedicado a consumir os dados do Nó B através do Servidor de Aplicação (Nó A).

Com todas as camadas desenvolvidas, no dia 05 de dezembro de 2018, a integração se deu por completo e os dados foram coletados e armazenados em arquivos de registros (log) gerados em tempo de execução durante um período de 10 minutos. Os resultados da integração de todas as camadas do projeto foram satisfatórios e dentro do esperado, porém, futuros ajustes e modificações precisam ser executadas para correções de anomalias identificadas durante o processo.

Dessa forma, os resultados apresentados parcialmente são promissores e permitem afirmar que a arquitetura ATIoT pode ser aplicada para diferentes estudos de caso, o modelo de referência proposto contempla com sucesso as camadas de computação essenciais para construção da arquitetura, comprovando a funcionalidade do modelo de referência criado, assim como, sua flexibilidade para integração para quaisquer TA, cuja afirmação pode ser comprovada conforme a integração do DW para idosos (COELHO, 2017), uma TA que estava desvinculada ao projeto e foi agregada por meio de abstração de hardware pela arquitetura ATIoT. Esses processos podem ser facilmente replicados e agrupados em pacotes e pilhas, que podem ser compartilhados e distribuídos.

Testes de integrações com outros hardwares (Esp32, Raspiberry Pi 3, Particle Photon e Beacons) simulando TA na camada de Borda foram testados com sucesso.

As validações do experimento comprovam o funcionamento da proposta da arquitetura ATIoT, que resultaram em trocas de dados, envio e recebimento de mensagens pela rede sem fio de forma remota. Porém, ainda há ajustes significativos a serem feitos, para isso, muitos fatores terão que evoluir.

Trabalhos futuros incluem adicionar novos estudos de casos e testar as diretrizes para agentes de software (SMA) em todas as camadas do projeto, proteção da privacidade,

maior segurança de dados e um compromisso com a acessibilidade em todo o ecossistema.

Os testes demonstraram a capacidade de integração da arquitetura ATIoT, e apesar destes desafios, é importante não perder de vista os benefícios significativos que a arquitetura poderá trazer para as pessoas com deficiências.

## REFERÊNCIAS

- ABOWD, G. D. *et al.* Towards a better understanding of context and context-awareness. *In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON HANDHELD AND UBIQUITOUS COMPUTING*, 1., 1999, Heidelberg. **Proceedings [...]**. Verlag: Springer, 1999. p. 304–307.
- ACKERMAN, M. S.; CRANOR, L. F.; REAGLE, J. Privacy in e-commerce: examining user scenarios and privacy preferences. *In: CONFERENCE ON ELECTRONIC COMMERCE*, 1., 1999, Denver. **Proceedings [...]**. [S.l.]: ACM Sigecom, 1999. p. 1–8.
- AGUIAR, A.; ATASSI, A.; PASCOAL, A. Regulation of a nonholonomic dynamic wheeled mobile robot with parametric modeling uncertainty using Lyapunov functions. *In: CONFERENCE ON DECISION AND CONTROL*, 39., 2000, Sydney. **Proceedings [...]**. New York: IEEE, 2000. v.3, p. 2995–3000.
- AL AMEEN, M.; LIU, J.; KWAK, K. Security and privacy issues in wireless sensor networks for healthcare applications. **Journal of Medical Systems**, [S.l.], v.36, n.1, p. 93–101, 2012.
- ALPER, S.; RAHARINIRINA, S. Assistive technology for individuals with disabilities: a review and synthesis of the literature. **Journal of Special Education Technology**, [S.l.], v. 44, n. 2, p. 47–64, 2006.
- ANASTASI, G. F. *et al.* Extracting data from WSNs: a service-oriented approach. *In: ANASTASI, G. F. et al. Methodologies and technologies for networked enterprises*. [S.l.]: Springer, 2012. cap. 17, p. 329-356. *E-book*. Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-31739-2\\_17#citeas](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-31739-2_17#citeas). Acesso em: 03 abr. 2018.

ANNEAR, S. **What the Tech?** Lechal ‘Smart Shoes’ Help the Blind Get Around. 2014. Disponível em: <http://www.bostonmagazine.com/news/blog/2014/03/05/lechal-insoles-mit-visually-impaired/>. Acesso em: 02 dez. 2018.

ASHTON, K. *et al.* **Auto-ID Center: networked radio-frequency identification and emerging sensing technologies**. 1999. Disponível em: <https://www.autoidlabs.org/>. Acesso em: 10 jan. 2018.

ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The internet of things: a survey. **Computer networks**, [S.l.], v. 54, n. 15, p. 2787–2805, 2010.

AVILÉS-LÓPEZ, E.; GARCÍA -MACÍAS, J. A. TinySOA: a service-oriented architecture for wireless sensor networks. **Service Oriented Computing and Applications**, [S.l.], v. 3, n. 2, p. 99–108, 2009.

AZIZ, O. *et al.* From computers to ubiquitous computing by 2010: health care. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, [S.l.], v. 366, n.1881, p. 3805–3811, 2008.

BANDYOPADHYAY, D.; SEN, J. Internet of Things: applications and challenges in technology and standardization. **Wireless Personal Communications**, [S.l.], v. 58, n. 1, p. 49–69, May 2011.

BARRENETXEA, G. *et al.* Sensorscope: out-of-the-box environmental monitoring. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION PROCESSING IN SENSOR NETWORKS*, 7., 2008, St. Louis. **Proceedings [...]**. Massachusetts Ave: IEEE, 2008. p. 332–343.

BAUER, M. *et al.* **Final architectural reference model for the IoT v.3.0**. [S.l.]: IoT-A, 2013. 499 f. Internet of Things – Architecture IoT-A Deliverable D1.5.

BEZOS, J. **Amazon virtual private cloud**. 2006. Disponível em: <https://aws.amazon.com/pt/vpc/>. Acesso em: 09 fev. 2019.

BHADANI, R. **Network Setup (ROS)**. 2008. Disponível: <http://wiki.ros.org/ROS/NetworkSetup>. Acesso em: 25 jan. 2018.

BLIZARD, J. L. **Americans with disabilities act**. 1991. Disponível em: <https://www.ada.gov/>. Acesso em: 11 jul. 2018.

BOSUA, P. *et al.* **Wi-Fi LED smart lights**. 2012. Disponível em: <http://www.lifx.com>. Acesso em: 05 jul. 2018.

BRASIL. Decreto nº 3.298, de 20 de dezembro de 1999. Política Nacional para a Integração da Pessoa Portadora de Deficiência. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 20 dez. 1999. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/d3298.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d3298.htm). Acesso em: 7 abr. 2018.

BRASIL. Decreto nº 3298, de 20 de dezembro de 1999. Dispõe sobre Política Nacional para Integração da Pessoa Portadora de Deficiência. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 21 dez. 1999. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/D3298.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D3298.htm). Acesso em: 6 jul. 2018.

BRASIL. Decreto nº 5.296, de 2 de dezembro de 2004. Regulamenta as Leis 10.048 e 10.098, que estabelece normas gerais e critérios básicos para a promoção da acessibilidade das pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2 dez. 2004. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2004/decreto/d5296.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5296.htm). Acesso em: 18 abr. 2018.

BRASIL. Estatuto da Pessoa com Deficiência. Lei nº 13.146/2015 Institui a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência. Senado Federal, Coordenação de Edições Técnicas. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 3. ed. p. 1-65. out. 2016.

BRYANT, B. R.; SEAY, P. C. The technology-related assistance to individuals with disabilities act: relevance to individuals with learning disabilities and their advocates. **Journal of Learning Disabilities**, [S.l.], v. 31, n. 1, p. 4–15, 1998.

BUSCH, M. *et al.* All targeting trustworthiness for special needs user groups in the internet of things. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON TRUST AND TRUSTWORTHY COMPUTING*, 6., 2013, London. **Proceedings [...]**. [S.l.]: Springer, 2013. p. 223–231.

BUYAYA, R. *et al.* Cloud computing and emerging it platforms: vision, hype, and reality for delivering computing as the 5th utility. **Future Generation Computer Systems**, [S.l.], v. 25, n. 6, p. 599–616, 2009.

CHAN, V. W. S. **IEEE Communications Magazine**. 1979. Disponível em: <http://www.comsoc.org/commag/cfp/internet-thingsm2m-research-standards-next-steps>. Acesso em: 06 Jan 2019.

COELHO, Y. L. **Desenvolvimento de um sistema de reconhecimento de atividades humanas e monitoramento remoto utilizando um dispositivo vestível**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2017.

COOK, A.; HUSSEY, S. **Assistive technologies: principles and practice**. 3rd. ed. [S.l.]: Mosby, 2007. 592p.

COUSINS, S. *et al.* **Technical Overview**. 2007. Disponível em: <http://wiki.ros.org/ROS/Technical%20Overview>. Acesso em: 10 ago. 2018.

CUSUMANO, M. A. Cloud computing and SaaS as new computing platforms. **Communications of the ACM**, [S.l.], v. 53, n. 4, p. 27–29, 2010.

DE LA CRUZ, C.; CELESTE, W. C.; BASTOS, T. F. A robust navigation system for robotic wheelchairs. **Control Engineering Practice**, [S.l.], v. 19, n. 6, p. 575–590, 2011.

DE VRIES, B. **Introducing Data Science: hearing aids on the brink of a paradigm shift**. 2014. Disponível em: <http://www.audiology-worldnews.com/focus-on/1215-introducing-data-science-hearing-aids-on-the-brink-of-a-paradigm-shift>. Acesso em: 10 nov. 2018.

DEL CASTILLO, M. **The intelligent wheelchair from Intel**. 2014. Disponível em: <https://www.intel.ai/hoobox/#gs.x7494l>. Acesso em: 11 jul. 2018.

DEMIGHA, O.; HIDOUCI, W. K.; AHMED, T. On energy efficiency in collaborative target tracking in wireless sensor network: a review. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, [S.l.], v. 15, n. 3, p. 1210–1222, 2013.

DER LEYEN, V. **Regulamento do parlamento europeu e do conselho**. 1997. Disponível em: [https://ec.europa.eu/justice/article-29/documentation/index\\_en.htm](https://ec.europa.eu/justice/article-29/documentation/index_en.htm). Acesso em: 02 dez. 2018.

DIX, P. **This open source core, or TICK Stack, consists of the projects-Telegraf, InfluxDB, Chronograf, and Kapacitor**. 2016. Disponível em: <https://www.influxdata.com/time-series-platform/>. Acesso em: 06 mar. 2018.

DOMINGO, M. C. An overview of the Internet of Things for people with disabilities. **Journal of Network and Computer Applications**, [S.l.], v. 35, n. 2, p. 584–596, 2012.

DORES, C.; REIS, L. P.; LOPES, N. V. Internet of things and cloud computing. *In: IBERIAN CONFERENCE ON INFORMATION SYSTEMS AND TECHNOLOGIES*, 9., 2014, Barcelona. **Proceedings [...]**. Piscataway: IEEE, 2014. p. 1–4.

EL-BASIONI, B. M. M.; EL-KADER, S. M. A.; EISSA, H. S. Independent living for persons with disabilities and elderly people using smart home technology. **International Journal of Application or Innovation in Engineering and Management**, [S.l.], v. 3, n. 4, p. 11–28, 2014.

EVANS, D. **The Internet of things how the next evolution of the internet is changing everything**. 2011. Disponível em: [http://www.cisco.com/web/about/ac79/docs/innov/IoT\\_IBSG\\_0411FINAL.pdf](http://www.cisco.com/web/about/ac79/docs/innov/IoT_IBSG_0411FINAL.pdf). Acesso em: 16 out. 2018.

FIELDING, R. **Representational State Transfer (REST)**. 2000. Disponível em: <https://restfulapi.net/>. Acesso em: 21 maio. 2018.

FITZGERALD, R. **We are social**. 2018. Disponível em: <https://wearesocial.com/blog/2018/01/global-digital-report-2018>. Acesso em: 03 jan. 2019.



FLAVIÁN, C.; GUINALÍU, M. Consumer trust, perceived security and privacy policy: three basic elements of loyalty to a web site. **Industrial Management & Data Systems**, [S.l.], v. 106, n. 5, p. 601–620, 2006.

FLORIANO, A. S. D. P. **Desenvolvimento de uma interface cérebro-computador não invasiva baseada em potenciais evocados visuais e regime permanente aplicada à comunicação alternativa e robô de telepresença**. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2016.

GALLEGOS, L. *et al.* **Internet of things: new promises for persons with disabilities**. [S.l.]: G3ict, 2015. 22 f. Global Initiative for Inclusive Information and Communications Technologies.

GALLEGOS, L. **The global initiative for inclusive information and communication Technologies (G3ICT)**. 2006. Disponível em: <https://g3ict.org/>. Acesso em: 02 jan. 2019.

GATES, B. **Microsoft azure IoT reference architecture**. [S.l.]: Microsoft, 2018. 71 f. Azure Internet of Things services Cloud.

GATES, B. **Plataforma de nuvem da Microsoft Azure**. 2010. Disponível em: <https://azure.microsoft.com/pt-br/>. Acesso em: 04 ago. 2018.

GERBER, A. **Simplify the development of your IoT solutions with IoT architectures**. 2017. Disponível em: <https://developer.ibm.com/articles/iot-lp201-iot-architectures/>. Acesso em: 14 jun. 2018.

GERKEY, B. *et al.* **Robot Operating System 2.0 Design**. 2015. Disponível em: <https://design.ros2.org>. Acesso em: 08 jul. 2018.

GHEBREYESUS, T. A. **World Health Organization & World Bank: world report on disability**. 2011. Disponível em: <http://www.who.int/iris/handle/10665/44575>. Acesso em: 11 nov. 2018.

GOODWIN, C. Privacy: recognition of a consumer right. **Journal of Public Policy & Marketing**, [S.l.], v. 10, n. 1, p. 149–166, 1991.

GUBBI, J. *et al.* Internet of Things (IoT): a vision, architectural elements, and future directions. **Future Generation Computer Systems**, [S.l.], v. 29, n.7, p. 1645–1660, 2013.

GUIMARÃES, C. S. S. *et al.* Proposal IoT Architecture for Macro and Microscale Applied in Assistive Technology. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON REMOTE*

ENGINEERING AND VIRTUAL INSTRUMENTATION, 14., 2017, New York. **Proceedings [...]**. [S.l.]: Springer, 2018. p. 36–43.

GUIMARÃES, C. S. S.; HENRIQUES, R. V. B.; PEREIRA, C. E. Analysis and design of an embedded system to aid the navigation of the visually impaired. *In: ISSNIP BIOSIGNALS AND BIOROBOTICS CONFERENCE: BIOSIGNALS AND ROBOTICS FOR BETTER AND SAFER LIVING*, 4., 2013, Rio de Janeiro. **Proceedings [...]**. [S.l.]: IEEE, 2013. p. 1-6.

GUTMANS, A.; Suraski, Z. **Zend framework is a collection of professional PHP packages**. 2005. Disponível em: <https://framework.zend.com/>. Acesso em: 17 ago. 2018.

HAHN, T. *et al.* Internet of things security. **IBM Point of View**. [S.l.], 2015. 16 p. Disponível em: <https://www.industryofthingsvoice.com/wp-content/uploads/2017/10/IBM-Point-of-View-IoT-Security.pdf>. Acesso em: 02 jan. 2018.

HASSAN, S. *et al.* **Robot Operating System (ROS)**. 2007. Disponível em: <https://ros.org>. Acesso em: 15 jan. 2018.

HEIDT, E. T. Planning guide for the internet of things. **Gartner Research**. [S.l.], 2016. 27 p. Disponível em: <https://www.gartner.com/en/documents/3477617/2017-planning-guide-for-the-internet-of-things>. Acesso em: 03 fev. 2018.

HEVERY, M.; ABRONS, A. **Toolset for building the framework most suited AngularJS**. 2009. Disponível em: <https://angularjs.org/>. Acesso em: 11 abr. 2018.

HOLMES, R. **HootSuite media**. 2008. Disponível em: <https://hootsuite.com>. Acesso em: 12 jan. 2019.

HOROWITZ, E. **Open source database MongoDB**. 2007. Disponível em: <https://www.mongodb.com>. Acesso 05 fev. 2018.

HOYLE, B.; WATERS, D. Mobility AT: the batcane (UltraCane). *In*: HERSH, M.; JOHNSON, M. **Assistive Technology for Visually Impaired and Blind People**. [S.l.]: Springer, 2008. cap. 6, p. 209–229. *E-book*. Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-84628-867-8\\_6](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-84628-867-8_6). Acesso em: 05 dez. 2018.

HUFF, Z. **Enterprise virtual private network server (PRITUNL)**. 2013. Disponível em: <https://pritunl.com/>. Acesso em: 09 aug. 2018.

ISHRAK, O. *et al.* Architecture specification white paper Internet of Things (IoT). **The Intel IoT platform**. [S.l.], 2015. 11 p. Disponível em: <https://www.intel.com/content/dam/www/public/us/en/documents/white-papers/iot-platform-reference-architecture-paper.pdf>. Acesso em: 13 out. 2018.

JABLONSKI, C. **Sensing systems for robots could help blind navigate**. 2012. Disponível em: <http://www.zdnet.com/article/sensing-systems-for-robots-could-help-blind-navigate/>. Acesso em: 02 jul. 2018.

JOSEPH, S. L. *et al.* Being aware of the world: toward using social media to support the blind with navigation. **IEEE Transactions on Human-Machine Systems**, [S.l.], v. 45, n .3, p. 399–405, 2015.

JUHÁSZ, B. *et al.* Cogincom in collaborative virtual working environments. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COGNITIVE INFOCOMMUNICATIONS, 4., 2013, Budapest. **Proceedings [...]**. [S.l.]: IEEE, 2013. p. 475–480.

KALAKOTA, R.; WHINSTON, A. B. **Frontiers of electronic commerce**. 1sd. ed. [S.l.]: Pearson Education, 1996.

KLING, A.; CAMPBELL, P. H.; WILCOX, J. Young children with physical disabilities: caregiver perspectives about assistive technology. **Infants & Young Children**, [S.l.], v. 23, n. 3, p. 169–183, 2010.

KOHLER, D. **Integration library for the ROS with android**. 2013. Disponível em: [http://wiki.ros.org/android\\_core](http://wiki.ros.org/android_core). Acesso em: 09 fev. 2018.

KOVACS, E. **70 Percent of IoT devices vulnerable to cyberattacks**: hp. 2014. Disponível em: <https://www.securityweek.com/70-iot-devices-vulnerable-cyberattacks-hp>. Acesso em: 11 out. 2018.

KREUZER, K. **A vendor and technology agnostic open source automation software for your home (openHAB)**. 2010. Disponível em: <https://www.openhab.org/>. Acesso em: 04 jun. 2018.

KRZYCH, J.; KOSTKA, L. **The physical world software-defined (Beacon Estimote)**. 2012. Disponível em: <https://estimote.com/>. Acesso em: 03 dez. 2018.

LAMBRINOS, L.; DOSIS, A. Applying mobile and internet of things technologies in managing parking spaces for people with disabilities. *In: CONFERENCE ON PERVASIVE AND UBIQUITOUS COMPUTING ADJUNCT PUBLICATION*, 13., 2013, Zurich. **Proceedings [...]**. New York: ACM, 2013. p. 219–222.

LAWRENCE, K. **Intuitive, instinctive navigation with lechal, and haptics or vibratory feedback**. 2014. Disponível em: <http://www.lechal.com/>. Acesso em: 19 jul. 2018.

LAZARESCU, M. T. Design of a WSN platform for long-term environmental monitoring for IoT applications. **IEEE Journal on Emerging and Selected Topics In Circuits and Systems**, [S.l.], v. 3, n.1, p. 45–54, 2013.

LEE, H. The internet of things and assistive technologies for people with disabilities: applications, trends, and issues. *In: REIS, C.; MAXIMIANO, M. Internet of things and advanced application in healthcare*. [S.l.]: IGI Global, 2017. cap. 2, p. 32–65. *E-book*. Disponível em: <https://www.igi-global.com/chapter/the-internet-of-things-and-assistive-technologies-for-people-with-disabilities/170236>. Acesso em: 03 fev. 2019.

LEE, H.; TEMPLETON, R. Ensuring equal access to technology: providing assistive technology for students with disabilities. **Theory Into Practice**, [S.l.], v. 47, n. 3, p. 212–219, 2008.

LEE, I.; LEE, K. The Internet of Things (IoT): applications, investments, and challenges for enterprises. **Business Horizons**, [S.l.], v. 58, n. 4, p. 431–440, 2015.

LEEB, R. *et al.* Towards independence: a BCI telepresence robot for people with severe motor disabilities. *In: PROCEEDINGS OF THE IEEE*, 6., 2015, [S.l.]. **Proceedings [...]**. Torino: IEEE, 2015. p. 969-982.

LERNER, S.; BOSACK, L. **The Internet of Things reference model**. 2014. Disponível em: [http://cdn.iotwf.com/resources/71/IoT\\_Reference\\_Model\\_White\\_Paper\\_June\\_4\\_2014.pdf](http://cdn.iotwf.com/resources/71/IoT_Reference_Model_White_Paper_June_4_2014.pdf). Acesso em: 18 ago. 2018.

LEVY, H. P. **Gartner's hype cycle**. 2015. Disponível em: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/whats-new-in-gartners-hype-cycle-for-emerging-technologies-2015/>. Acesso em: 07 nov. 2018.

LIN, S. *et al.* The industrial internet of things volume G1: reference architecture. **Industrial Internet Consortium**, [S.l.], p.10–46, 2017.

LIU, C. *et al.* External integrity verification for outsourced big data in cloud and IoT: a big picture. **Future Generation Computer Systems**, [S.l.], v. 49, p. 58–67, 2015.

LIVINGOOD, J. **Internet engineering task force (IETF)**. 1986. Disponível em: <https://www.ietf.org/>. Acesso em: 15 set. 2018.

LOGVINOV, O. **2413 IEEE approved draft standard for an architectural framework for the Internet of Things (IoT)**. 2019. Disponível em: <https://standards.ieee.org/project/2413.html>. Acesso em: 13 jun. 2019.

LOPES, N. V. *et al.* IoT architecture proposal for disabled people. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON WIRELESS AND MOBILE*

COMPUTING, NETWORKING AND COMMUNICATIONS, 10., 2014, Larnaca. **Proceedings [...]**. [S.l.]: IEEE, 2014. p. 152–158.

MA, Y. *et al.* An efficient index for massive IoT data in cloud environment. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION AND KNOWLEDGE MANAGEMENT, 21., 2012 Maui. **Proceedings [...]**. New York: ACM, 2012. p. 2129– 2133.

MACHADO, J. C. **Um Estudo sobre o desenvolvimento orientado serviços**. 2004. Dissertação (Mestrado em Informática) – Programa de Pós-Graduação em Informática, Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2004.

MAHERI, K. **Envisioning the plausible scenarios of Cryptocurrency-based, IoT, transactions** : cognitively computed by autonomous smart (cognitive) machines & aligned with an updated hierarchy of human needs. 2018. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica), Rotterdam University of Applied Sciences, Rotterdam, 2018.

MASLOW, A. H. A theory of human motivation. **Psychological Review**, [S.l.], v. 50, n. 4, p. 370, 1943.

MELL, P.; GRANCE, T. *et al.* The NIST definition of cloud computing. **Journal of Medical Systems**, Gaithersburg, v. 40, p. 145–800, 2011.

MICKOS, M. *et al.* **The world’s most popular open source database**. 1995. Disponível em: <https://www.mysql.com/>. Acesso em: 03 abr. 2018.

MINERVA, R.; BIRU, A.; ROTONDI, D. Towards a definition of the Internet of Things (IoT). **IEEE Internet Initiative**, [S.l.], v. 1, p. 1–86, 2015.

MULFARI, D. *et al.* Achieving assistive technology systems based on IoT devices in cloud computing. EAI Endorsed Trans. **EAI Endorsed Transactions on Cloud Systems**, [S.l.], v. 1, n. 1, p. 1-6, 2015.

MULFARI, D. *et al.* Using embedded systems to spread assistive technology on multiple devices in smart environments. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE

ON BIOINFORMATICS AND BIOMEDICINE, 5., 2014, Belfast. **Proceedings [...]**. Vancouver: IEEE, 2014. p. 5–11.

LIU, C. *et al.* External integrity verification for outsourced big data in cloud and IoT: a big picture. **Future Generation Computer Systems**, [S.l.], v. 49, p. 58–67, 2015.

LIVINGOOD, J. **Internet engineering task force (IETF)**. 1986. Disponível em: <https://www.ietf.org/>. Acesso em: 15 set. 2018.

LOGVINOV, O. **2413 IEEE approved draft standard for an architectural framework for the Internet of Things (IoT)**. 2019. Disponível em: <https://standards.ieee.org/project/2413.html>. Acesso em: 13 jun. 2019.

LOPES, N. V. *et al.* IoT architecture proposal for disabled people. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON WIRELESS AND MOBILE COMPUTING, NETWORKING AND COMMUNICATIONS, 10., 2014, Larnaca. **Proceedings [...]**. [S.l.]: IEEE, 2014. p. 152–158.

MA, Y. *et al.* An efficient index for massive IoT data in cloud environment. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION AND KNOWLEDGE MANAGEMENT, 21., 2012 Maui. **Proceedings [...]**. New York: ACM, 2012. p. 2129–2133.

MACHADO, J. C. **Um Estudo sobre o desenvolvimento orientado serviços**. 2004. Dissertação (Mestrado em Informática) – Programa de Pós-Graduação em Informática, Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2004.

MAHERI, K. **Envisioning the plausible scenarios of Cryptocurrency-based, IoT, transactions** : cognitively computed by autonomous smart (cognitive) machines & aligned with an updated hierarchy of human needs. 2018. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica), Rotterdam University of Applied Sciences, Rotterdam, 2018.

MASLOW, A. H. A theory of human motivation. **Psychological Review**, [S.l.], v. 50, n. 4, p. 370, 1943.

MELL, P.; GRANCE, T. *et al.* The NIST definition of cloud computing. **Journal of Medical Systems**, Gaithersburg, v. 40, p. 145–800, 2011.

MICKOS, M. *et al.* **The world's most popular open source database.** 1995. Disponível em: <https://www.mysql.com/>. Acesso em: 03 abr. 2018.

MINERVA, R.; BIRU, A.; ROTONDI, D. Towards a definition of the Internet of Things (IoT). **IEEE Internet Initiative**, [S.l.], v. 1, p. 1–86, 2015.

MULFARI, D. *et al.* Achieving assistive technology systems based on IoT devices in cloud computing. EAI Endorsed Trans. **EAI Endorsed Transactions on Cloud Systems**, [S.l.], v. 1, n. 1, p. 1-6, 2015.

MULFARI, D. *et al.* Using embedded systems to spread assistive technology on multiple devices in smart environments. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON BIOINFORMATICS AND BIOMEDICINE*, 5., 2014, Belfast. **Proceedings [...]**. Vancouver: IEEE, 2014. p. 5–11.

MÜLLER, S. M. T.; BASTOS, T. F.; FILHO, M. S. Proposal of a SSVEP-BCI to Command a Robotic Wheelchair. **Journal of Control, Automation and Electrical Systems**, [S.l.], v. 24., p. 97–105, 2013.

MURRAY, I. **New navigation gadget for people who are blind.** 2013. Disponível em: <https://news.curtin.edu.au/media-releases/new-navigation-gadget-for-people-who-are-blind/>. Acesso em: 07 jul. 2018.

MURRAY, J. A. H. **Oxford English dictionary: Internet of Things.** 1884. Disponível em: <https://www.oed.com/viewdictionaryentry/Entry/248411>. Acesso em: 02 jun. 2018.

NAIN, G. *et al.* Using MDE to build a schizophrenic middleware for home/building automation. *In: EUROPEAN CONFERENCE ON A SERVICE- BASED INTERNET*, 1., 2008, Madrid. **Proceedings [...]**. Heidelberg: Springer, 2008. p. 49–61.

NANAYAKKARA, S. C.; SHILKROT, R.; MAES, P. **EyeRing: an eye on a finger.** 2012. Disponível em: <https://www.media.mit.edu/publications/eyering-an-eye-on-a-finger/>. Acesso em: 09 jul. 2018.



NAOR, M.; WIEDER, U. A simple fault tolerant distributed hash table. *In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON PEER-TO-PEER SYSTEMS, 2.*, 2003, Berkeley. **Proceedings [...]**. [S.l.]: Springer, 2003. p. 88-97.

NESSELRATH, R. *et al.* Supporting persons with special needs in their daily life in a smart home. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT ENVIRONMENTS, 7.*, 2011, Nottingham. **Proceedings [...]**. Massachusetts Ave: IEEE, 2011. p. 370–373.

NEWBERRY, S. *et al.* **A new approach to standards development.** 2002. Disponível em: <https://www.omaspecworks.org/>. Acesso em: 10 ago. 2018.

NIXON, T. *et al.* **Devices profile for web services specification.** 2009. Disponível em: <http://docs.oasis-open.org/ws-dd/ns/dpws/2009/01>. Acesso em: 02 nov. 2018.

ÖDEGAARD, O. **The open platform for beautiful analytics and monitoring (Grafana).** 2014. Disponível em: <https://grafana.com/>. Acesso em: 11 fev. 2018.

OKOLO, C. M.; DIEDRICH, J. Twenty-Five Years Later: how is technology used in the education of students with disabilities? results of a statewide study. **Journal of Special Education Technology**, [S.l.], v. 29, n. 1, p. 1–20, 2014.

ONIGA, S.; SÜTO, J. Human activity recognition using neural networks. *In: INTERNATIONAL CARPATHIAN CONTROL CONFERENCE, 15.*, 2014, Velke Karlovice. **Proceedings [...]**. [S.l.]: IEEE, 2014, p. 403–406.

PAGE, L.; BRIN, S. **Android studio provides the fastest tools for building apps on every type of android device.** 2013. Disponível em: <https://developer.android.com/studio/>. Acesso em: 22 jul. 2018.

PAGE, L.; BRIN, S. **Bluetooth low energy API overview.** 2012. Disponível em: <https://developer.android.com/guide/topics/connectivity/bluetooth-le>. Acesso em: 02 jan. 2018.

PAGE, L.; BRIN, S. **Google Acadêmico**. 2004. Disponível em: <https://scholar.google.com.br/>. Acesso em: 07 jan. 2018.

PALACIOS, A. Orígenes, caracterización y plasmación en la convención internacional sobre los derechos de las personas con discapacidad. *In*: PALACIOS, A. **El modelo social de discapacidad**. 1. ed. Madrid: CERMI, 2008. p. 1-524. *E-book*. Disponível em: <https://www.cermi.es/sites/default/files/docs/colecciones/Elmodelosocialdediscapacidad.pdf>. Acesso em: 01 fev. 2018.

PERES, J. R. Direitos Globais de IoT. *In*: PERES, J. R. **MANIFESTO IoT**. 1. ed. São Paulo: Ed. do Autor, 2017. p. 3–77. *E-book*. Disponível em: <http://www.komp.com.br/gallery/E-book-iot-manifesto-edicao1qp.pdf>. Acesso em: 03 fev. 2019.

PINEDA, V. S. **World enabled is a global education, communications, and strategic consulting group**. 2005. Disponível em: <http://worldenabled.org/>. Acesso em: 10 dez. 2018.

POTENCIER, F.; WIEDLER, I. **The PHP micro-framework based on the Symfony Components**. 2010. Disponível em: <https://silex.symfony.com/>. Acesso em: 23 abr. 2018.

PRICE, S. L. **Audit and assurance, consulting and tax services**. 1998. Disponível em: <https://www.pwc.com/>. Acesso em: 23 out. 2018.

RAMIREZ, A. R. G.; DA SILVA, R. F. L.; CINELLI, M. J. An extension of spatial and tactile perception based on haptics. *In*: ISSNIP BIOSIGNALS AND BIOROBOTICS CONFERENCE, 1., 2011, Vitória. **Proceedings [...]**. [S.l.]: IEEE, 2011. p. 1–5.

RAMPINELLI, M. *et al.* An intelligent space for mobile robot localization using a multi-camera system. **Sensors: An Open Access Journal from MDPI**, [S.l.], v. 14, n. 8, p. 15039–15064, 2014.

RENZO, A. **Empowering users through assistive technology**. 1999. Disponível em: <https://www.independentliving.org/docs1/eustat99.html>. Acesso em: 04 abr. 2018.

ROBBINS, C. *et al.* **Internet of Things world forum**. 2013. Disponível em: <https://www.iotwf.com/>. Acesso em: 02 jul. 2018.

ROSE, K. The Internet of Things: an overview. *In*: ROSE, K.; ELDRIDGE, S.; CHAPIN, L. **The Internet Society (ISOC)**. [S.l.]: Internet Society, 2015. p. 1–50. *E-book*. Disponível em: <https://www.internetsociety.org/wp-content/uploads/2017/08/ISOC-IoT-Overview-20151221-en.pdf>. Acesso em: 02 abr. 2018.

SALGADO, R. **Instituto brasileiro de políticas públicas (IBRAPP)**. 2008. Disponível em: <http://www.ibrapp.com.br>. Acesso em: 10 jan. 2018.

SARJI, D. K. Handtalk: assistive technology for the deaf. **Computer**, [S.l.], v. 41, n. 7, p. 84–86, 2008.

SCHERER, M.J. CUSHMAN, L.A. Measuring subjective quality of life following spinal cord injury: a validation study of the assistive technology device predisposition assessment. **Disability and Rehabilitation**, [S.l.], v. 23, n. 9, p. 387–393, 2001.

SCHNEIDER, T . **Distributed networks using ROS-cross-network middleware communication using IPV6**. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Departamento de Engenharia Elétrica e Tecnologia da Informação, Technische Universität München, Munique, 2012.

SILVA, R. P. **Suporte ao desenvolvimento e uso de frameworks e componentes**. 2000. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) - Programa de Pós-Graduação em Computação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

STANFORD-CLARK, A.; NIPPER, A. **An open source MQTT broker**. 1999. Disponível em: <https://mosquitto.org/>. Acesso em: 02 mar. 2018.

STOJMENOVIC, I. Machine-to-machine communications with in-network data aggregation, processing, and actuation for large-scale cyber-physical systems. **IEEE Internet of Things Journal**, [S.l.], v. 1, n. 2, p. 122–128, 2014.

SULA, A. *et al.* A proposed framework for combining smart environment and heuristic diagnostic teaching principles in order to assess students' abilities in math

and supporting them during learning. **Mediterranean Journal of Social Sciences**, [S.l.], v. 5, n. 2, p. 187, 2014.

SUZUKI, T. *et al.* Wearable wireless vital monitoring technology for smart health care. *In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MEDICAL INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY*, 7., 2013, Tokyo. **Proceedings [...]**. Piscataway: IEEE, 2013. p. 1–4.

SWAN, M. Sensor mania! The internet of things, wearable computing, objective metrics, and the quantified self 2.0. **Journal of Sensor and Actuator Networks**, [S.l.], v. 1, n. 3, p. 217–253, 2012.

TAE-WON, C. **Rargets global IoT market with Lifeware**. 2015. Disponível em: <https://www.prnewswire.com/news-releases/sk-telecom-targets-global-iot-market-with-lifeware-300043278.html>. Acesso em: 12 nov. 2018.

TANANAIEV, A. **Traccar GPS Tracking Software - Free and Open Source System**. 2012. Disponível em: <https://www.traccar.org/>. Acesso em: 19 mar. 2018.

THOMPSON, D. **Smart cities work for people with disabilities**. 2017. Disponível em: <https://share.america.gov/smart-cities-work-for-people-with-disabilities/>. Acesso em: 17 out. 2018.

SALGADO, R. **Instituto brasileiro de políticas públicas (IBRAPP)**. 2008. Disponível em: <http://www.ibrapp.com.br>. Acesso em: 10 jan. 2018.

SARJI, D. K. Handtalk: assistive technology for the deaf. **Computer**, [S.l.], v. 41, n. 7, p. 84–86, 2008.

SCHERER, M.J. CUSHMAN, L.A. Measuring subjective quality of life following spinal cord injury: a validation study of the assistive technology device predisposition assessment. **Disability and Rehabilitation**, [S.l.], v. 23, n. 9, p. 387–393, 2001.

SCHNEIDER, T. **Distributed networks using ROS-cross-network middleware communication using IPV6**. 2012. Tese (Doutorado em

Engenharia Elétrica) - Departamento de Engenharia Elétrica e Tecnologia da Informação, Technische Universität München, Munique, 2012.

SILVA, R. P. **Suporte ao desenvolvimento e uso de frameworks e componentes**. 2000. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) - Programa de Pós-Graduação em Computação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

STANFORD-CLARK, A.; NIPPER, A. **An open source MQTT broker**. 1999. Disponível em: <https://mosquitto.org/>. Acesso em: 02 mar. 2018.

STOJMENOVIC, I. Machine-to-machine communications with in-network data aggregation, processing, and actuation for large-scale cyber-physical systems. **IEEE Internet of Things Journal**, [S.l.], v. 1, n. 2, p. 122–128, 2014.

SULA, A. *et al.* A proposed framework for combining smart environment and heuristic diagnostic teaching principles in order to assess students' abilities in math and supporting them during learning. **Mediterranean Journal of Social Sciences**, [S.l.], v. 5, n. 2, p. 187, 2014.

SUZUKI, T. *et al.* Wearable wireless vital monitoring technology for smart health care. *In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MEDICAL INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY*, 7., 2013, Tokyo. **Proceedings [...]**. Piscataway: IEEE, 2013. p. 1–4.

SWAN, M. Sensor mania! The internet of things, wearable computing, objective metrics, and the quantified self 2.0. **Journal of Sensor and Actuator Networks**, [S.l.], v. 1, n. 3, p. 217–253, 2012.

TAE-WON, C. **Rargets global IoT market with Lifeware**. 2015. Disponível em: <https://www.prnewswire.com/news-releases/sk-telecom-targets-global-iot-market-with-lifeware-300043278.html>. Acesso em: 12 nov. 2018.

TANANAEV, A. **Traccar GPS Tracking Software - Free and Open Source System**. 2012. Disponível em: <https://www.traccar.org/>. Acesso em: 19 mar. 2018.

THOMPSON, D. **Smart cities work for people with disabilities**. 2017. Disponível em: <https://share.america.gov/smart-cities-work-for-people-with-disabilities/>. Acesso em: 17 out. 2018.

THURSTON, J. *et al.* **Smart Cities for All**. 2016. Disponível em: <https://smartcities4all.org/>. Acesso em: 17 dez. 2018.

THURSTON, J.; PINEDA, V. **Guia para a adoção de uma política de acessibilidade para contratação de TIC**. New York: Smartcities4all, 2016. 23 p. Disponível em: <https://smartcities4all.org/SC4A-Procurement-Tool-Portuguese-XT.php>. Acesso em: 06 fev. 2018.

TIMM, E. **User guide easyTek**. 2015. Disponível em: <https://www.manualslib.com/manual/1301424/Siemens-Easytek.html>. Acesso em: 22 out. 2018.

TOWN, M. **The American Association of People with Disabilities**. 1995. Disponível em: <http://www.aapd.com/>. Acesso em: 16 jul. 2018.

TSCHOFENIG, H. **Architectural considerations in smart object networking (RFC 7452)**. 2015. Disponível em: <https://tools.ietf.org/html/rfc7452>. Acesso em: 05 jan. 2018.

TSCHOFENIG, H. *et al.* **Architectural Considerations in Smart Object Networking**. 2015. Disponível em: <http://www.hjp.at/doc/rfc/rfc7452.html>. Acesso em: 03 jun. 2018.

URETSKY, M. *et al.* **Developer cloud computing**. 2003. Disponível em: <https://www.digitalocean.com/>. Acesso em: 05 out. 2018.

VERMESAN, O.; FRIESS, P. **Internet of things-from research and innovation to market deployment**. v. 29. [S.l.]: River Publishers, 2014.

VESTERINEN, K. **The doctrine project is the home to several PHP libraries primarily focused on database storage and object mapping**. 2006. Disponível em: <https://www.doctrine-project.org/>. Acesso em: 07 fev. 2018.

VYNCKE, E. *et al.* **Internet of Things directorate**. 2015. Disponível em: <http://trac.tools.ietf.org/area/int/trac/wiki/IOTDirWiki>. Acesso 06 jun. 2018.

WANT, R. An introduction to RFID technology. **IEEE Pervasive Computing**, [S.l.], n. 1, p. 25–33, 2006.

WEISER, M. The Computer for the 21 st Century. **Scientific American**, [S.l.], v. 265, n. 3, p. 94–105, 1991.

WHITEHUR, J. **The IBM advantage for implementing the CSCC Cloud Customer Reference architecture for internet of things (IoT)**. 2017. Disponível em: <https://www.ibm.com/cloud/garage/files/IBM-Advantage-for-IoT.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2018.

WHITEHUR, J. **Threat intelligence quarterly (X-Force)**. 2014. Disponível em: <https://www.ibm.com/br-pt/security/xforce>. Acesso em: 17 jun. 2018.

WILLEY, B. **Environment Variables (ROS)**. 2007. Disponível em: <http://wiki.ros.org/ROS/EnvironmentVariables>. Acesso em: 23 fev. 2018.

WYROBEK, K. *et al.* **Integration library for ROS with Java**. 2010. Disponível em: <http://wiki.ros.org/rosjava>. Acesso em: 08 jul. 2018.

YONAN, J. **Provides flexible VPN solutions to secure data communications**. 2001. Disponível em: <https://openvpn.net/>. Acesso em: 20 jan. 2018.

YU, J. *et al.* IoT as a applications: cloud-based building management systems for the internet of things. **Multimedia Tools and Applications**, [S.l.], v. 75, n. 22, p. 14583– 14596, 2016.

ZHAO, H.; JOHNSON, M. **Overview of the Internet of Things: global information infrastructure, internet protocol aspects and next generation networks**. 2012. Disponível em: <http://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=Y.2060>. Acesso em: 06 jun. 2018.

ZHENGFEI, R. **Powering intelligent connectivity with global collaboration**. 1987.  
Disponível em: <http://www.huawei.com/minisite/gci/en/index.html>. Acesso em: 10 dez.  
2018.